

LA EMPRESA KRAFTWERK UNION (KWU) SUMINISTRADOR PRINCIPAL

CN TRILLO I

Ernst BECHHOLD y Bernhard BÖHM



Ernst BECHHOLD es ingeniero mecánico por la Universidad de Karlsruhe (RFA). En el año 1956 ingresó en la División de Centrales Eléctricas de la empresa Siemens y trabajó durante varios años en los Departamentos de Planificación y Cálculo, pasando, a continuación, a un puesto de alta responsabilidad en venta, planificación y construcción de centrales eléctricas llave en mano (C.N. de Zwentendorf, Austria; C.N. de Gösgen, Suiza).

En la actualidad es Jefe de la Subdivisión de Ventas de Centrales Nucleares en España, teniendo una responsabilidad especial en el área de planificación y construcción.

Con el pedido de la CN TRILLO I, KWU tuvo la oportunidad de materializar en España, en estrecha colaboración con la industria nacional, su técnica nuclear acreditada con éxito en gran número de centrales nucleares. Anteriormente KWU había construido en España diversas centrales convencionales, tanto de fuel como de carbón, con una potencia total instalada de cerca de 2.000 MW.

A continuación se describe:

- la experiencia de KWU en la construcción de centrales eléctricas;
- el concepto para el desarrollo de la ingeniería;
- las características más importantes de las centrales PWR de KWU;
- la aplicación de todo ello en la CN TRILLO I en colaboración con empresas españolas.

KWU, UNA EMPRESA ENFOCADA A LA CONSTRUCCION DE CENTRALES

KWU se encuentra entre los principales ofertantes de centrales en el mercado mundial.

En KWU trabajan unas 14.000 personas; de éstas, unas 3.000 en desarrollo y diseño, 6.000 en fabricación y 2.000 en ingeniería de proyecto. Los principales centros de trabajo están en Mülheim an der Ruhr, Erlangen, Offenbach, Berlín y Karlstein am Main.

FI Toda tecnología especial de centrales y reactores está estructurada en «divisiones técnicas». Una parte de las divisiones técnicas cumple sus cometidos en el ámbito de centrales como de reactores. Las divisiones «sistemas del reactor» y «desarrollo de reactores» proyectan los sistemas nucleares de generación de vapor y coordinan los trabajos de desarrollo de técnica del reactor. El objetivo central de la división «seguridad y licenciamiento» es mantener el nivel más actualizado de técnica de seguridad y su aplicación coordinada. A las «divisiones de comercialización» les compete la dirección del conjunto de los proyectos y la colaboración inmediata con el cliente. Las divisiones «ciclo del combustible nuclear», «electrotécnica» y «servicios» se ocupan tanto de funciones de comercialización como técnicas. Las «divisiones técnicas» de las fábricas se dedican al constante desarrollo de las turbinas de vapor y de gas, así como de los turbogeneradores. En las «divisiones de fabricación» no se trabaja exclusivamente en la solución de problemas de producción, sino que también son responsables de las actividades de montaje y servicio del turbogruppo.

Divisiones técnicas y comerciales

Venta, Dirección de Proyecto			
Centrales	Reactores	Montaje y servicio	Ciclo de combustible
Técnica de plantas y sistemas	Sistemas del reactor	Montaje	Elementos combustibles
Diseño de plantas	Componentes del reactor	Puesta en marcha	Gestión de residuos
Obra civil	Técnica nuclear de plantas sistemas	Servicios de planta	Reprocesamiento
Electrotécnica e instrumentación y control	Materiales, química, laboratorios	Servicio del reactor	Reactores reproductores
Sistemas de tuberías	Desarrollo de reactores	Servicio del turbogruppo	Reactores de alta temperatura
Técnica mecánica y de procesos		Mejora de plantas	
	Seguridad y licenciamiento Garantía de calidad Nuevas tecnologías Organización central y tratamiento de datos		

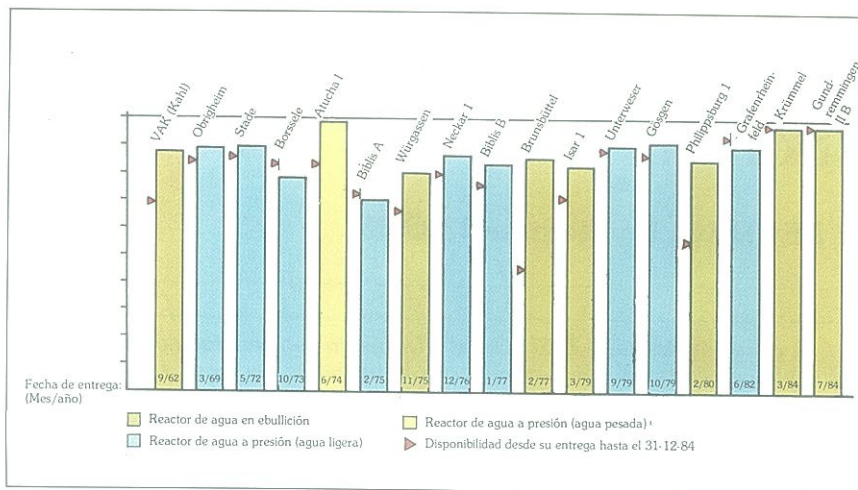
Divisiones fabriles

Sectorres Técnicos				
Turbinas de vapor	Turbinas de gas	Máquinas eléctricas	Materiales	Ensayos
Sectorres de Fabricación				
Turbinas de vapor, condensadores de vapor, turbinas de gas, generadores, turbogruppos, componentes del reactor: Fabricación, montaje, servicios				



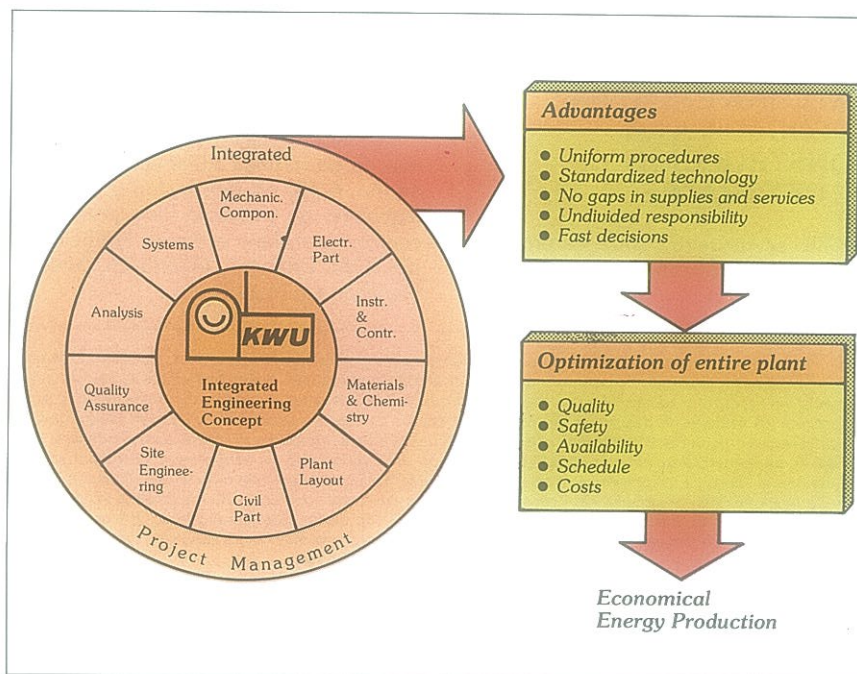
Bernhard BÖHM es ingeniero diplomado por la Universidad de Braunschweig (RFA). Ingresó en el año 1970 en la División Técnica de Reactores de Siemens AG, siendo ésta incorporada a KWU en el año 1972.

