



José COBIAN ROA
Technical Services Manager,
Westinghouse Sistemas Energéticos
España



Howard J. BRUSCHI
General Manager, Advanced Technology
Business Area
Westinghouse Electric Corporation



Ernst H. WEISS
Manager, International New Plant
Marketing
Westinghouse Electric Corporation

EL REACTOR AVANZADO PASIVO AP-600 DE WESTINGHOUSE

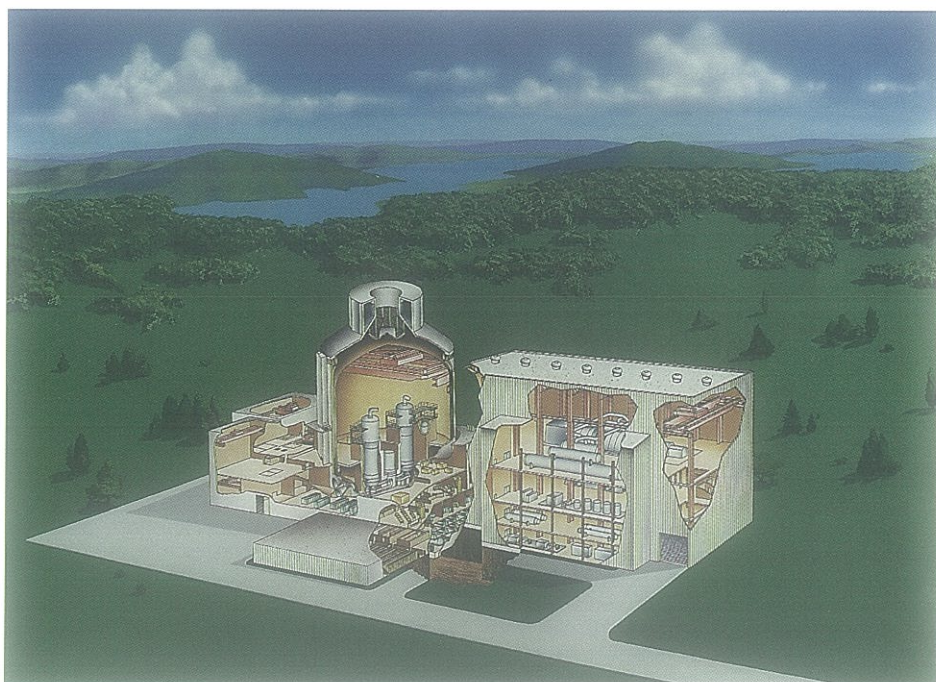
J. COBIAN - H. BRUSCHI - E. WEISS

INTRODUCCION

Desde el comienzo de su andadura en el año 1985, el programa de desarrollo del reactor avanzado pasivo AP-600 ha ido incorporando los elementos necesarios para enfrentarse adecuadamente a las diferentes barreras existentes hoy en la industria eléctrica nuclear, entre las que podemos destacar la obtención y demostración de un alto nivel de seguridad en el diseño, su licenciamiento, la economía del kilowatio y la aceptación pública. Una vez terminada la etapa de diseño conceptual en 1989, el EPRI (Electric Power Research Institute) y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) concedieron fondos adicionales para realizar

el diseño de detalle, a la vez que nuevos participantes, atraídos por la seriedad del programa, se incorporaban al equipo de diseño liderado por Westinghouse. Merece destacar aquí la participación del grupo TENEO (INI), que concibió su participación como continuación del desarrollo del APWR-1000, y de UNESA, cuya participación se sitúa dentro de un ambicioso programa de reactores avanzados. Actualmente, el programa está entrando en la fase final de pruebas y diseño (FOAKE), tras la reciente adjudicación de fondos de ARC (Advanced Reactor Corporation).

El programa de desarrollo del AP-600 está formulado en torno a los objetivos establecidos por el EPRI y el DOE para



reactores avanzados de agua ligera, cuyos aspectos más relevantes se describen a continuación:

- Selección del diseño de componentes utilizando la experiencia obtenida durante más de 30 años de funcionamiento de centrales de agua ligera, evitando desarrollos innecesarios que requerirían extensos programas de pruebas con prototipos. Los diseños de la vasija del reactor, internos y combustibles, son totalmente convencionales. El generador de vapor, el turboalternador y, en general, la mayor parte de los componentes incorporan mejoras basadas en esta amplia experiencia.

