

EL AP 1000 DE WESTINGHOUSE

J. COBIÁN - R. LLOVET

El AP 1000 es un reactor de agua a presión de 1000 Mwe de dos lazos, que presenta muchas características de seguridad pasiva, y en cuyo diseño se han introducido muchas simplificaciones respecto a diseños anteriores al objeto de optimizar los procesos de construcción, funcionamiento y mantenimiento. La tecnología utilizada en su diseño ha sido ampliamente probada a lo largo de más de 30 años de experiencia de operación de PWRs. El diseño del AP-1000- obtuvo la aprobación final de diseño de la NRC en septiembre del 2004, y se prevee la certificación de diseño este septiembre. Su alto nivel de seguridad ha sido verificado hasta la saciedad por las evaluaciones probabilistas y los análisis de seguridad. El diseño se ha hecho introduciendo amplios márgenes de seguridad y la probabilidad de ocurrencia de escenarios que impacten a la seguridad pública es extremadamente baja. El AP-1000 cumple con el Documento de Requisitos del EPRI del sector nuclear norteamericano para Reactores Avanzados de Agua Ligera. Sencillez y simplificación son conceptos básicos gracias a los cuales el AP-1000- es más fácil y menos caro de operar y mantener. Ambos contribuyen en gran medida a reducir los costos de capital, y proporcionan protección frente a los costos de los requisitos reguladores de operación y mantenimiento al haberse eliminado equipos sujetos a regulación. El diseño del AP-1000- tiene 60% menos válvulas, 75% menos tubería, 80% menos cable de control, 35% menos válvulas y 50% menos volumen de edificios sísmicos que un PWR convencional.

The AP-1000- is a two-loop, 1000 Mwe pressurized water reactor (PWR) with passive safety features and extensive plant simplifications to enhance the construction, operation and maintenance. The AP-1000- uses proven technology, which builds on the over 30 years of operating PWR experience. The AP-1000 received Final Design Approval from the US NRC in September 2004. The safety performance of AP-1000- has been verified by extensive safety analysis and probabilistic safety assessment. AP-1000 safety margins are large and the potential for accident scenarios that could jeopardize public safety is extremely low. The AP-1000 is designed to meet the demanding utility requirements of the EPRI Advanced Light Water Reactor Utility Requirements Document. Simplicity is the key technical concept behind the AP-1000-. It makes the AP-1000- easier and less expensive to build, operate and maintain. Simplification helps to reduce capital costs and provides a hedge against regulatory driven operations and maintenance costs by eliminating equipment subject to regulation. There are at 60% fewer valves, 75% less piping, 80% less control cable, 35% fewer pumps, and 50% less seismic building volume than in a conventional reactor. Compliance with the European Utility Requirements

is currently being assessed and is also expected to show AP 1000 compliance.

EQUIPOS PRINCIPALES

El AP-1000- utiliza una tecnología ampliamente experimentada y probada. El sistema de refrigeración del reactor consta de dos circuitos de transmisión de calor por los que se hace circular el refrigerante, cada uno de los cuales con un generador de vapor, dos bombas principales, una rama caliente y dos ramas frías. El sistema incluye también un presionador, tuberías de interconexión, y las válvulas e instrumentación necesarias para el control de la operación, y para la actuación de las salvaguardias tecnológicas. Los equipos del sistema nuclear de generación de vapor están situados dentro del recinto de contención. Todos los equipos relacionados con la seguridad están situados o dentro del edificio de contención o en el edificio auxiliar, y estos edificios comparten una losa común cualificada sísmicamente. Todos los componentes principales del AP 1000 han sido probados en reactores en operación bajo condiciones similares de caudal, temperatura y presión, excepto la bomba principal del refrigerante del reactor, que es una extensión de diseños de bombas con amplia experiencia ope-

rativa.