Desde 1977 desempeña puestos de distinta responsabilidad en el proyecto de C.N. TRILLO I. Actualmente es Gerente de la División KWU en Siemens, S. A.

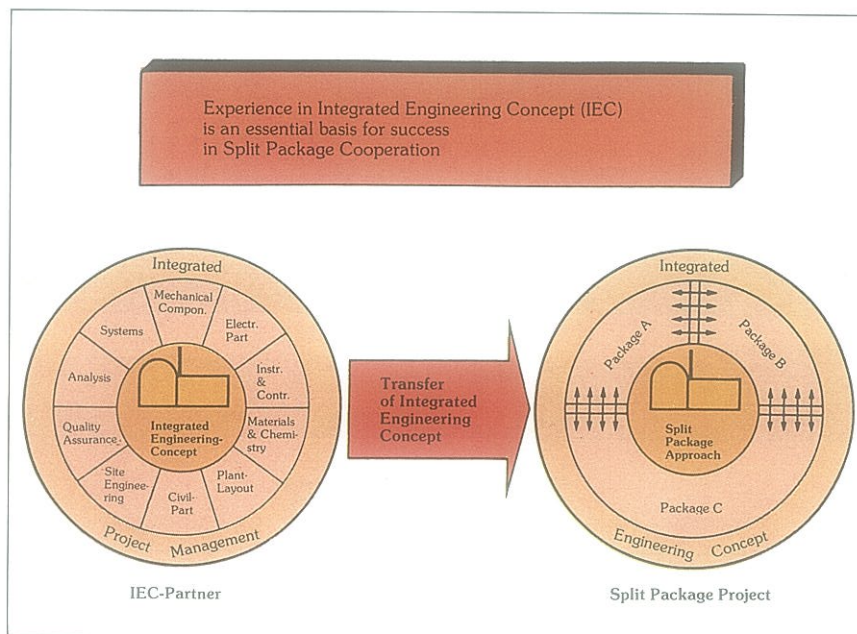


F II Disponibilidad de las Centrales Nucleares (KWU) 1984.

F III Ingeniería y dirección de proyectos integrados para una producción económica de energía.



F IV Concepto de ingeniería integrada (Integrated Engineering Concept - IEC) y «split package».



El espectro de productos de KWU se complementa, en el sector nuclear, con el de las empresas participadas INTER-ATOM (reactores reproductores y de alta temperatura), RBU (combustible), ALKEM (barras de Pu), NRG (vainas) y otros.

Gracias a la tradición que en el sector de la energía eléctrica tienen sus empresas fundadoras (Siemens y AEG), KWU pudo desde el primer día recurrir a técnicos cualificados con largos años de experiencia en la construcción de centrales térmicas (Fig. I).

Hasta la fecha, la firma ha construido o tiene en cartera más de 30 centrales nucleares. Para estas plantas, KWU suministra también la primera carga de elementos combustibles, así como la mayor parte de las recargas de elementos combustibles, haciéndolo también para reactores de otros fabricantes.

Otros productos en que se centra su actividad son un gran número de plantas de combustible fósil, llave en mano, así como turbogrupos de vapor y de gas. De esta manera, KWU es la mayor empresa constructora de centrales de la República Federal de Alemania.

Tanto con la construcción de centrales nucleares como del suministro de turbinas de gas de 70 a 130 MW, o de turbogrupos de 600 a 800 MW, para centrales de carbón, petróleo y gas natural, en parte totalmente automáticas, KWU ha demostrado que tecnológicamente se encuentra en primera línea en el sector de las centrales nucleares y de combustible fósil (Fig. II).

EL CONCEPTO «INTEGRATED ENGINEERING» DE KWU

En la planificación y construcción de centrales nucleares, KWU aplica por tradición el concepto de INTEGRATED ENGINEERING. Tanto KWU como su casa matriz, Siemens, disponen de largos años de experiencia con este concepto, que consiste en que toda la planificación, construcción y puesta en marcha, estén en una sola mano. Para poder llevar a cabo este concepto, existen en KWU divisiones técnicas altamente cualificadas, que abarcan todas las ramas técnicas, desde la obra civil, pasando por la química, física, mecánica, tecnología de materiales, hasta la electrotécnica y la instrumentación y control, y que se coordinan

específicamente para cada proyecto por un INTEGRATED PROJECT MANAGEMENT. Mediante este tratamiento se obtienen una serie de ventajas importantes para lograr un desarrollo sin fricciones y un funcionamiento seguro. Estas ventajas (Fig. III) son:

- procedimientos de tramitación unitarios;
- tecnología normalizada para toda la central;
- no hay lagunas en los suministros y servicios;
- decisiones rápidas, al no estar subdividida la responsabilidad;
- retorno rápido y completo de la experiencia.

Como consecuencia lógica de este tratamiento integrado, se logra de forma casi automática y en un período de tiempo muy corto, la optimización de toda la central, con el objetivo final de una producción de energía segura y económica.

Basándose en los conocimientos y experiencias adquiridas con el Integrated Engineering, KWU está en condiciones de aplicar también cualquier otro concepto de desarrollo de proyectos.

