

EL REACTOR EUROPEO DE AGUA A PRESIÓN (EPR)

ESTADO DE DESARROLLO TRAS LA FASE DEL DISEÑO PRELIMINAR DEL PROYECTO

F. BOUTEILLE - D. SCHNEIDER

El reactor europeo de agua a presión (EPR) es el resultado de la prosecución del desarrollo evolutivo de las líneas de reactores de agua a presión construidos por Framatome y Siemens en Francia y Alemania, respectivamente. Bajo la dirección tecnológica de los dos fabricantes de centrales nucleares (ahora asociados como empresa Framatome ANP, una sociedad de AREVA y Siemens), se creó la concepción de esta planta orientada al futuro, en estrecha colaboración con los sectores energéticos alemán y francés y en cumplimiento de los European Utility Requirements.

El EPR posee características técnicas de seguridad que permiten controlar incluso eventos sumamente improbables, situados más allá del marco del diseño, y reducir sus efectos de manera tal que fuera de la zona directa de emplazamiento de la planta no es preciso adoptar medidas serias. Son posibles, entre otras, medidas técnicas de seguridad para impedir la destrucción de la contención del reactor aún en el caso improbable de una fusión del núcleo. Eso fue confirmado por las autoridades francesas y alemanas competentes para la seguridad de reactores.

Se garantiza al mismo tiempo, con la alta potencia térmica asignada, la rentabilidad de la concepción innovadora de reactor, de manera que los costes de generación de energía factibles con el EPR podrán perfectamente competir con los derivados de agentes energéticos fósiles. Framatome ANP ha desarrollado así en el momento oportuno un reactor de agua a presión, que puede cumplir los más altos requisitos de seguridad nuclear y rentabilidad.

The European Pressurized Water Reactor (EPR) is an evolutionary development of the pressurized water reactor product lines built by Framatome and Siemens in France and Germany. Under the technical leadership of both nuclear power plant suppliers (now merged in Framatome ANP, a joint venture of AREVA and Siemens) the future-oriented plant concept was developed in close cooperation with German and French utilities and in compliance with the European Utility Requirements.

The EPR has safety features with which even extremely improbable, beyond design-basis events can be controlled and their effects can be limited to such an extent that no emergency response actions need be taken outside of the immediate plant site. This also means that safety systems prevent containment failure even in the improbable case of a core melt. This was confirmed by the French and German reactor safety authorities.

The selected high thermal output also ensures the economic viability of the innovative reactor concept, so that the power generation costs which can be achieved with the EPR will be

absolutely competitive with those of fossil energy carriers. Framatome ANP has thus developed a pressurized water reactor ready for offer at the right time, which can completely fulfil the most rigorous requirements in terms of nuclear safety and economy.

INTRODUCCIÓN

El reactor europeo de agua a presión (EPR) es un desarrollo de los fabricantes Siemens y Framatome, la dirección del cual se encomendó en 1992 a la filial conjunta, Nuclear Power International (NPI), fundada en 1989. La Electricité de France (EDF) y las principales empresas alemanas de suministro de energía eléctrica (EVU) que explotan centrales nucleares financian los trabajos de desarrollo y contribuyen a ellos técnicamente. Desde la unión de los negocios nucleares de Framatome y Siemens en enero de 2001, las funciones de la NPI están integradas en la nueva sociedad conjunta Framatome ANP.

El proyecto EPR es una continuación del desarrollo evolutivo de las líneas de reactores de agua a presión existentes en Alemania y Francia que cumple

en su totalidad con los European Utility Requirements. Los fabricantes y explotadores de estas plantas convinieron en que para la sustitución de las plantas que van envejeciendo y la conservación y mejora del know-how en los grupos de personal técnico es oportuna la continuación del desarrollo de la tecnología existente. A ello hay que añadir las discusiones en todo el mundo sobre cómo se podría seguir reduciendo el riesgo, ya reconocido como bajo, de eventos fuera del marco del diseño con repercusiones considerables sobre el ambiente.

Por ello, las empresas eléctricas alemanas y EDF se decidieron ya en 1991 por la continuación del desarrollo evolutivo de las líneas constructivas existentes de reactores de agua a presión (PWR), después de que estudios efectuados por los fabricantes demostraran que también en reactores de agua a presión las repercusiones de eventos que salen del marco del diseño se pueden reducir hasta tal punto que fuera de la zona directa de emplazamiento de la planta no son precisas medidas serias, tales como evacuación o traslado de la población. Otro argumento importante a favor del desarrollo evolutivo de esta tecnología fue el extenso fondo de experiencias de los fabricantes