Diseño del Reactor

El núcleo, la vasija del reactor, y los instrumentos son esencialmente los mismos que los de los diseños convencionales de PWRs de Westinghouse. La vasija del reactor es la misma que la de los diseños de reactores estándar de tres lazos con las toberas modificadas para acomodar entradas y salidas de los dos lazos del AP 1000. Los internos del reactor son también estándar presentando solamente modificaciones pequeñas, encaminadas a la optimización del diseño. Así por ejemplo las rejillas son de zircaloy, las toberas superiores son desmontables, y el núcleo incorpora modificaciones para la consecución de un alto quemado y consecuentemente ciclos más largos. Este núcleo optimizado está siendo utilizado con excelentes resultados en unas 120 centrales nucleares en operación distribuidas por el mundo. El núcleo del AP 1000 tiene 157 conjuntos de combustible de 17x17, de 14 pies de longitud activa. El límite de ebullición nucleada tiene un margen superior al 15% para el caso de accidente de pérdida de caudal.

Generadores de Vapor

En el diseño del AP 1000 se utilizan generadores de vapor modelo

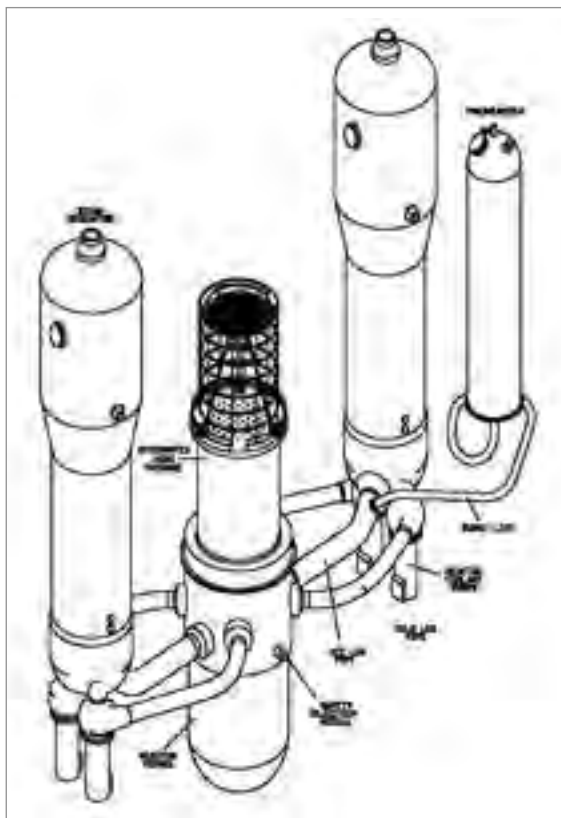


Figura 1. Sistema de Refrigeración del Reactor del AP1000.