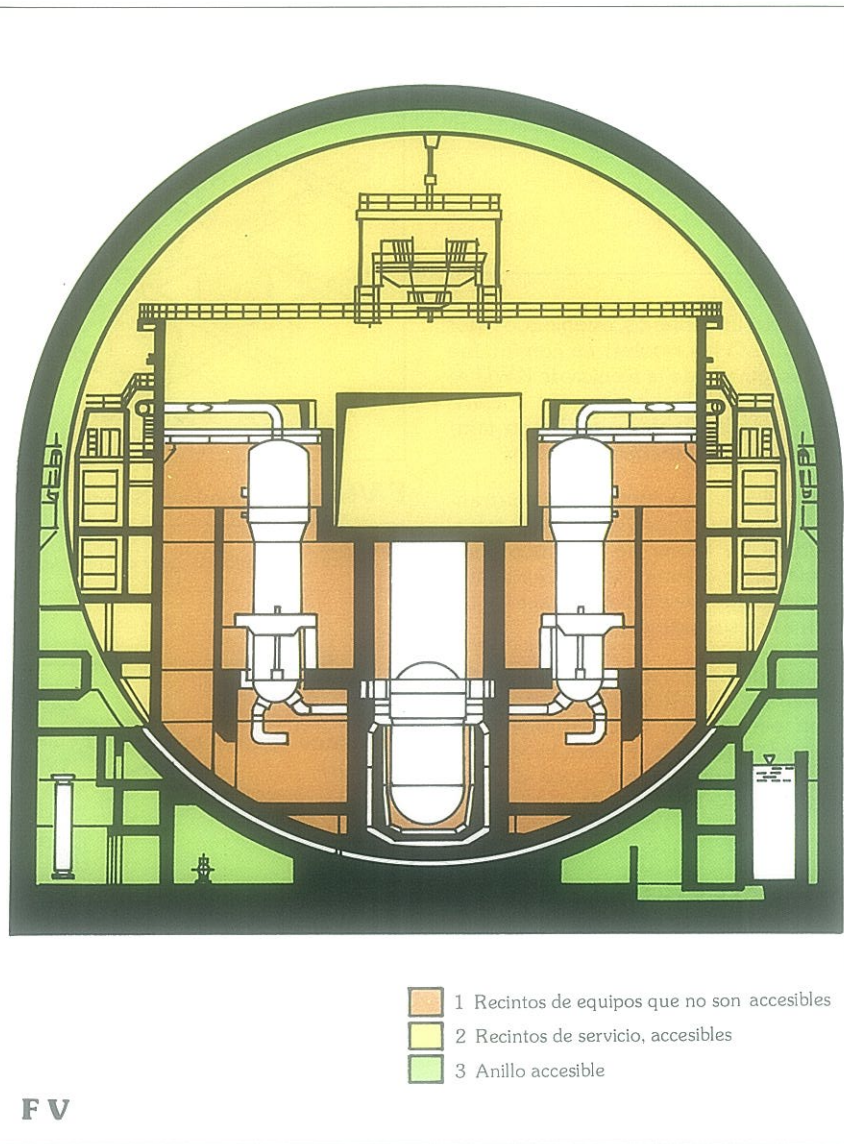
El desarrollo de la CN TRILLO I se efectúa de acuerdo con el concepto de «Split Package», colaborando a lo máximo posible con la industria española (Fig. IV).

El cliente y posterior usuario asume toda la responsabilidad en cuanto a planificación, construcción y puesta en marcha, así como en cuanto al proceso de licenciamiento. A KWU se le encargó la ingeniería y el suministro de los siguientes sistemas y componentes principales:

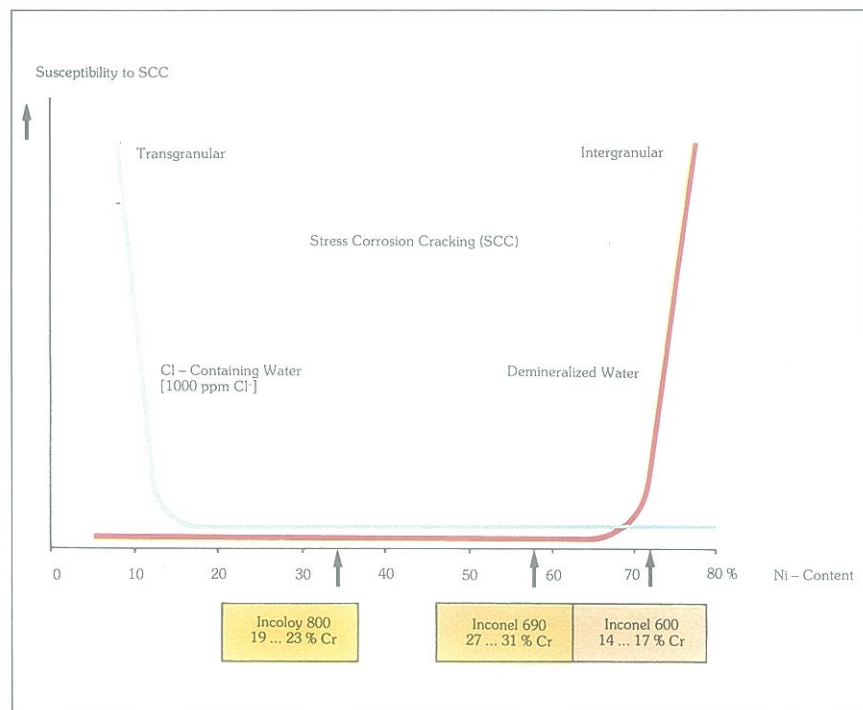
- sistema nuclear de generación de vapor (NSSS);
- turbogenerador con sistemas auxiliares;
- instrumentación y control;
- combustible para el primer núcleo;
- concepto general de la planta.

Gracias al elevado nivel técnico de la industria española, se pudo conseguir ya en esta primera central nuclear de tecnología alemana, una participación nacional superior al 80 % en todos los suministros y servicios y más del 60 % referido a los suministradores de KWU.

La base del éxito fue la estrecha colaboración y plena confianza entre el usuario, la CN TRILLO I, la ingeniería Empresarios Agrupados y el suministrador principal KWU.



F VI Efectos del contenido en Ni en aleaciones austeníticas sobre la sensibilidad frente a IGSCC a 350° C.



Uno de los criterios establecidos por CN TRILLO I, a resolver en común, fue el de asegurar que la técnica de KWU se incorporara en la planificación y construcción de la planta, cumpliendo también las normas españolas vigentes.

Este objetivo se cumplió suministrando KWU para todos los sistemas informaciones en forma de documentación de referencia, además de la documentación de diseño básico o de detalle en los sistemas de su responsabilidad.

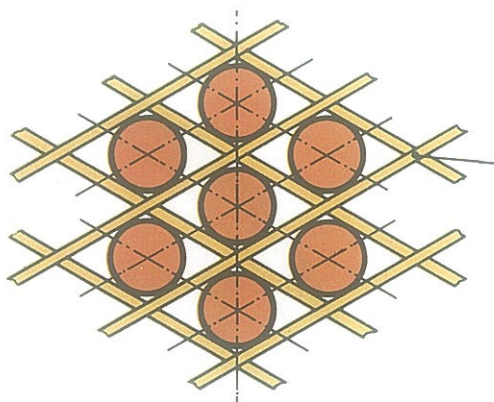
Puede demostrarse que la técnica utilizada en la CN TRILLO I y adaptada de forma permanente al desarrollo de la técnica de seguridad, también es licenciable en Alemania, alcanzándose la elevada meta que se habría fijado.

CARACTERISTICAS ESENCIALES DE UNA CENTRAL NUCLEAR KWU CON REACTOR DE AGUA A PRESION

La isla nuclear

Las características relacionadas a continuación son de gran relevancia para la seguridad y disponibilidad de las centrales nucleares KWU. En el caso de la CN TRILLO I, se han puesto en práctica todas estas características, salvo una reducción del espesor de la pared del edificio de hormigón. Esta reducción de espesor de pared en el emplazamiento de la CN TRILLO I fue posible al poderse excluir los casos de onda de presión por explosión química o caída de aeronave:

- Contención esférica capaz de soportar la máxima presión, en caso de MCA, que actúa no solamente como barrera de seguridad de alta fiabilidad, sino también como concepto característico de la facilidad de servicio y mantenimiento; la accesibilidad ilimitada de los recintos de servicio durante el funcionamiento, y el amplio espacio existente en el nivel de carga contribuyen a lograr una gran disponibilidad y unos tiempos cortos para la recarga de elementos combustibles e inspecciones (Fig. V).
- Las zonas espaciosas en la parte inferior del anillo permiten alojar los sistemas de seguridad redundantes en un lugar protegido, manteniendo de forma consecuente una separación física entre ellos.