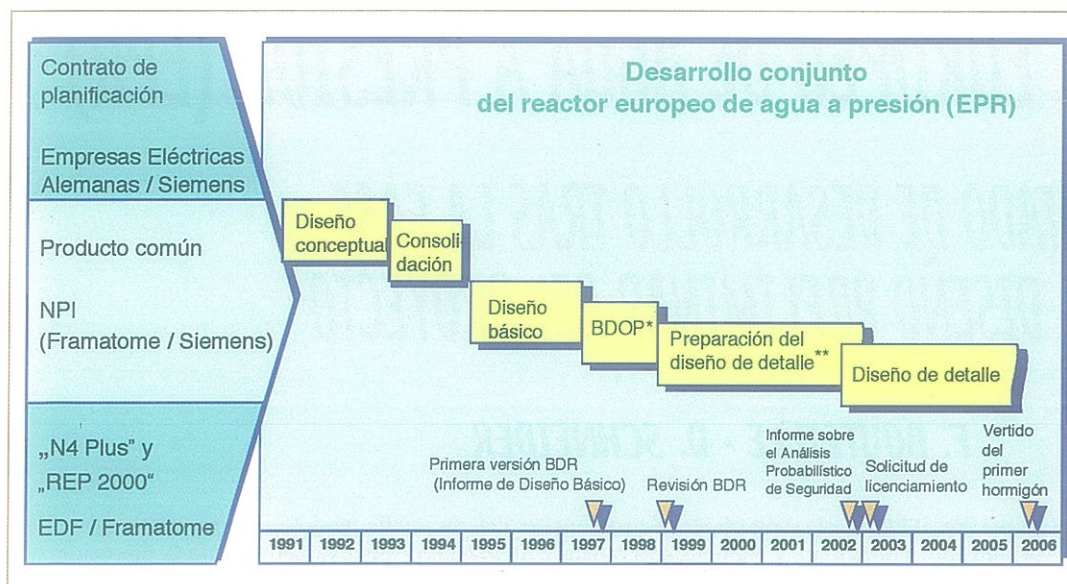


Figura 1. Cronología del proyecto EPR.

y explotadores, que permite limitar el riesgo técnico y comercial del desarrollo. Las empresas que participan en el proyecto han construido o están explotando satisfactoriamente las centrales nucleares con reactores de agua a presión y de agua en ebullición que se hallan en funcionamiento en Alemania y Francia así como algunas centrales destinadas a la exportación a terceros países.

Con la decisión de un desarrollo conjunto franco-alemán de futuros reactores de agua a presión para centrales nucleares a finales de 1991, se dio el primer paso para reunir en una cooperación las líneas constructivas desarrolladas hasta entonces a nivel nacional (figura 1).

Fueron necesarias largas y extensas discusiones hasta que los explotadores y fabricantes, a pesar de las normativas técnicas diferentes entre los países, pudieron establecer para la futura línea constructiva una base técnica conjunta en relación con la seguridad. Después de que en enero de 1995 los organismos asesores del gobierno francés y del BMU alemán (Ministerio federal de medio ambiente), es decir, el Groupe Permanent Réacteur y la Comisión para Seguridad de Reactores, hubieron definido conjuntamente requerimientos de seguridad fundamentales para futuros reactores de agua a presión, existía una base común para el diseño básico del proyecto EPR. En febrero de 1995 comenzó la fase de diseño básico, en

la que se esbozó en sus líneas fundamentales y se configuró la parte nuclear de la futura central. El objetivo fijado con la fase del diseño básico fue el de disponer al término de la misma de todas las informaciones requeridas para la redacción de un informe de seguridad con miras a un procedimiento de licenciamiento en Alemania y en Francia. Las informaciones generadas debían, además, estar lo suficientemente detalladas para poder efectuar tanto en Alemania como en Francia una determinación consistente de precios para una central nuclear completa.

Naturalmente, la colaboración de la industria fabricante con las Empresas Eléctricas sólo podía tener éxito si también estaba asegurada la correspondiente cooperación por parte de las autoridades encargadas de la seguridad en materia nuclear. Esta cooperación estaba dada por la Comisión Directora Franco-Alemana ("Deutsch-Französischer

Direktionsausschuss" / DFD), constituida por el BMU y el organismo de seguridad francés ("Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires" / DSIN). Análogamente a la DFD, también constituyeron un grupo de trabajo conjunto los gremios asesores nacionales, concretamente la Comisión para Seguridad de Reactores y el Groupe Permanent Réacteur. Las valoraciones técnicas de la concepción de EPR, necesarias para este grupo de trabajo, fueron efectuadas por grupos de trabajo conjuntos de la Sociedad para Seguridad de Reactores alemana ("Gesellschaft für Reaktorsicherheit" / GRS) y el Instituto de Protección y Seguridad Nuclear francés ("Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire" / IPSN).