- Garantía de un alto grado de seguridad pública y de predictibilidad del proceso de licenciamiento. En el AP-600, los principios de seguridad pasiva tales como la gravedad, circulación natural y convección sustituyen a los de seguridad activa tales como suministro eléctrico y componentes accionados por motores, en el funcionamiento de los sistemas de seguridad.

- Simplificación de equipos, sistemas y, en general, de todos los procesos de diseño, fabricación, montaje y funcionamiento.

- Reducción del tiempo de construcción y garantía de cumplimiento de la programación.

- Generación de un kilovatio competitivo con otros sistemas de generación eléctrica.

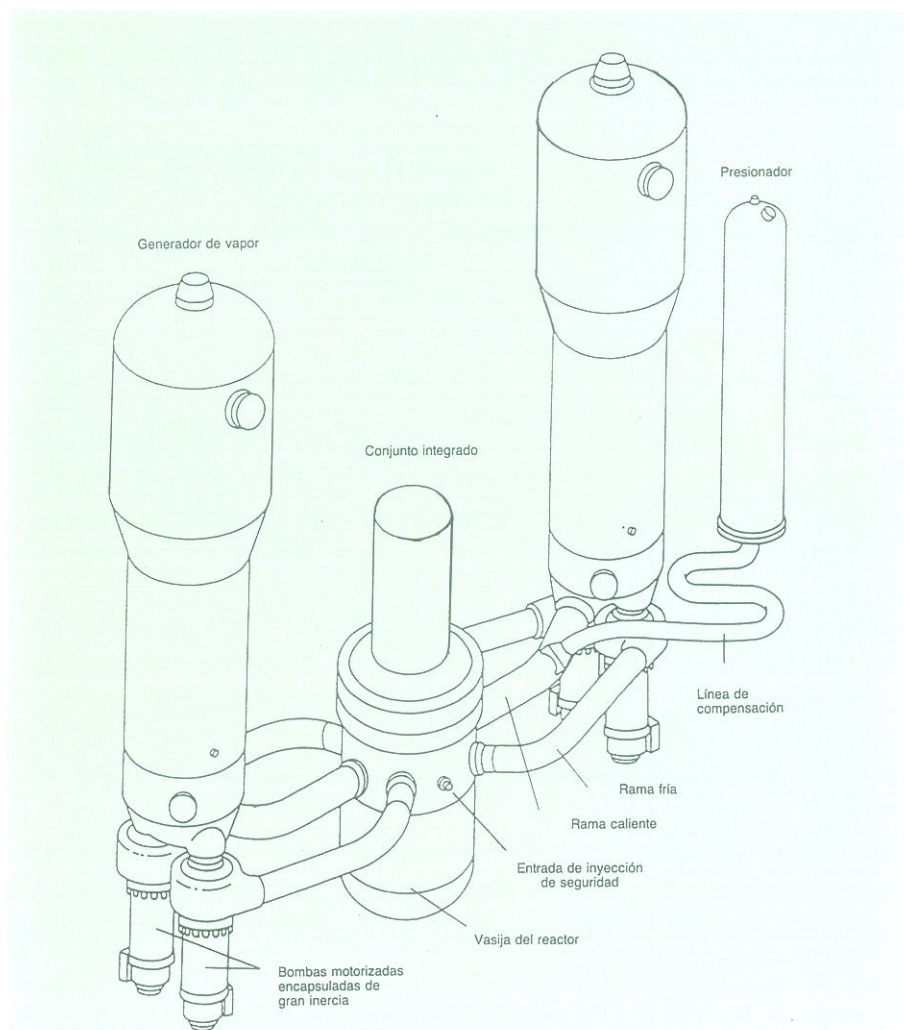
El hito del programa es la obtención de un diseño estándar certificado por la Nuclear Regulatory Commission de los Estados Unidos (NRC) a mediados de la década de los 90.

CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

En el proceso de desarrollo se ha procedido sistemáticamente a la simplificación del diseño, apoyándose unas veces en la racionalización de los diseños actuales y otras en la introducción de conceptos innovadores como los de la seguridad pasiva o de tecnologías de vanguardia. La modularización y la capacidad de premontaje en taller de muchos equipos simplifican notablemente la construcción de la central.

Los sistemas de seguridad pasivos no requieren sistemas de seguridad de apoyo (tales como el de agua de refrigeración de componentes y el de agua de servicios), lo que permite, por un lado, la concentración de equipos de seguridad en un área pequeña, y, por otro, la simplificación de los que no lo son. Todo esto contribuye en última instancia a la reducción de equipos y de cantidades netas de materiales utilizados.

En el sistema de refrigerante del reactor se han utilizado bombas motorizadas encapsuladas y herméticamente cerradas, acopladas en posición invertida a los generadores de vapor, tal como se indica en la figura 1. Se han modificado las cajas de agua de cada



F | Sistema del Refrigerante del Reactor.

generador de vapor para permitir el acoplamiento de dos bombas. Las toberas de succión están soldadas a las toberas verticales de las cajas de agua, combinando así el generador de vapor y las bombas en una sola estructura.

Se ha utilizado un núcleo de baja densidad de potencia de 145 elementos de 17x17, de 3,65 m. de longitud activa y bajo enriquecimiento. El control de la reactividad para la parada y para la compensación del quemado se ejerce mediante boro soluble y barras de venenos consumibles. Se incluyen barras grises (18 conjuntos) para el seguimiento de carga y regulación de la potencia. Con objeto de potenciar la disponibilidad de la planta, se utiliza como referencia un ciclo de 18 meses con un núcleo de tres regiones. El núcleo está rodeado por un reflector neutrónico radial de acero inoxidable, que, al mejorar la economía neutrónica, permite funcionar con enriquecimientos bajos, reduciendo en una reducción de los costes del ciclo de combustible.

El generador de vapor, modelo Delta 75, tiene un secundario de característi-

cas muy semejantes al modelo F y un primario modificado en la sección de las cajas de agua para permitir el acoplamiento de las bombas. El diseño proporciona un acceso amplio y espacio abundante para la inspección, tapado y demás operaciones a realizar en los tubos, bien por medios manuales o mediante robots. Esta configuración proporciona un acoplamiento entre el generador de vapor y las bombas de suficiente rigidez para poder considerarlo como una sola estructura a efectos de los soportes mecánicos. Una brida de nuevo diseño válida para las toberas de múltiples accesos (accionadas por robots) permite las operaciones de inspección y mantenimiento mientras las operaciones de recarga están en proceso.

La selección del tipo de bomba encapsulada se debe a su excelente historial de funcionamiento y a su contribución a la simplificación de los sistemas auxiliares de fluidos. Su sellado hermético elimina la posibilidad de accidentes de pérdida de refrigerante a través de los cierres.

La configuración compacta y simétrica del sistema del refrigerante del reactor y la utilización del criterio "leak before break" ha permitido el desarrollo de un diseño de soportes extremadamente sencillo y barato. La sencillez del sistema de soportes proporciona un amplio acceso a generadores de vapor y bombas, facilitando así las operaciones de inspección y mantenimiento.

La tapa de la vasija, los mecanismos de accionamiento de los conjuntos de control, soportes sísmicos, cables y bandejas e instrumentación intranuclear forman un conjunto integrado que facilita las operaciones de recarga, disminuye el tiempo de montaje y reduce la dosis al personal de recarga.

En los paneles principales de control y de emergencia se utilizan pantallas de datos y paneles de plasma cualificados para proporcionar la información requerida.