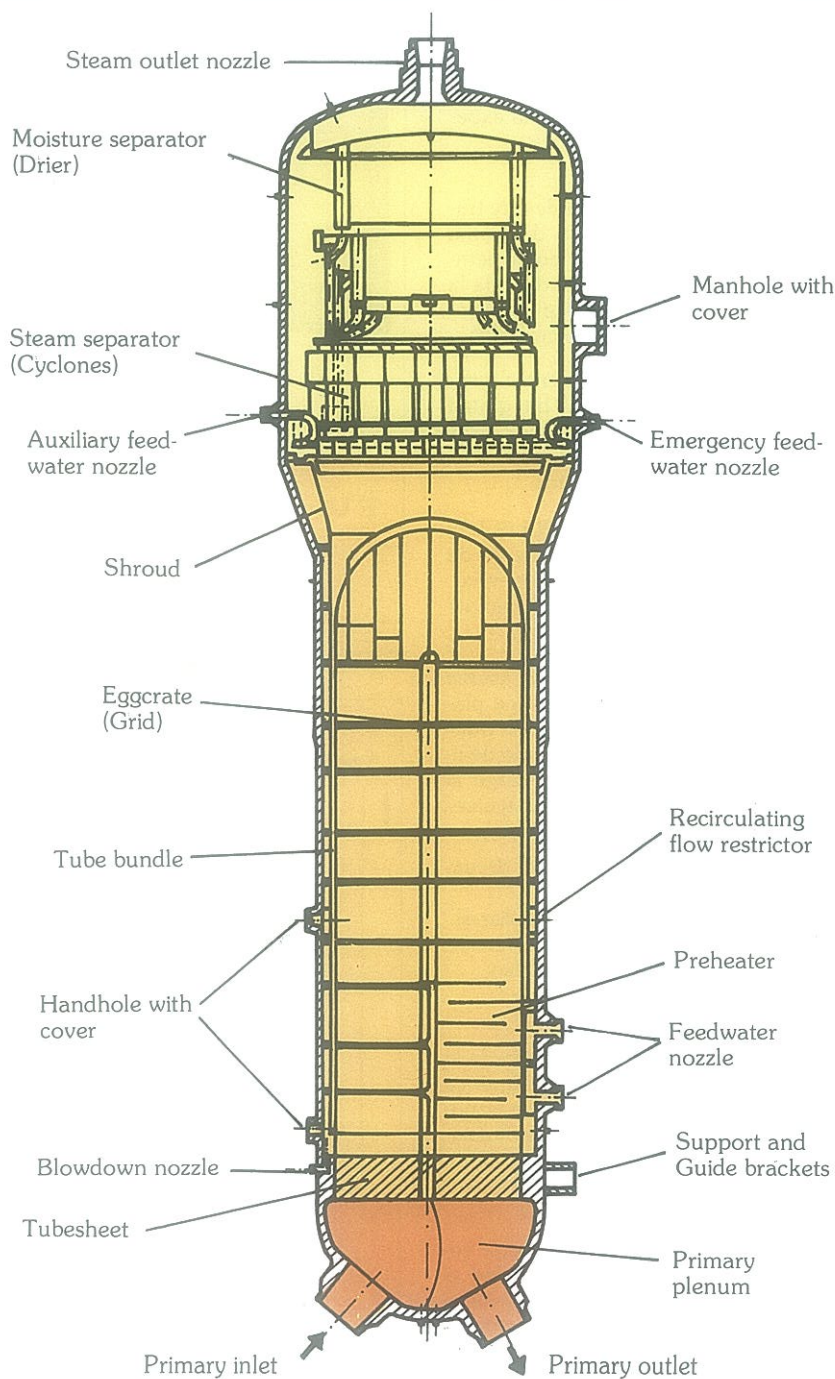
Eggcrate

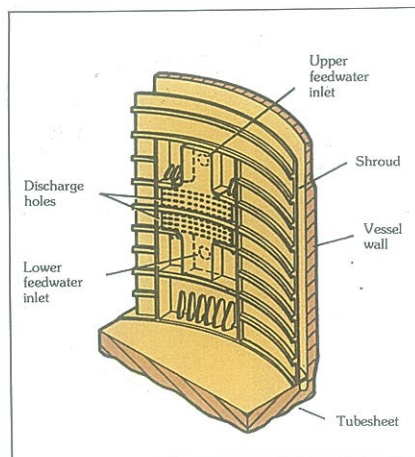
Material in contact with

SG tube: austenitic steel

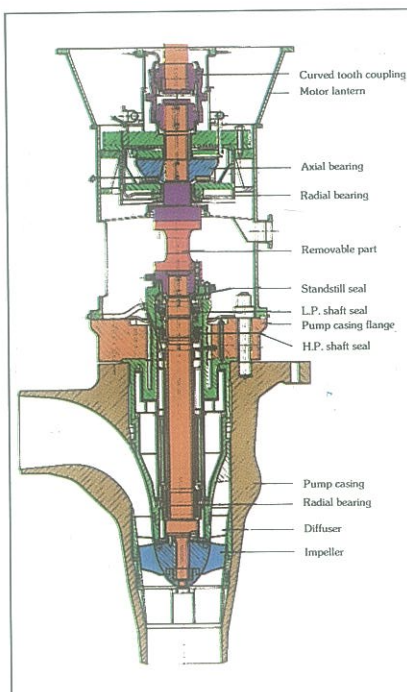
F VII Generador de vapor: Soportes de los tubos en la zona recta.

F VIII Generador de vapor con precalentador.