CONCEPCIÓN TÉCNICA DE SEGURIDAD

Conforme a los requerimientos en cuanto a reducción del riesgo residual derivado de eventos fuera del marco del diseño, y en cumplimiento de la ley modificada sobre energía

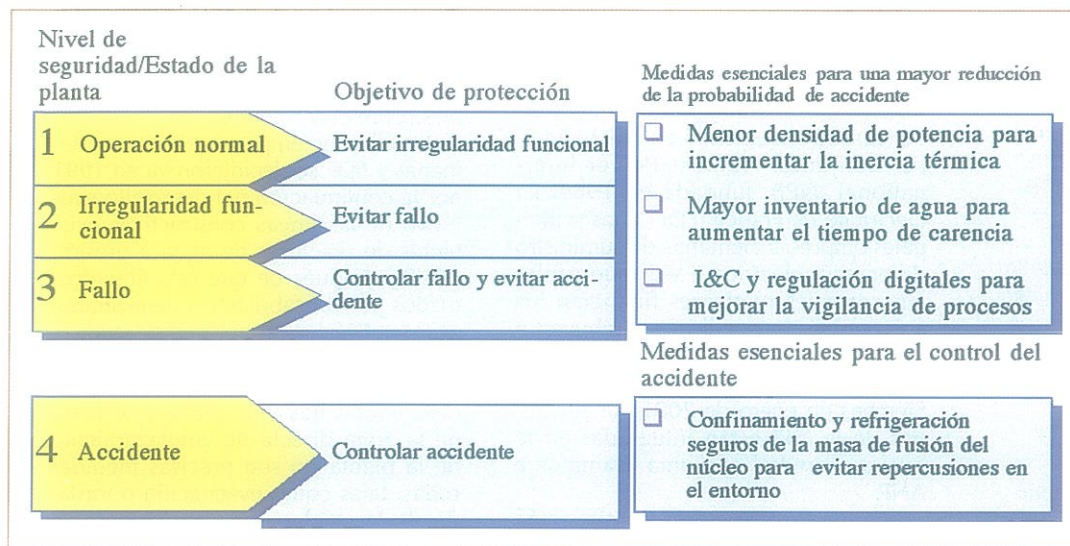


Figura 2. Niveles de seguridad del EPR.

atómica, se amplió con un cuarto nivel de seguridad la actual filosofía de diseño de tres niveles. Los niveles de seguridad 1, 2 y 3 representan los del diseño nuclear clásico, habiéndose ampliado en el nivel 3 la extensión de accidentes base de diseño hasta entonces habitual en el plano internacional. Por consiguiente, se tomaron para el EPR, p. ej., medidas constructivas de protección especiales contra caída de aviones. El nivel 4 no se tomó en cuenta en el diseño de las plantas existentes, pero es tratado en el ámbito del plan de protección de emergencia. En el nivel 4 de la planta EPR están previstos por primera vez en la planificación de una planta equipos técnicos adicionales para impedir la fusión del núcleo y mitigar las consecuencias de la misma.

En la elaboración de los requerimientos técnicos de seguridad armonizados, se han tomado como base en el proyecto los principios siguientes:

- Los requerimientos de seguridad existentes en Alemania y Francia son diferentes. Se han formado en relación con el desarrollo técnico de las centrales nucleares. Garantizan un nivel de seguridad adecuado.

- Los requerimientos de seguridad conjuntos franco-alemanes no pueden ser una simple adición de los requerimientos alemanes y franceses.

- Las experiencias obtenidas en base a la operación de las plantas existentes y el desarrollo del estado de la ciencia y la técnica hacen posibles cambios en la anterior forma de proceder.

- El tiempo disponible para el desarrollo se debe utilizar para crear requerimientos de seguridad ponderados y optimizados.

Para asegurar el nivel de seguridad pretendido en la operación de la planta y en casos de fallos, se siguieron en el EPR los principios siguientes.

- separación de funciones operacionales y funciones técnicas de seguridad para evitar en lo posible una complejidad innecesaria de los sistemas,

- sistemas de seguridad estructurados en cuatro ramas,

- separación física de las diversas ramas redundantes de sistemas de seguridad,

- exclusión del menoscabo de los sistemas en una redundancia por malfunción en otra redundancia.