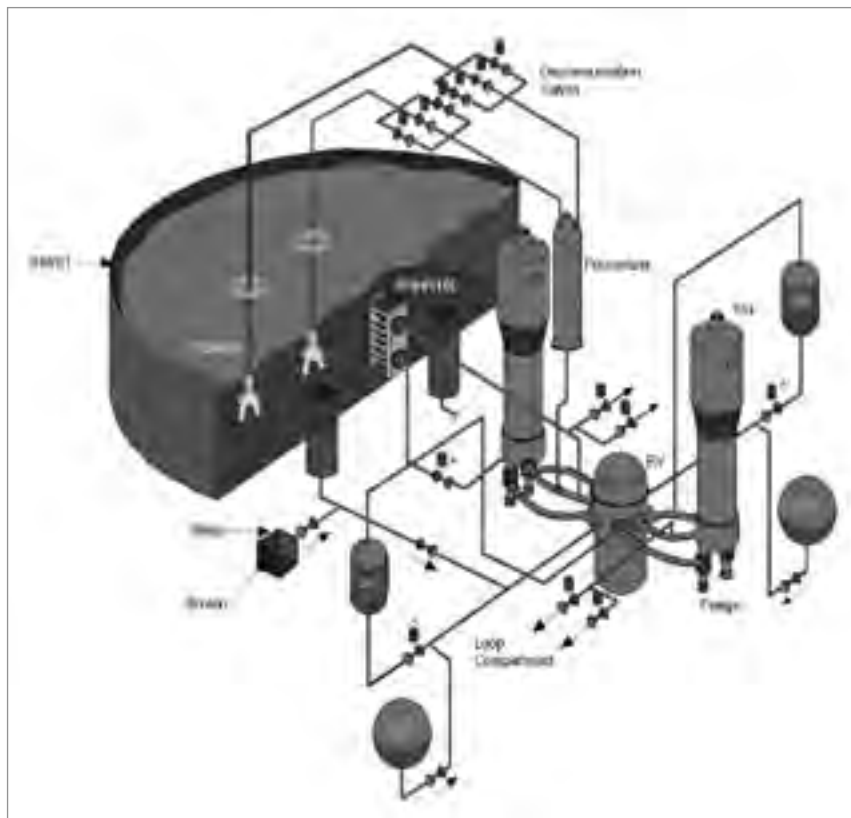


Figura 2. Sistema Pasivo de Refrigeración del Núcleo.

Delta-125 basados en la tecnología del modelo F de Westinghouse. Existen actualmente 75 generadores de vapor modelo F en centrales en operación, presentando un nivel de fiabilidad altísimo, debido en gran parte a las ciertas características de diseño introducidas en este modelo como expansionado hidráulico de los tubos en las placas, placas soporte de acero i tubos de inconel 690 tratados térmicamente, barras antivibratorias resistentes al desgaste, y mejoras en los separadores de humedad.

Bombas del Refrigerante del reactor

En el AP 1000 se utilizan bombas motorizadas encapsuladas para circular el refrigerante del reactor a través del núcleo, tuberías y generadores de vapor. Cada generador de vapor incorpora dos bombas que están acopladas a la cabeza canal. La potencia de los motores de las bombas principales tiene en cuenta la menor densidad del agua a la temperatura de operación del AP 1000 respecto a las del AP-600 por y otra superior, todas ellas de chapa metálica de acero que se conforman previamente en fábrica y se envían al emplazamiento para su ensamblaje e instalación mediante la

utilización de una grúa de gran capacidad. La sección anular mayor incluye el soporte de la grúa polar y pesa aproximadamente 658 toneladas métricas. Cada una de las cabezas pesa aproximadamente 500 Toneladas métricas.

Módulos Estructurales

La modularización simplifica el proceso de construcción de las estructuras de hormigón armado. Los módulos estructurales de la pared consisten en chapas de acero que se mantienen rigidamente una distancia de 2.5 metros por armazones de acero, que dan rigidez y mantienen en su sitio a la instalación durante el manejo, montaje y hormigonado de los módulos. Se sueldan espigas a las caras interiores de las chapas metálicas para absorber las tensiones de cortadura. Los módulos estructurales de la pared están anclados bien a la losa de cemento o a otros módulos de la pared mediante espigas que se embeben en el hormigón. El hormigonado se realiza después de la instalación de la estructura del módulo.

Existen también muchos módulos de equipos, tuberías y válvulas. En muchos casos, la situación y orientación

del equipo está dictado por consideraciones de modularización. El rutado de la tubería a través de la central, está pensado para ser fabricado en talleres exteriores a la central minimizando así el tiempo de construcción.

SISTEMAS PASIVOS DE SEGURIDAD

Los sistemas pasivos proporcionan las funciones de seguridad y salvaguardan la inversión de capital. Estos sistemas establecen y mantienen la refrigeración del núcleo y la integridad de la contención indefinidamente, sin la necesidad de la intervención de la operación o de la actuación de la corriente eléctrica. Los sistemas pasivos están diseñados para cumplir con el criterio de fallo único, y su alto nivel de fiabilidad está demostrado por los estudios de evaluación probabilista de seguridad realizados. Los sistemas pasivos son significativamente más sencillos que los sistemas de seguridad de los PWR típicos.

Tienen menos componentes, requiriéndose por lo tanto menos pruebas, inspecciones y mantenimiento.