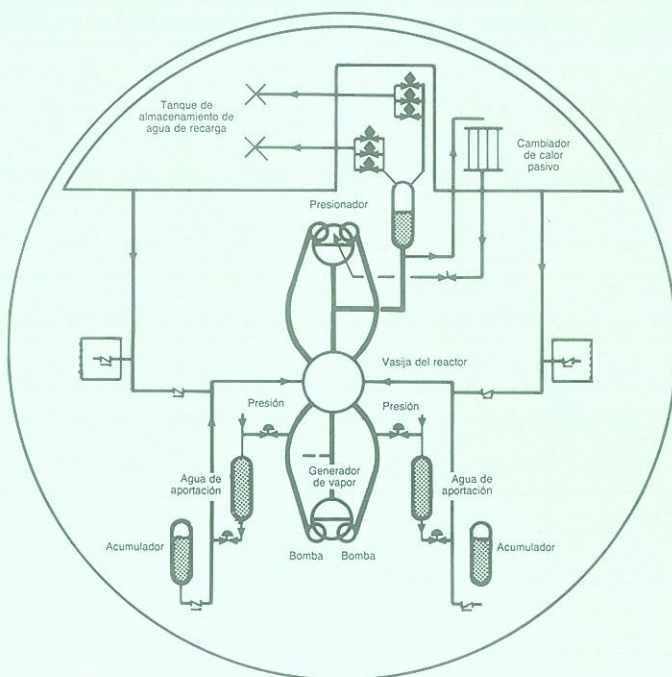
Un sistema avanzado de alarmas categoriza, jerarquiza y exhibe mensajes de alarma. La consideración del factor humano en el diseño se ha traducido en una mejora de la operatividad de la sala de control y en una reducción de la probabilidad de fallo del operario.

PRINCIPIOS DE SEGURIDAD PASIVA

Se utilizan principios de seguridad pasiva para ejercer todas las funciones de seguridad requeridas en caso de transitorios o accidentes, tales como eliminación del calor residual del núcleo, control del inventario del refrigerante del reactor, inyección y recirculación en caso de LOCA (accidente de pérdida de refrigerante), eliminación del calor de la contención, rociado de la contención, etc. Los sistemas utilizados para cumplir estas funciones son sencillos, fiables, fácilmente medibles y comparables y no requieren intervención del operario.

El sistema de inyección pasiva realiza las funciones de eliminación de calor residual, aportación de agua para el control del inventario del refrigerante, la inyección de seguridad y el rociado de la contención (fig. II).

El sistema de eliminación del calor residual consiste en un cambiador de calor que actúa en circulación natural dentro



F II Sistema Pasivo de Inyección.

de un circuito conectado al primario y cuando los sistemas de agua de alimentación normal o de arranque o el generador de vapor no estén disponibles. Este circuito está cerrado a presión. El tanque de almacenamiento de agua de recarga situado dentro de la contención actúa como sumidero de calor. El cambiador de calor actúa automáticamente al abrirse cualquiera de las dos válvulas accionadas por la pérdida del suministro eléctrico externo. La circulación natural conduce el refrigerante de la rama caliente del primario al cambiador de calor, y de allí a la zona fría del primario en la zona de salida del generador de vapor.

Para los casos de pequeñas roturas y de una indisponibilidad subsiguiente del sistema de agua de aportación normal existe en el diseño un sistema pasivo de aportación consistente en dos tanques con agua borada que pueden proporcionar agua al primario a presiones nominales por la sola acción de la gravedad. Las válvulas de aislamiento de estos tanques con el sistema primario abren automáticamente con señal bajo-bajo en el presionador y con los disparos consiguientes del reactor y bombas principales.

Estos dos tanques (junto con dos acumuladores) son los medios previstos para proporcionar agua al primario en el caso de grandes roturas. El caudal que fluye al núcleo desde los tanques de inyección pasiva puede incrementarse por acción de la presión de una

línea compensada, que va desde las ramas frías del reactor a la parte superior de dichos tanques.

Debido a que la capacidad de estos tanques es limitada, se requiere acudir a otras fuentes de agua después de que se haya producido su vaciado en el reactor durante la fase de inyección. El principal suministro utilizado para este fin es el tanque de almacenamiento de agua de recarga, que se encuentra situado por encima del nivel de los lazos primarios y proporciona agua al reactor por gravedad. Este mecanismo de aportación sólo es viable cuando la presión hidrostática del agua del tanque, sumada a la presión de la contención, es mayor que la presión del sistema primario.