Con estas claras especificaciones queda reducida en una medida ya sufi-

Potencia térmica nominal (sist. nuclear de generación de vapor)		
	MW	4280
Potencia eléctrica nominal (neta)		
	MW	~ 1550
Sistema de refrigeración del reactor		
• número de lazos		4
• presión de operación	bar _{abs}	155
• temperatura vasija de presión del reactor, entrada/salida	°C	295 / 326.3
• caudal nominal total	kg/s	22150
Generador de vapor		
• presión del vapor vivo a plena carga	bar _{abs}	78
• presión del vapor vivo a carga cero	bar _{abs}	90
• área de transmisión de calor	m ²	7960
Núcleo		
• número de elementos combustibles		241
• número de grupos de barras de control		89
• disposición de elementos combustibles		17 x 17 – 25
• altura activa	cm	420
• potencia media de barras	W/cm	155
• enriquecimiento máximo	% U ₂₃₅	5
• grado de quemado	MWd/kg	60

Figura 3. Datos de la planta de EPR después de la optimización.

ciente la probabilidad de que irregularidades o fallos puedan originar eventos fuera del marco del diseño.

Aparte de ello, de conformidad con las exigencias de las autoridades franco-alemanas encargadas de la seguridad, se tomaron medidas para garantizar que, aun en el caso de eventos fuera del marco del diseño, no pueda haber repercusiones catastróficas en el entorno.

Conforme a las exigencias a nivel mundial se adoptan medidas técnicas que hacen que la probabilidad de accidentes de fusión del núcleo por reactor y año sea inferior a 1 : 1.000.000. Se garantiza además que estén prácticamente descartados escapes que hagan necesario evacuar o trasladar la población en la zona fuera del entorno directo de la planta. La probabilidad de que esto ocurra se sitúa claramente por debajo de la correspondiente a accidentes de fusión del núcleo. De acuerdo con las exigencias de las autoridades franco-alemanas encargadas de la seguridad, la planta se diseña de manera tal que en casos de fusiones nucleares

- no sean necesarias medidas de gran transcendencia en el transcurso de las primeras 24 horas,

- no sea necesario evacuar o trasladar la población en la zona fuera del

entorno directo de la planta,

- no sea necesario restringir el uso de alimentos producidos después de la primera cosecha.

Las medidas adicionales para alcanzar los objetivos arriba indicados deben considerar las condiciones siguientes:

- los equipos especiales para el tratamiento de accidentes y la limitación de sus efectos se deben incluir adecuadamente en la concepción de la planta,

- los equipos especiales para el control de accidentes no deben ocasionar cargas adicionales considerables al personal de operación,

- los equipos contra accidentes de fusión del núcleo no deben cuestionar la operación segura de la planta,

- los sistemas pasivos son sólo necesarios en la fase de corta duración,

- para todos los escenarios que no se pueden descartar, se garantiza la integridad de la contención.

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Después de la fase de diseño básico y de la subsiguiente fase de optimización quedan fijados los datos técnicos esenciales del EPR (figura 3).

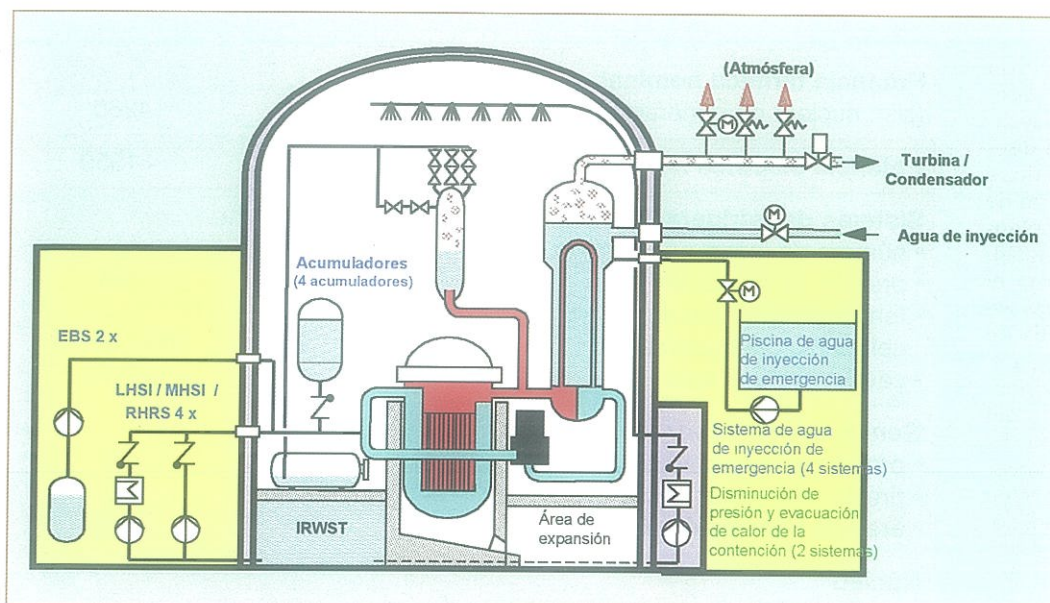


Figura 4. Equipo de seguridad.