Los sistemas de seguridad pasiva tienen una tercera parte de las válvulas de operación remota de un sistema de seguridad típico activo y además no

tienen bombas. Igualmente importante es que los sistemas de seguridad pasivos no requieren un cambio radical en el diseño del resto de la central, núcleo, sistema de refrigeración del reactor, o contención, y no necesitan tantos sistemas activos de apoyo como los existentes en las centrales nucleares convencionales. (suministro eléctrico, calefacción, y ventilación, agua de refrigeración, y los edificios sísmicos correspondientes para albergar estos componentes).

Esta simplificación aplica a los generadores diesel de emergencia y a su red de sistemas soporte, arranque de aire, tanques de almacenamiento de combustible, y bombas de transferencia, y el sistema de entrada y salida de aire, sistemas que no necesitan ya ser de seguridad, y que son o bien simplificados, o eliminados. Por ejemplo, el sistema de agua de servicios esenciales y sus torres de seguridad de refrigeración se sustituyen por un sistema de refrigeración de agua de servicios que no es de seguridad.

Los sistemas soporte no relacionados con la seguridad y los sistemas pasivos de seguridad se integran dentro del diseño de la central. Los criterios de seguridad requeridos para su licenciamiento se satisfacen con una central muy simplificada. Los sistemas pasivos de seguridad incluyen: Sistema de refrigeración de emergencia del núcleo (SPREN), inyección de seguridad y despresurización (ISD), sistema pasivo de eliminación de calor residual (SPECR), sistema pasivo de refrigeración de la contención (SPRC), sistema de habitabilidad de la sala de control (SHSC), aislamiento de la contención (AC), y mitigación de accidentes de larga duración (MALD).

Sistema pasivo de refrigeración de emergencia del núcleo

Protege la central contra rupturas del sistema primario de varios tamaños y en diferentes sitios. Proporciona las funciones de eliminación de calor residual, de inyección de seguridad y de despresurización. Incluso para roturas de 20 centímetros (8 pulgadas) de las líneas de inyección de la vasija, el núcleo no llega a descubrirse. En el caso de una rotura doble en guillotina, el SPREN refrigera el núcleo manteniendo un amplio margen en la temperatura límite de aceptación del combustible.

Inyección de Seguridad y Despresurización

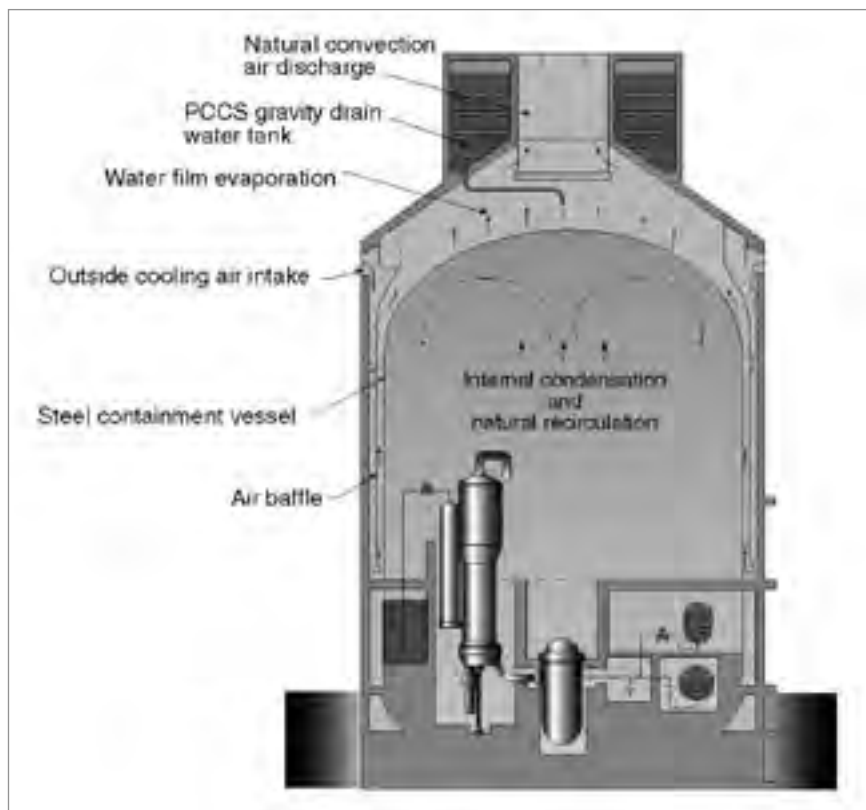


Figura 3. Sistema Pasivo de Refrigeración de la contención.