Para iniciar la actuación de este mecanismo en el momento requerido, el sistema primario está

dotado de un sistema de despresurización, que se activa por la coincidencia de la actuación de los tanques pasivos de aportación al núcleo y la señal de bajo nivel.

El alivio de la presión en el primario se realiza a través de dos conjuntos de válvulas redundantes existentes en el presionador, cuya descarga se conduce al tanque del almacenamiento de agua de recarga.

En caso de LOCA se producirá el vaciado de este tanque en unas 10 horas. Para entonces se habrá producido ya la inundación de la contención y se habrá establecido una recirculación de agua que, por gravedad, vuelve al sistema primario. El núcleo se refrigera, produciéndose vapor que, al escapar, se condensa en las paredes de la contención, descendiendo por gravedad hasta introducirse de nuevo en el primario.

El sistema pasivo de rociado de la contención consta de dos tanques para agua borada y varios tanques de nitrógeno a presión, todos colocados fuera del contenedor.

Por señal de alta actividad en la contención se abren las válvulas de aislamiento que separan los tanques de nitrógeno presurizado de los de agua borada, originándose un caudal de rociado en la contención de unos 1.100 galones mín. durante 30 minutos, continuando durante un cuarto de hora adicional a menores caudales.

El sistema pasivo de refrigeración de la contención transfiere energía

procedente del núcleo (en caso de accidente) al medio ambiente, manteniendo la presión de la contención dentro de sus límites de diseño (45 psig) y reduciéndola significativamente en el largo plazo.

En la figura III se indica el camino de la circulación natural del aire utilizado para la refrigeración de la contención. El agua procedente del tanque anular de 1.400.000 l., situado encima de la contención, es conducida sobre la cúpula y pared metálica para potenciar el proceso de transferencia de calor en caso de accidente.

Este tanque tiene una autonomía de tres días, después de los cuales se requeriría una actuación manual para alinear otros sistemas que sigan suministrando agua.

Por último, el sistema pasivo de rocío actúa para refrigerar la contención solamente cuando no haya disponibles otros medios o cuando la cantidad de calor a extraer sea muy elevada (fig.III).

ASPECTOS ECONOMICOS

En la definición del diseño del AP-600 se ha dedicado especial atención a la reducción de los costes de funcionamiento y mantenimiento, costes que han sido reducidos utilizando el 80% como factor de disponibilidad, hipótesis muy conservadora según los expertos. Utilizando criterios e información del EPRI, Westinghouse ha concluido que las necesidades de personal del AP-600 son semejantes a las de las centrales tradicionales de dos lazos, las cuales son las más bajas a escala relativa comparadas con las de otras potencias.

Basándose en estas evaluaciones se ha llegado a la conclusión de que en los Estados Unidos, utilizando un ciclo de 18 meses, el presupuesto anual para una unidad es del orden de 34 millones de dólares (año 1991)

La peculiaridad de las características de los sistemas pasivos de seguridad de inyección al núcleo y de refrigeración de la contención permiten la utilización de sistemas de soporte, tales como el de agua de refrigeración y el de suministro de corriente alterna que no sean de seguridad, con la consiguiente simplificación que esto implica. La utilización de la electrónica digital y de las técnicas de multiplexado conlleva una reducción importante de las cantidades de cables y de sus correspondientes bandejas. La sencillez del diseño redundante en una importante reducción de los costes.

Así, para un reactor de 600 MWe (completo y licenciado) se estima un coste del kilowatio instalado inferior a un 30% al de una central nuclear convencional de igual potencia.

Se estima igualmente una reducción

de los costes de funcionamiento y mantenimiento citados 33% respecto a las cifras medias de la industria eléctrica norteamericana.