Se asignó al EPR una potencia térmica mayor que la de todas las centrales con reactor de agua a presión hasta ahora existentes, para garantizar la rentabilidad. Por la elección de un generador de vapor con zona de precalentamiento y de una turbina de vapor de tecnología avanzada, fue posible elevar el rendimiento hasta un valor muy próximo al 38 %. Para un reactor de agua a presión, es este un valor excelente, teniendo en cuenta la temperatura relativamente baja del vapor vivo comparada con la de procesos convencionales. Para el caudal de refrigerante y el rango de calentamiento se eligieron unos valores lo más altos posible en la medida de lo aceptable

hoy en día en base a las experiencias operativas disponibles, y sin considerar todavía desarrollos e innovaciones futuros. Se hallan en desarrollo nuevos materiales y diseños de los elementos combustibles que permitirán en el futuro un mayor rango de calentamiento y, por tanto, mejoras ulteriores del rendimiento.

La representación esquemática de los equipos de seguridad (figura 4) muestra los sistemas directamente acoplados al circuito primario previstos para la inyección en casos de accidentes con pérdida de refrigerante.

Los sistemas de seguridad son cuatro veces redundantes y cada sistema inyecta en uno de los lazos del circuito

primario. Los sistemas de refrigeración de emergencia se desglosan en cuatro acumuladores de presión de efecto pasivo así como cuatro sistemas de inyección de alta y baja presión. Además de los sistemas del primario para la evacuación del calor residual, también existe en el lado secundario un sistema para asegurar la evacuación de calor en caso de fallo de la inyección. Se trata de un sistema de inyección de emergencia de cuatro ramas; cada rama inyecta en un generador de vapor. La energía transmitida al generador de vapor se evacua a través del sistema de vapor vivo. Si, debido a un fallo del sumidero principal de calor, el condensador de la turbina no está disponible, es también posible la evacuación a la atmósfera desde los generadores de vapor intactos.

La figura 5 muestra la estructura de cuatro redundancias de los sistemas de inyección de seguridad del lado primario con su reserva de agua en el edificio del reactor (Internal Refueling Water Storage Tank, IRWST).

El espacio para la reserva de agua en el edificio del reactor sirve tanto de acumulador de agua de refrigeración de reserva como de colector del agua que sale de eventuales fugas en el circuito primario en caso de accidente.

La inyección de emergencia en el lado secundario antes citada, se efectúa con ayuda de bombas accionadas por electromotores, estando asignada cada bomba a uno de los cuatro generadores de corriente de salvaguardia. Hay que destacar como particularidad del EPR que las ramas de alimentación de corriente de emergencia 1 y 4 disponen de una alimentación de corriente de salvaguardia adicional por medio de generadores diesel diversificados más pequeños.

Por esta concepción de la planta queda asegurada la inyección de emergencia en los generadores de vapor aun en el caso de fallo simultáneo de los cuatro generadores diesel de corriente de salvaguardia (figura 6). Los sistemas parciales de seguridad de cuatro redundancias anteriormente mencionados están dispuestos en recintos físicamente separados.

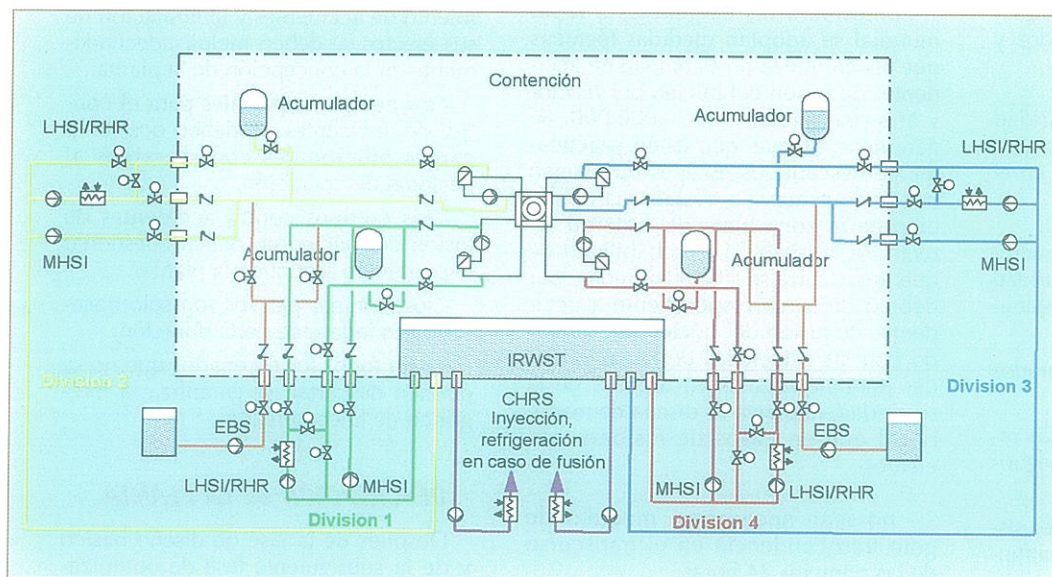


Figura 5. Sistemas de seguridad en el lado primario.