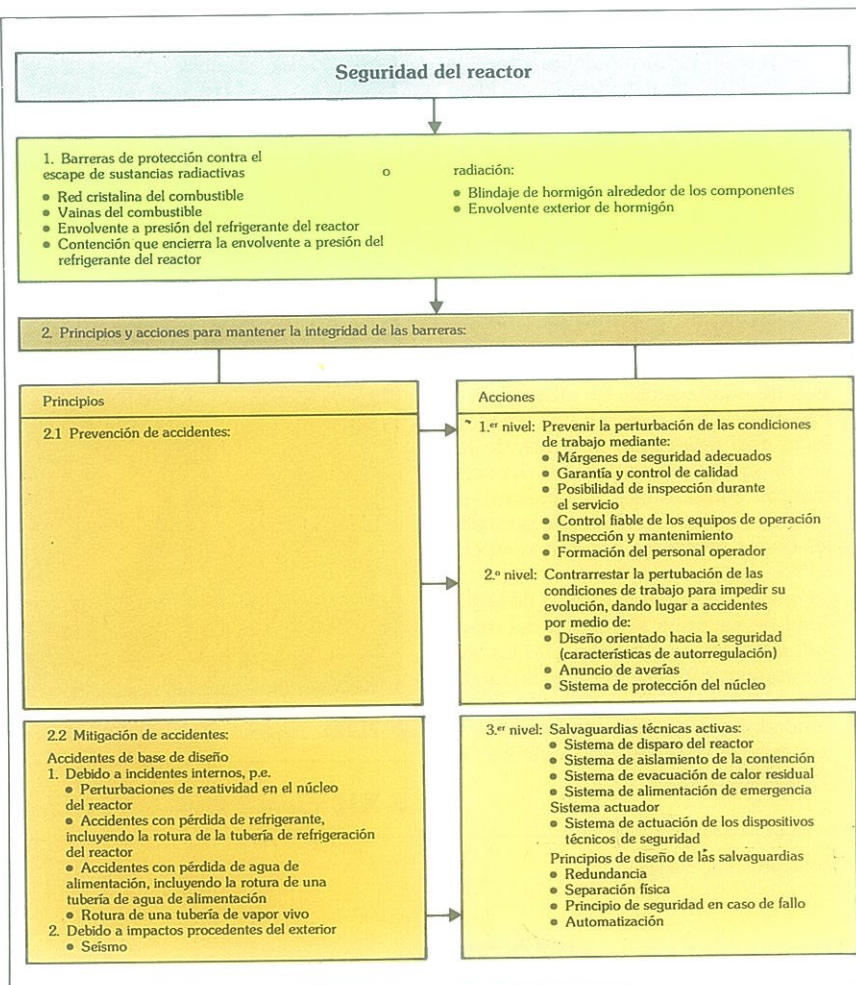




FIX Distribución de afluencia de agua de alimentación a través de las aberturas de descarga.



FX Bomba de refrigeración del reactor tipo ANDRITZ.



FXI Principios y acciones involucrados en la seguridad del reactor.

- Tiempos cortos para la recarga de elementos combustibles, por la proximidad de la piscina de almacenaje de elementos combustibles al reactor.
- Los grandes componentes del primario, a base de anillos forjados sin soldadura. Esto asegura una elevada calidad del material y la optimización de los esfuerzos en las uniones soldadas.
- En la vasija de presión del reactor no hay ninguna penetración por debajo de las tubuladuras de entrada y salida de refrigerante.
- Los tubos en U de los generadores de vapor, a través de los cuales pasa el agua del primario, son de Incoloy 800; de esta forma, no hay ningún peligro de fugas por formación de grietas debidos a corrosión intercrystalina bajo tensión (Fig. VI). Rejillas distanciadoras de austenita; por este motivo no se producen depósitos de productos de

corrosión en los bordes de los agujeros, que produzcan denting en los tubos en U (Figs. VII, VIII y IX); reducida velocidad de afluencia a la cámara de precalentamiento, por lo que el flujo no induce vibraciones en los tubos en U.

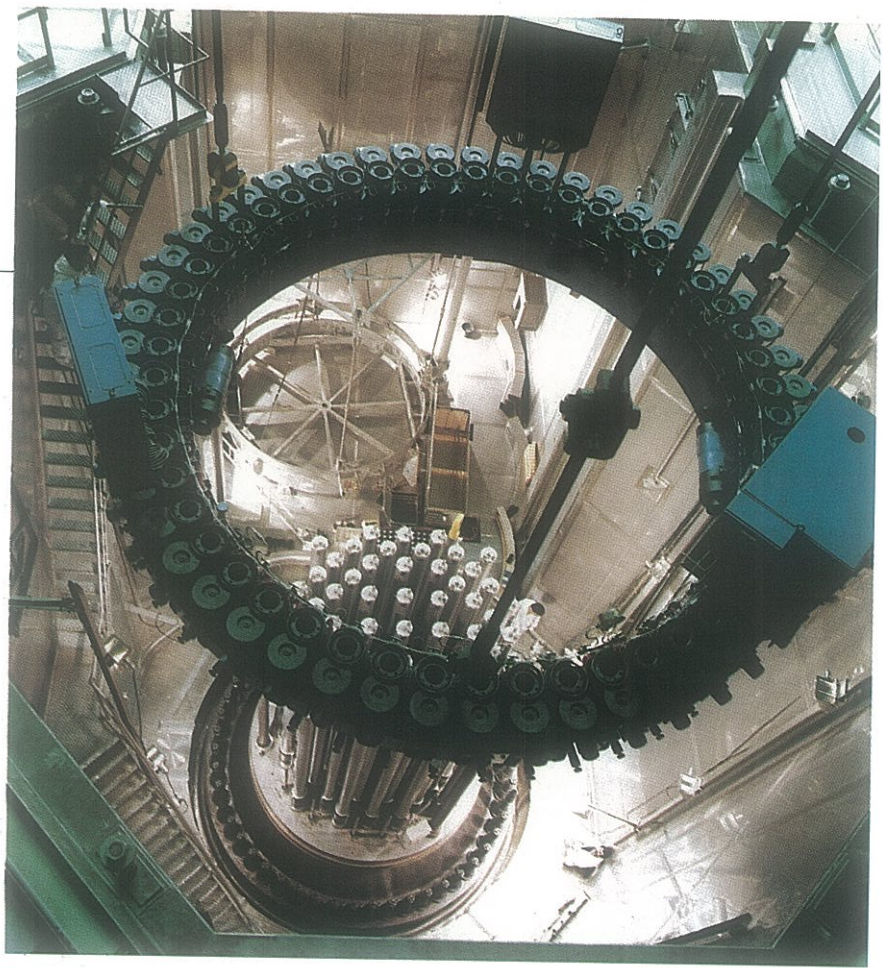
- Disposición en serie de juntas a base de agua de cierre y una junta mecánica convencional de parada, en las bombas de refrigeración principales. De esta manera se logra la ausencia de fugas en todas las condiciones de servicio (por ejemplo, también en caso de pérdida de corriente, cuando no esté en funcionamiento la junta de agua de cierre) (Fig. X).
- Combinación de materiales ferríticos (para soportar los esfuerzos) con un plaquero austenítico (para proteger contra la corrosión); de esta manera se logra la mejor adecuación entre material y función; no hay soldaduras de

unión entre componentes de austenita y ferrita.