El SPREN utiliza 3 fuentes de agua para mantener la refrigeración del núcleo a través de la inyección: los tanques de agua de aportación, los acumuladores y el tanque de agua de recarga. Estas fuentes de agua de inyección están conectadas directamente a la vasija a través de tuberías para que se derrame al exterior en caso de roturas grandes.

El tanque de recarga, situado encima de los lazos del primario, proporciona por gravedad la inyección a largo plazo. El tanque de recarga está aislado de la contención por válvulas de no retorno. Puesto que el tanque de recarga está diseñado para presión atmosférica, para que pueda entrar en funcionamiento se requiere que tenga lugar previamente la despresurización del reactor. La despresurización tiene lugar en forma lenta y controlada en cuatro etapas hasta el valor de 12 psig (0.18 MPA), momento en el cual la presión del agua del tanque de recarga supera la presión de agua del primario y de la pérdida de carga de las líneas, iniciándose la inyección.

Sistema pasivo de refrigeración de calor residual

El SPECR incluye un cambiador del 100% de capacidad. Está conectado

con el sistema primario a través de las líneas de entrada y salida del lazo 1. El SPECR protege a la central frente a transitorios que afectan a los sistemas de alimentación y de vapor de los generadores de vapor, y satisface los criterios de seguridad de los accidentes de pérdida de agua de alimentación, rotura de líneas de agua de alimentación, y roturas de vapor. El tanque de recarga hace también de sumidero de calor para el cambiador de calor pasivo. El tanque de recarga absorbe el calor residual durante más de una hora antes de que comience a hervir, momento en el cual pasa a la contención. El vapor se condensa entonces en las paredes de acero y cae por gravedad en el tanque de recarga. Puesto que el cambiador de calor pasivo, y el sistema pasivo de refrigeración de la contención proporcionan la eliminación de calor residual indefinidamente, no se requiere ninguna acción del operador.

Sistema de refrigeración de la contención

El sistema pasivo de refrigeración de la contención proporciona el sumidero final. El SPRC refrigera la contención después de un accidente de forma que no se exceda la presión de diseño, y de que pueda reducirse la presión ra-

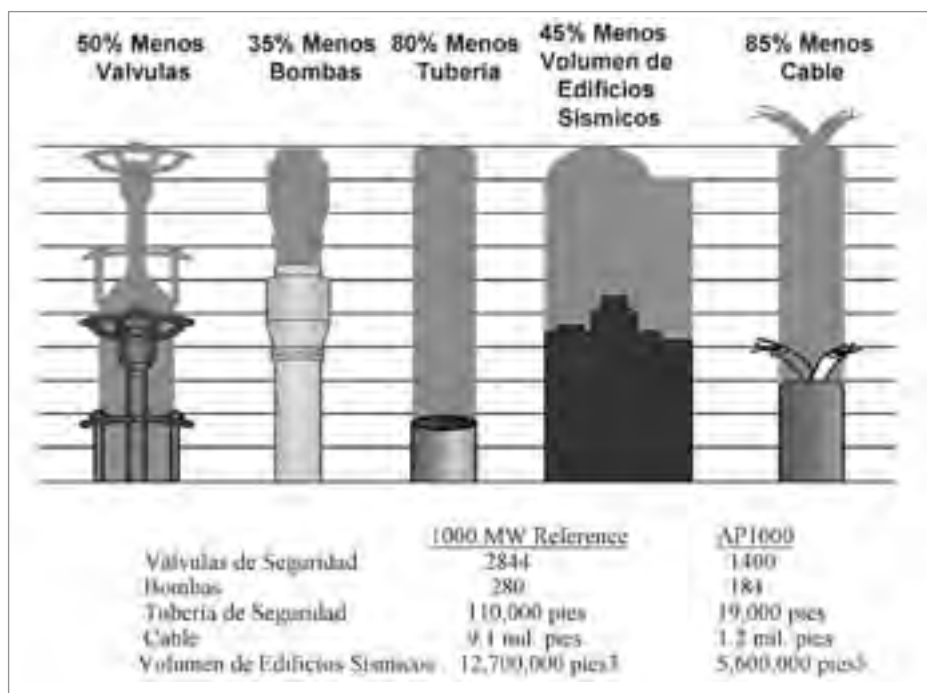


Figura 4. Reducción del número de componentes del AP1000 respecto a un PWR de referencia.