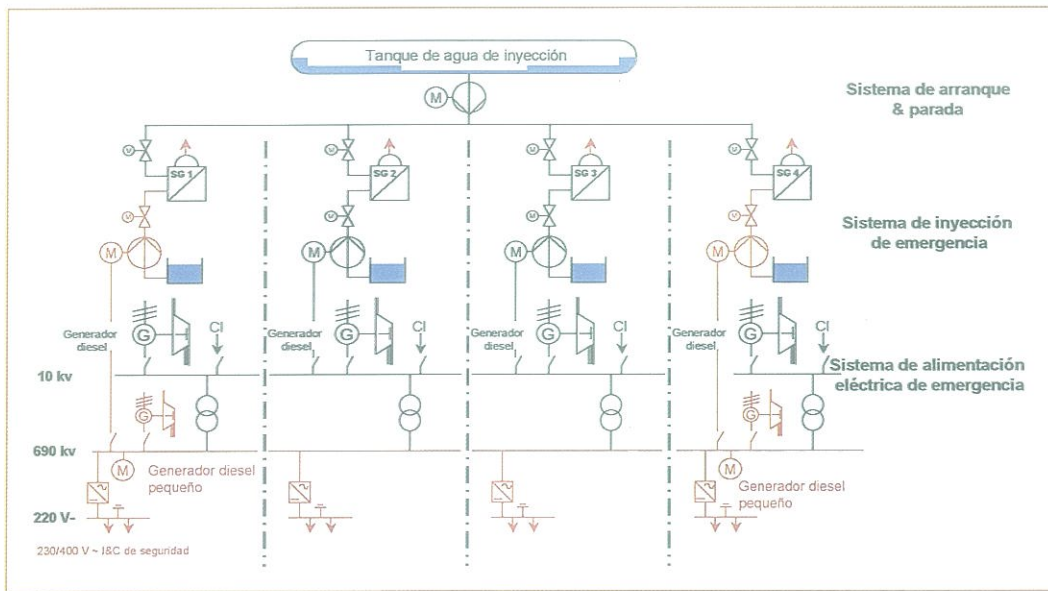


Figura 6. Concepción de la inyección de los GGTV, incluyendo la alimentación de energía eléctrica.

En la figura 6 está representada la vista en planta del edificio del reactor y de los edificios para los equipos de seguridad con el sistema de inyección de seguridad del circuito primario y los sistemas de inyección de emergencia de los generadores de vapor. Las diversas ramas están alojadas en las divisiones 1, 2, 3 y 4. De esta forma queda garantizado que daños en una rama no se propaguen a las demás. Los sistemas parciales de cuatro redundancias están dimensionados de manera tal que la necesaria función de seguridad está siempre dada si por lo menos dos de los cuatro sistemas parciales funcionan. La vista en planta muestra asimismo las repercusiones de la protección contra influencias externas. Los edificios de seguridad para las divisiones 2 y 3 así como el edificio del reactor y el edificio de alojamiento de los elementos combustibles gastados están rodeados de una pared doble. El grosor y la armadura de la pared exterior es suficiente para detener la colisión de un avión militar a alta velocidad. Las divisiones 1 y 4 no precisan protección. La separación entre ellas es tal que por una caída de avión sólo podría ser destruida una división. Esto no tendría importancia para la funcionalidad de los equipos de seguridad.

La figura 8 muestra un corte por el edificio del reactor y uno de los edificios colindantes de equipos de seguridad y el edificio de almacenamiento de elementos combustibles. Se aprecia muy bien la estructura de doble pared para la absorción de las cargas debidas a influencias externas así como el edificio de combustible y la disposición vertical de los componentes mecánicos, eléctricos y de instrumentación y

control de las diversas funciones de seguridad en el interior de los cuatro edificios de seguridad redundantes entre sí.

EVENTOS FUERA DEL DISEÑO CLÁSICO DE PLANTAS

Conforme a los requisitos de las autoridades encargadas de la seguridad en materia nuclear, en el EPR se han intensificado ya en la concepción de la planta las medidas contra eventos fuera del marco del diseño. Esto concierne particularmente a la aplicación sistemática de lo que se denominan funciones de reserva para mejorar aún más los dispositivos de seguridad preventiva. Si falla una función completa para el control de un accidente, se toman medidas diversificadas para alcanzar un mismo objetivo. ¿Qué significa eso concretamente? Si se postula después de una fuga pe-

queña el fallo total en las cuatro redundancias del sistema de inyección a alta presión entonces requerido, existe la posibilidad de evacuar, como alternativa, el calor de desintegración residual del núcleo del reactor por el lado secundario y de bajar la presión hasta que los acumuladores de presión y las bombas de inyección de baja presión se activen. Así, también en el caso del fallo total sumamente improbable del sistema para ello previsto, el accidente está controlado de manera tal que queda excluida una destrucción del núcleo.