- Utilización exclusiva de aceros austeníticos estabilizados, con lo cual se evita la corrosión bajo tensión.
- Buenas condiciones previas para el servicio de secuencia de carga: la temperatura media constante del refrigerante entre el 50 y el 100 % de potencia nominal y la regulación de distribución de potencia a base de una instrumentación del núcleo fija, permiten un servicio de secuencia de cargas que protege la planta y los elementos combustibles. En todas las plantas se han hecho ya pruebas de variaciones de carga rápidas, cubriendo una amplia gama de cargas.
- Sistema de medición «aero-ball» y detectores para la medición del flujo de neutrones, reunidos en lanzas de instrumentación, que se introducen des-

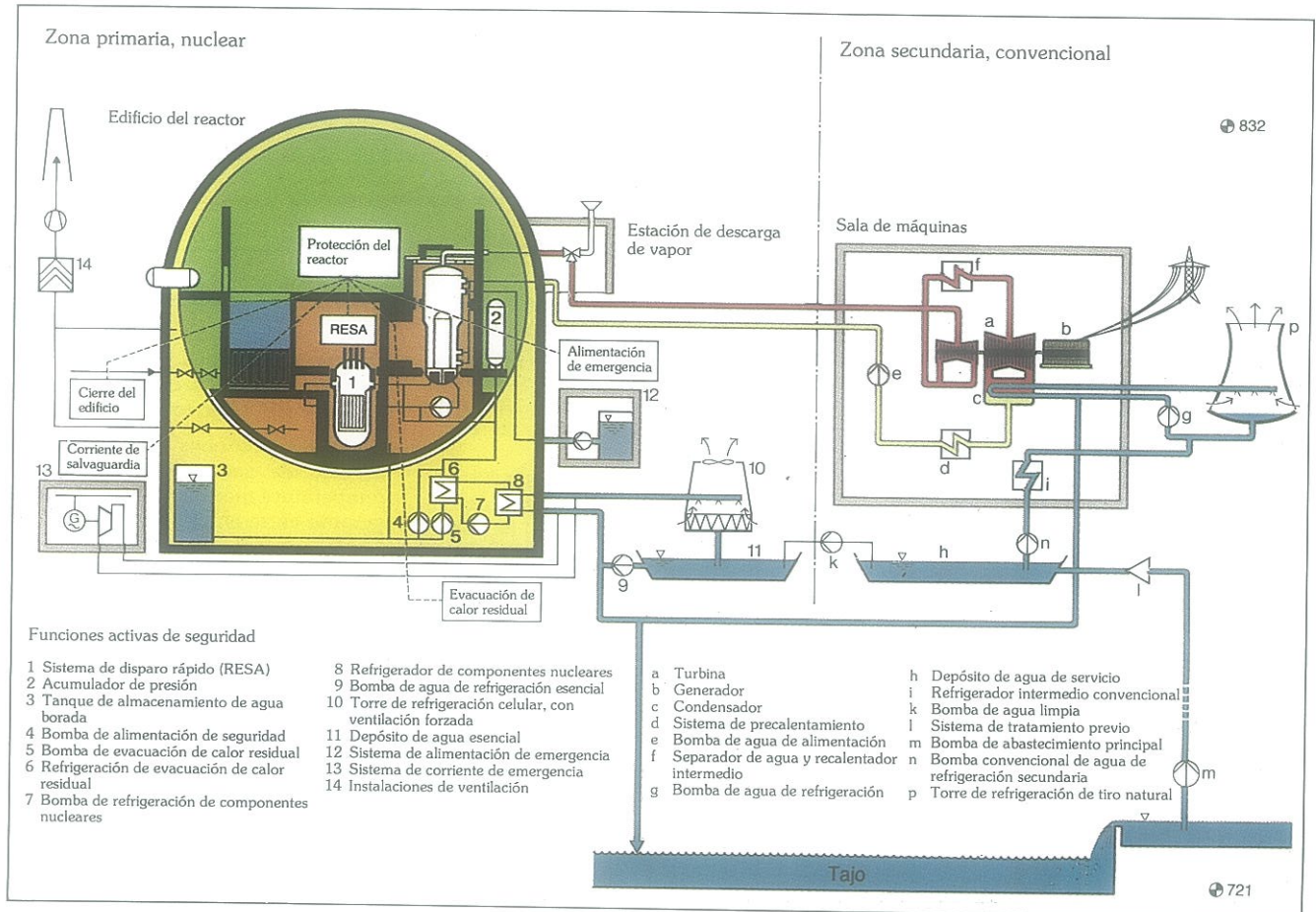
de arriba en el núcleo del reactor. Un gran número de detectores estacionarios (en lugar de unos pocos de emplazamiento variable), permiten determinar de forma continua y sin lagunas la distribución de densidad de potencia en el núcleo del reactor: esto es una condición previa importante para una cuidadosa regulación de la potencia.

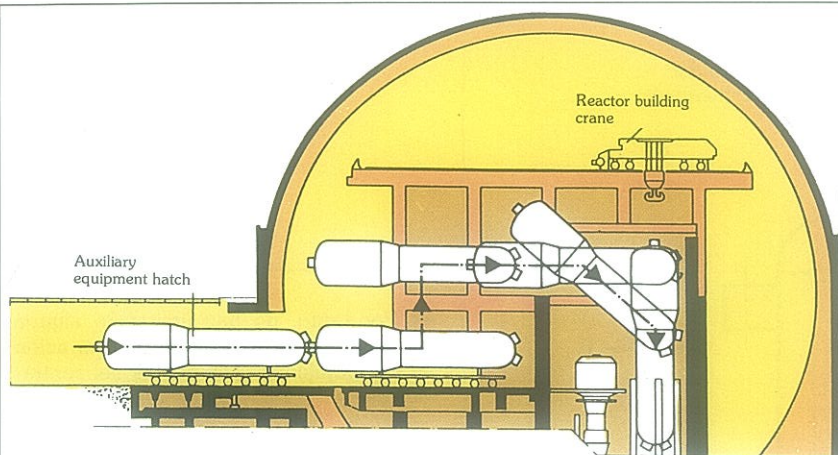
- Alta calidad de los elementos combustibles de KWU. Después de su utilización en el reactor, de cada 100.000 barras de combustible, en promedio no hay más de tres que den una señal de fuga; esto representa una tasa de fallos de solamente un 0,003 %. Los elementos combustibles defectuosos se pueden reparar, sustituyendo para ello las barras afectadas por barras de circonio.
- La ejecución según la técnica de seguridad no se limita al sistema del reactor, sino que se extiende a todos los componentes y sistemas de la totalidad de la central relevantes para la seguridad. Se materializa de forma consecuente el concepto de «defensa en profundidad» (Fig. XI).



F XIII Dispositivo tensor de pernos de la vasija.

F XII Circuito de Refrigeración de CN Trillo I.





Time required for replacement of 2 SGs: 72 days
Total radiation exposure 690 manrem