La contención proporciona la superficie de transmisión de calor que elimina el calor de dentro de la contención y lo transfiere a la atmósfera. El calor se elimina de la superficie de la contención por un proceso de circulación natural de aire. En situación de accidente la circulación del aire se suplementa por la evaporación del agua. El agua cae por gravedad a la superficie exterior de la contención desde un tanque situado encima del edificio de blindaje de la contención.

Los análisis efectuados muestran que el AP 1000 presenta una frecuencia bajísima de grandes emisiones radiactivas en caso de daño al núcleo. El sistema pasivo de refrigeración de la contención, funcionando en su modo de circulación por aire (sin aportación de agua) mantiene a la contención por debajo de la presión de fallo. Contribuye también a mantener la presión por debajo de los valores de fallo la mejora del aislamiento de la contención y la probabilidad reducida de accidente LOCA fuera de la contención. Estas características que tiene la contención constituyen la base técnica para el establecimiento de un plan de emergencia exterior muy simplificado.

Habitabilidad de la sala de control

El sistema de habitabilidad de la sala de control proporciona aire fresco, refrigeración y presurización a la sala de control en caso de accidente.

Se inicia automáticamente al detectar una señal de alta Radiación en la sala de control. Momento en el que se produce el aislamiento de la ventilación normal, y la iniciación de la presurización. Una vez que se inicia el sistema, su funcionamiento es completamente pasivo. El suministro de aire del sistema procede de un conjunto de tanques de almacenaje de aire comprimido. El sistema mantiene a la sala de control a una presión ligeramente superior a la presión exterior para minimizar la infiltración de los contaminantes presentes en el aire exterior de las áreas circundantes.

Aislamiento de contención

El aislamiento pasivo de la contención supone una mejora significativa respecto al de un PWR convencional. Por un lado el número total de penetraciones es mucho menor, y el de penetraciones que están normalmente abiertas es inferior en un 60%. Además no se requieren penetraciones abiertas para realizar las funciones de mitigación postaccidente, ya que por ejemplo las bombas encapsuladas no requieren inyección a sellos, y los sistemas pasivos de eliminación de calor residual y de inyección de seguridad están situados enteramente en el interior de la contención.

Mitigación de accidentes a largo plazo

La mitigación de accidentes a largo plazo tiene lugar sin necesidad de la acción del operador ni de la dependencia de la energía eléctrica. No se requieren por lo tanto ni la acción del operador ni la actuación de sistemas activos de seguridad para proporcionar refrigeración y eliminación de seguridad del núcleo a largo plazo. En caso de accidentes limitativos base de diseño, el inventario de refrigerante del núcleo en la contención es suficiente para realizar las funciones de refrigeración y de boración del núcleo durante 30 días, aun suponiendo que la contención fuga al ritmo postulado en su base de diseño.