Conforme a lo especificado por las autoridades encargadas de la seguridad, se deben prever, no obstante, y a pesar de todas las mejoras preventivas, medidas para aquellos eventos que producen una fusión del núcleo después de un fallo postulado de todos los equipos de seguridad. Se consigue, con ello, impedir en tales eventos impactos catastróficos sobre el entorno. Para el diseño del EPR significaba ello esencialmente que la destrucción de la contención en un accidente postulado de fusión del núcleo se tenía que evitar por medio de medidas técnicas. Estas medidas afectan principalmente a:

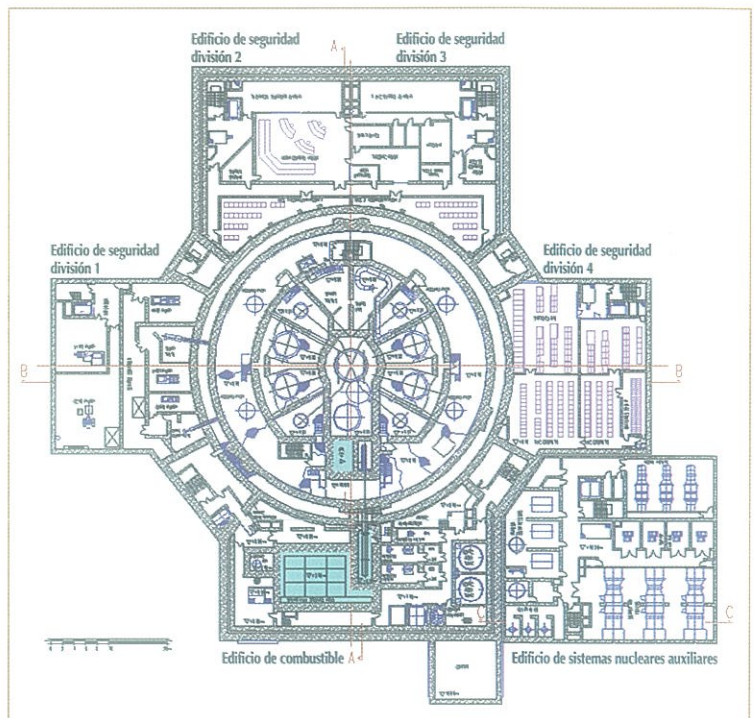


Figura 7. Disposición de los sistemas de seguridad esenciales.

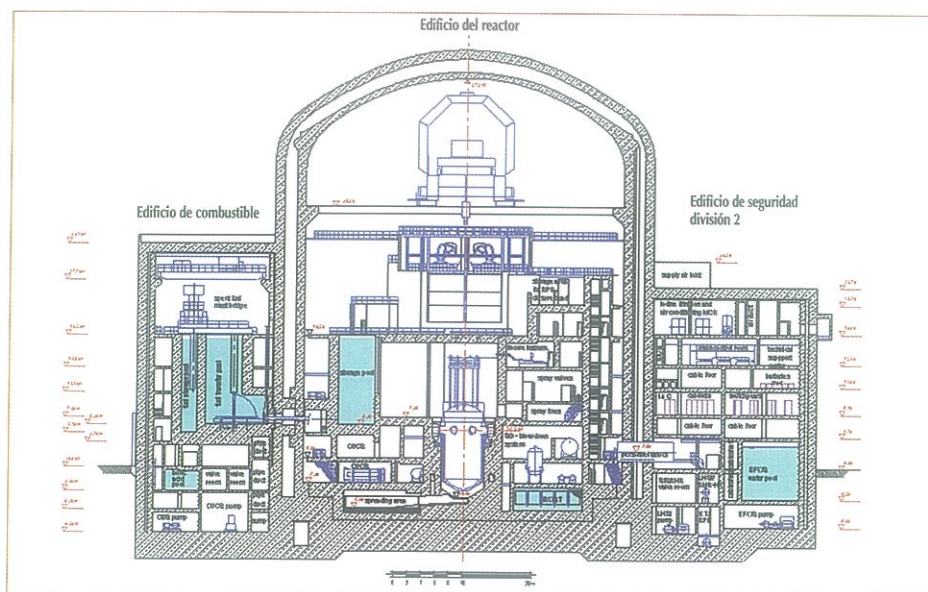


Figura 8. Corte A-A por el edificio.