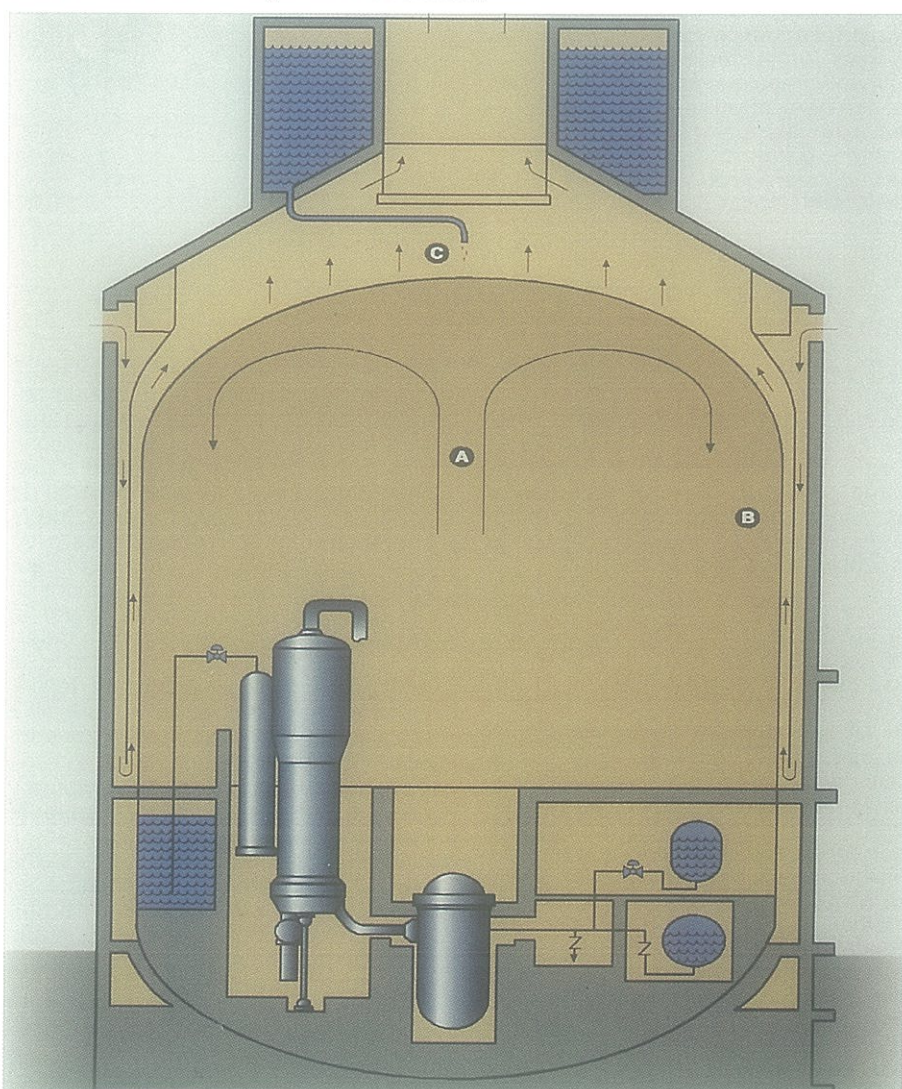
SITUACION ACTUAL DEL PROGRAMA

En 1989, la Nuclear Regulatory Commission (NRC) de los Estados Unidos inició la reforma del proceso de licenciamiento de centrales nucleares adoptando una nueva normativa recogida en el Título 10 del Código de Regulaciones Federales, Apartado 52 (10CFR52), mediante el cual se

puede certificar un diseño sin la necesidad de licenciar una central. De esta forma, una central nuclear que se acoja a un diseño estándar ya certificado necesita solamente un permiso adicional (en vez de dos como hasta ahora) para poder funcionar.

El AP-600 está siguiendo un proceso de certificación de diseño de acuerdo al 10CFR52, dentro del cual se está procediendo actualmente a la evaluación de los Informes de Seguridad y Probabilista de Riesgos, así como de los ITAACs (Inspection Tests Analysis and Acceptance Criteria), con el objetivo de conseguir la Aprobación Final y Certificación del Diseño de 1995.

F III Sistema Pasivo de Refrigeración de la contención.



A - La condensación interna y la circulación natural transfieren el calor del núcleo a la estructura de acero de la contención.

B - La contención está refrigerada por una corriente de aire en circulación natural a través del espacio comprendido entre su estructura y el edificio que la rodea.

C - Inicialmente, se refuerza la refrigeración de la contención mediante una corriente de agua procedente de los tanques situados encima de la cúpula.