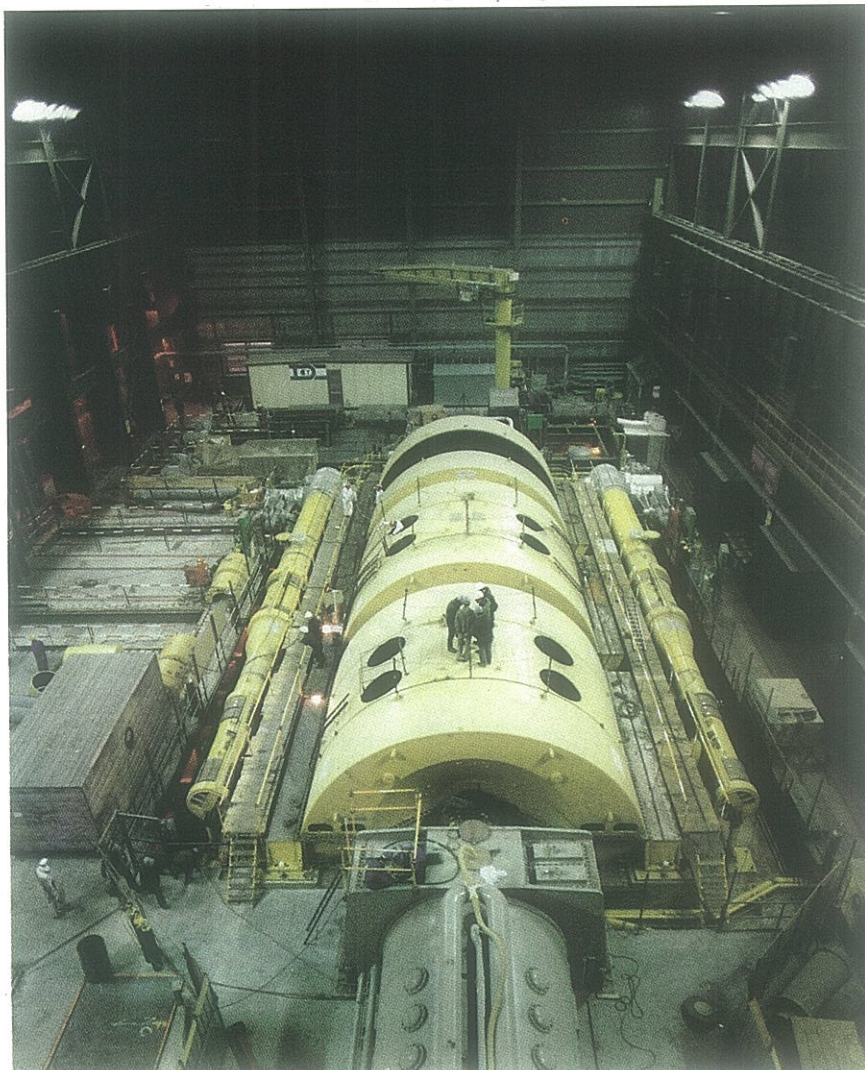
● Removal, Decontamination of reactor coolant piping	1st to 28th day
● Inward transfer	27th and 30th day
● Assembly	23rd to 69th day
● Pressure testing	70th to 72nd day

For comparison in the USA (Surry 1):

Time required for replacement of 3 SGs: 186 days
Total radiation exposure 2100 manrem

F XIV Cambios de los generadores de vapor en la Central Nuclear de Obrigheim.

F XV CN Trillo I. Alternador.



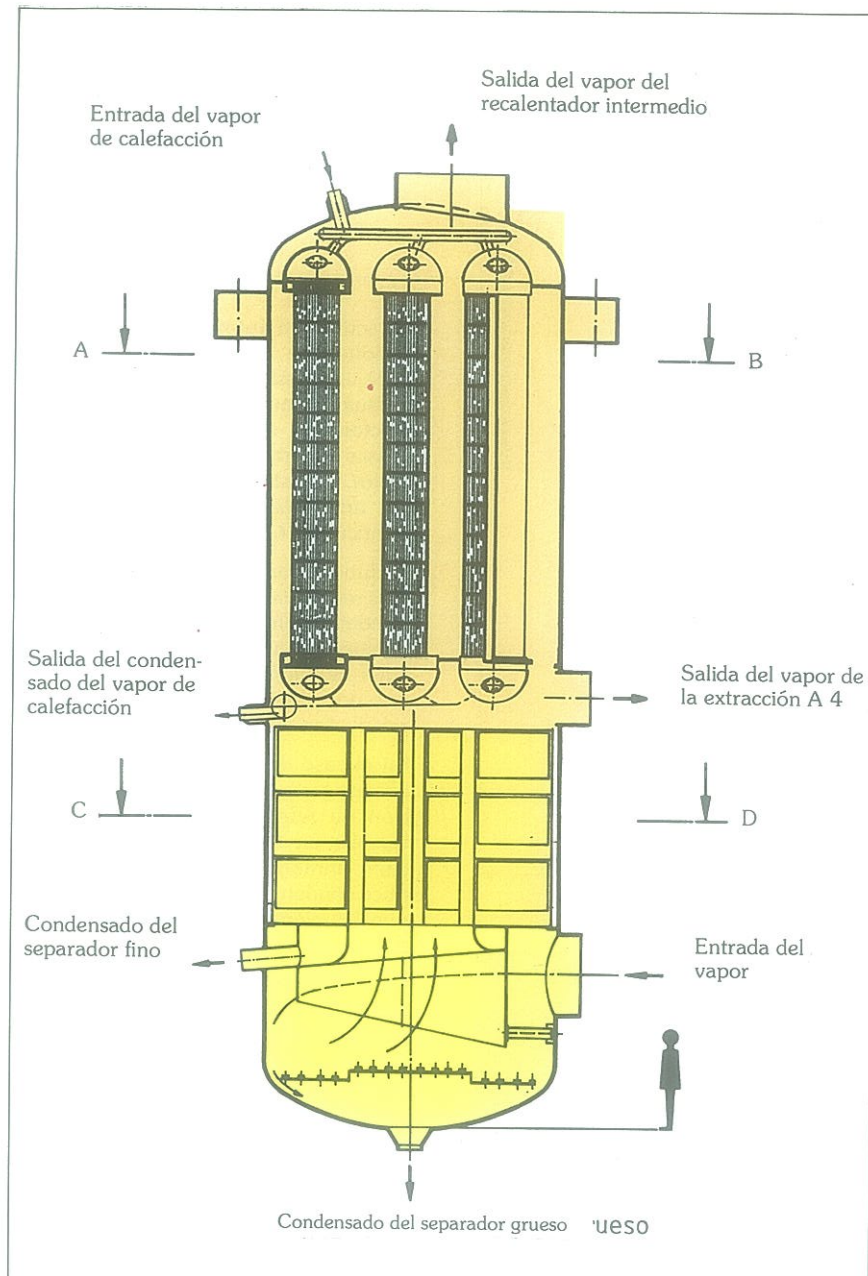
- La activación automática de *todas* las acciones de protección del reactor, hace innecesarias las intervenciones manuales por parte del operador del reactor. En caso de accidentes por causas externas (por ejemplo, terremoto), los sistemas instalados garantizan una autarquía completa durante veinticuatro horas (Fig. XII).
- Redundancias $n + 2$ en todos los sistemas relevantes para la seguridad, y redundancias más altas en el abastecimiento de agua de alimentación y agua de alimentación de emergencia, que no solamente aumentan la seguridad, sino también la disponibilidad.
- En el caso de accidentes con pérdida de refrigerante, se produce alimentación de refrigeración de emergencia también en el ramal «caliente» del circuito primario. De esta forma se produce condensación de vapor y se evita que los elementos combustibles queden en seco.
- La instrumentación y control uniforme de toda la central consigue que en cualquier caso imaginable de servicio o avería, el reactor pase automáticamente a una situación segura, incluso en caso de fallo humano.
- Facilidad de operación: una sala de control central, optimizada ergonómicamente, con disposición de las indicaciones de medición y elementos de maniobra de forma clara, de acuerdo con las necesidades funcionales de la planta.
- La concepción global de facilidad de servicio, así como los modernos aparatos de maniobra y las condiciones de trabajo agradables para el hombre, crean en el conjunto de la planta las condiciones necesarias para poder llevar a cabo de forma rápida y segura el servicio del reactor.