- la descarga de presión del sistema de refrigeración del reactor
- la construcción del foso del reactor
- la estabilización de la masa de fusión
- el diseño de la contención
- la evacuación de calor de la contención
- la recombinación de hidrógeno

Los especialistas de ambos países han confirmado que ninguna ruta de eventos conduce a una destrucción de la contención. Se pudo demostrar que ello no es físicamente posible o que se puede excluir por razón de las medidas técnicas adoptadas.

ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

En el momento actual, está disponible un diseño preliminar del proyecto EPR, que cumple los requisitos hasta ahora formulados por las autoridades alemanas y francesas encargadas de la seguridad. Esto ha sido confirmado entretanto por los informes positivos de los peritos de ambos países. Por parte de los fabricantes de centrales nucleares y de las empresas suministradoras participantes se invirtieron en el período de desarrollo transcurrido hasta ahora alrededor de 350 millones de EUR por trabajos en las instalaciones de los fabricantes, los institutos de investigación, los peritos y los expertos.

El resultado es una concepción de reactor orientada al futuro, de la máxi-

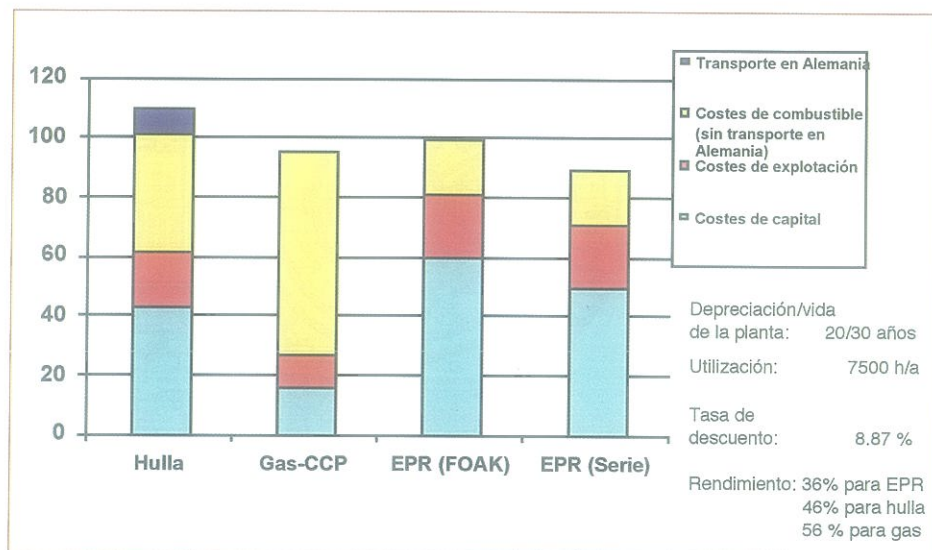
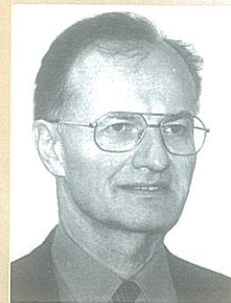


Figura 9. Comparación del EPR con plantas convencionales.

ma seguridad y rentabilidad, que está dispuesta para su realización. Los costes de la planta determinados por las partes alemana y francesa, con independencia entre sí, llevan en todo caso, considerando la disponibilidad esperada y la alta potencia de la planta, a costes de generación de energía manifiestamente más favorables que los derivados de la hulla importada, ya sea cerca o lejos de la costa. Con ello, los costes de generación son igualmente competitivos frente a los de las plantas GuD más modernas (figura 9).



Francois BOUTEILLE, Vicepresidente del departamento de ingeniería y Director del proyecto EPR en Framatome ANP, París, Francia

El Sr. Francois Bouteille está empleado en Framatome desde 1976. Desempeñó diferentes funciones de ingeniería en proyectos nacionales y de exportación. Entre 1994 y 2000 fue Director técnico para el desarrollo del EPR en la sociedad NPI Nuclear Power International, París, una filial común de Framatome y Siemens.



Dieter SCHNEIDER, Dipl.-Ing., Director, Gestión de productos, EPR, Framatome ANP, Erlangen

El Sr. Schneider inició su carrera profesional en Siemens en 1966 como ingeniero de sistemas y fue promovido en el año siguiente a director de departamento. En 1989 pasó a ocupar el puesto de director del proyecto de prediseño de la Nuclear Island de la empresa NPI (Nuclear Power International), París, una filial conjunta de Framatome y Siemens para el desarrollo de diseños avanzados de centrales nucleares. Desde 1993 está a la cabeza de la gestión de producto del EPR en Erlangen.