Ejemplo 1

Dispositivo automático para apretar o soltar simultáneamente todos los tornillos de la tapa de la vasija de presión del reactor; es un ejemplo sintomático de la facilidad de servicio e inspección del reactor de agua a presión de KWU (Fig. XIII).

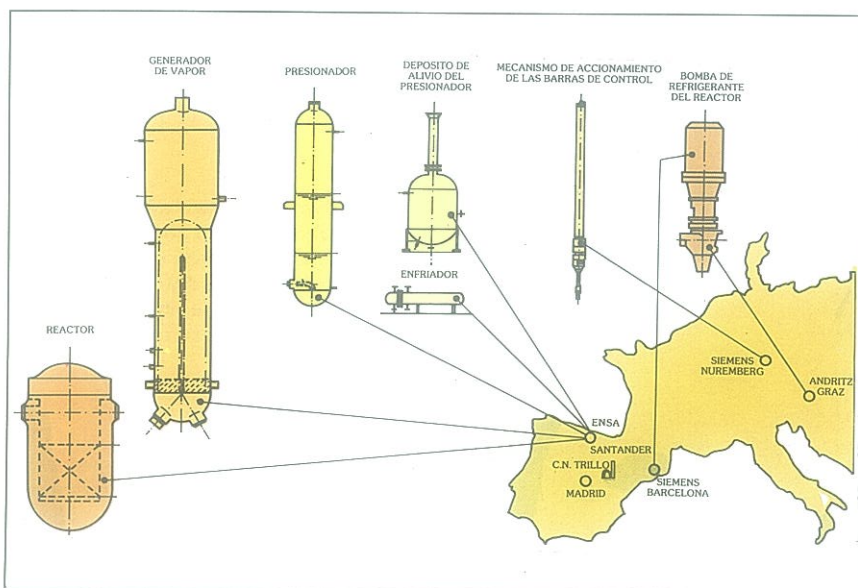
Ejemplo 2

Todos los grandes componentes son intercambiables sin necesidad de demoler estructuras permanentes del edificio (Fig. XIV).



F XVI CN Trillo I. Separador de Agua/Recalentador intermedio.

F XVII Origen de los componentes del primario.



Por tanto, no hay limitación alguna en cuanto a posibilidades de reparación y equipamiento posterior de las centrales nucleares de KWU.

Turbogruppo

Turbina

Se ha instalado una turbina de vapor saturado de 3.000 rpm, con una potencia de diseño de 1.041 MWe. La turbina consta de un cuerpo de AP de doble flujo, y tres cuerpos de BP de doble flujo.

Para el precalentamiento regenerativo se dispone de cinco extracciones de vapor.

Los cuerpos de BP tienen una superficie de salida de $6 \times 10 \text{ m}^2$, siendo la longitud de los últimos álabes de 1.080 mm.

Unas válvulas de retención en la tubería de paso entre el cuerpo de AP y los de BP, impiden el embalamiento a causa de escapes de vapor antes de los cuerpos de BP, en caso de rechazo de carga. En la central nuclear de Gösgen está en servicio, desde 1979, una turbina del mismo tipo, habiéndose alcanzado la máxima disponibilidad (Fig. XV).

Separadores de humedad

Para eliminar el condensado y calentar el vapor de descarga de AP están montados dos separadores de humedad. Estos aparatos están situados verticalmente delante de la turbina, la altura total de los mismos es de 17 m. y su diámetro de unos 4,5 m (Fig. XVI).

Alternador

- Potencia aparente	1157 MVA
- Factor de potencia	0,9
- Tensión	27 kV

Se trata de un turbogenerador de dos polos. El bobinado del estator y pasacables se refrigera directamente con agua, y el bobinado del rotor está refrigerado directamente con hidrógeno.

El sistema de excitación sin escobillas, acoplado directamente al rotor del generador, con diodos rotativos, consta de una excitatriz auxiliar, una excitatriz principal, dos ruedas de rectificadores y refrigeradores aire/agua.

LA FABRICACION NACIONAL

Junto a la colaboración en el sector de la ingeniería, la colaboración con los fabricantes españoles era para KWU no solamente una obligación fijada por la ley, sino representa su política tradicional de empresa orientada hacia la colaboración internacional. Esta política no es meramente altruista: en el caso de ofertas de exportación de centrales nucleares a terceros países (Egipto, Turquía, Yugoslavia), los suministros de fabricantes españoles constituyen una parte fija del paquete ofertado (Figs. XVII y XVIII).

El hecho de que el encargo para el mecanizado de la mayor pieza forjada del mundo, la tapa de la vasija del reactor de agua pesada de Atucha II en Argentina, fuera encomendado a España, expresa la confianza depositada por KWU en la industria española (Fig. XIX).

SUMINISTRADOR

PRODUCTO

A.E.G., S. A.	Rectificadores.
ATISAE, S. A.	Inspecciones control de calidad.
BALCKE-DUERR/ENSA/MECANICA DE LA PEÑA	Separadores de agua-recalentadores intermedios.
BAZAN, S. A.	Turbina/válvulas inyección agua/tubería accesorios.
CANZLER IBERICA, S. A.	Acumuladores, tanques.
CIAT NUCLEAR, S. A.	Inspecciones garantía de calidad.
DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S. A.	Tubos guía de cámara de medida. Viga de transporte tapa vasija. Máquina recarga combustible. Puente de cables.
DURO FELGUERA, S. A.	Accesorios del reactor.
ENSA	Vasija del reactor. Partes internas. Tubería del primario. Tanque de purga del presionador. Refrigerador tanque de purga.
GEA IBERICA	Refrigeradores de hidrógeno y aire.
INDUSTRIAL PIROMETRIA	Termoelementos.
INOXA, S. A.	Tanques sistemas auxiliares del reactor. Filtros.
INSTRUMENTOS WIKA	Manómetros.
KSB-TISA	Bombas sistemas auxiliares reactor.
MATELCO	Equipos de medida capacitivos. Sondas.
MECANICA DE LA PEÑA, S. A.	Tubería de turbina. Soportes y accesorios del separador de agua/recalentador intermedio.
MECESA	Valvulería de instrumentación. Manifolds.
NERVION SPIE	Tanques de agua borada/filtros.
NUOVA FIMA, S. A.	Termómetros.
SIEMENS, S. A./MTM	Alternador 1.032 MW.
SIEMENS, S. A.	Distribuciones eléctricas de fuerza. Motores bombas principales circuito primario. Motores sistemas auxiliares. Armarios eléctricos y para alimentación de ordenadores. Filtros electromagnéticos. Bastidores para convertidores de medida.
TECNOMATIC, S. A.	Vainas. Diafragmas. Potes de condensación.
VALCONTROL, S. A.	Válvulas de regulación.
WALTHON WEIR, S. A.	Válvulas. Potes de condensación.
WANNER ESPAÑOLA, S. A.	Aislamiento térmico vasija

F XVIII Listado de fabricantes españoles que hayan recibido pedidos de KWU.

F XIX La pieza forjada más grande del mundo. Proyecto ATUCHA II (Argentina).