ESTADO DEL LICENCIAMIENTO

El 28 de marzo del 2002 Westinghouse enviaba a la NRC el Informe Final de Seguridad, y el Estudio de Evaluación Probabilista de Riesgos del AP 1000, comenzando ésta su proceso de revisión. El 13 de septiembre del 2004 se concluía este proceso, con la concesión de la Aprobación Final de Diseño (FDA) al AP 1000, concluyéndose que cumplía los requisitos aplicables del 10CFR52 y que por lo tanto que estaba listo para pasar a la fase de legislación y debate público requerida en los Estados Unidos para la certificación de diseño. Mientras que esta última fase de debates públicos tiene un carácter solamente legal peculiar de los Estados Unidos, la Aprobación Final de Diseño se basa en las conclusiones de la revisión técnica de los informes de seguridad y de Evaluación Probabilista de Riesgos revisados y aprobados por la NRC y el Advisory Committee for Reactor Safeguards. La Aprobación Final de Diseño permite solicitar un permiso de construcción y una licencia de operación separados o conjuntamente para la construcción y operación de un AP 1000 en los Estados Unidos y en aquellos países que dan crédito al proceso de licenciamiento Norteamericano. Este diseño del AP 1000 está basado en el del AP 600 que recibió la aprobación final en el año 1998, y la certificación del diseño en el año 1999.

TÉCNICAS Y PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN

En el diseño del AP600 y del AP1000 se han introducido características que han permitido la simplificación del proceso de construcción y consecuentemente un acortamiento de los plazos. Se han adoptado técnicas de modularización introduciendo

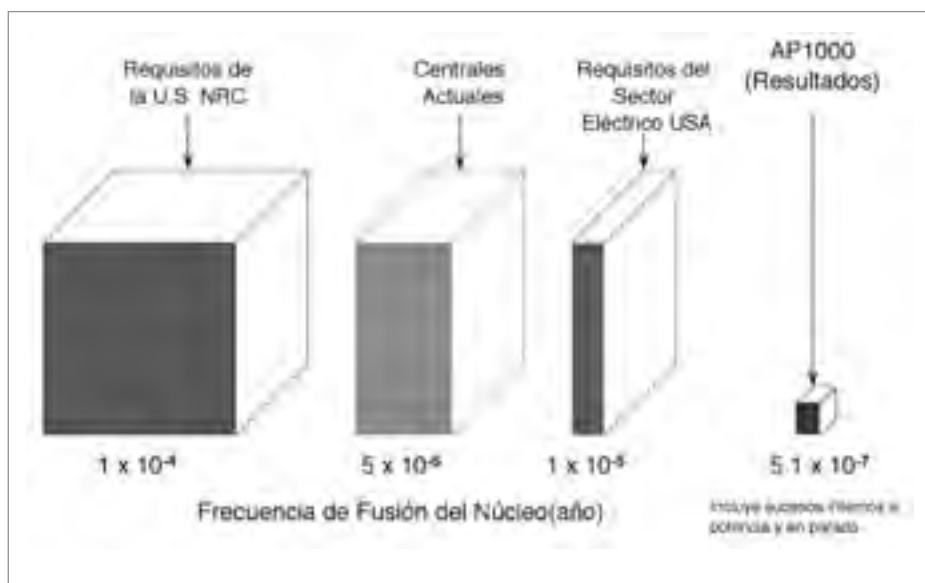


Figura 5. Seguridad del AP1000.

tres tipos de módulos: estructurales, mecánicos y de tubería. El diseño global de la planta se concibe desde el comienzo maximizando el uso de módulos, que se construyen en fábrica y se envían a la central donde se les ensambla para formar módulos más grandes que se les desplaza a su lugar de destino en la central (véase figura 4). En el diseño del AP 600 y del AP 1000 se utilizan 30 módulos. Los principales beneficios derivados de la modularización son:

Reducción del tiempo del programa de construcción. Reducción de la mano de obra en el emplazamiento, realización de más tareas en fábrica facilitándose así un mejor control de calidad, Reducción de la congestión de personas y equipos en el emplaza-

miento. En el AP 1000 se ha rediseñado el edificio de turbinas respecto al del AP 600 para alojar una mayor turbina. En general se ha utilizado el diseño del AP600 introduciendo el número de cambios mínimos entre los que se encuentra el tamaño del edificio, el del suelo, el de la fundación, las estructuras de acero y los módulos estructurales. La estructura armada bajo la vasija que forma la contención está diseñada proporcionando una mejor accesibilidad.

RESUMEN

El AP-1000- es un diseño sencillo, que utiliza componentes muy experimentados para proteger a la cen-

tral aplicando las fuerzas naturales. Mediante una gran simplificación, el AP-1000- ha conseguido que el coste evaluado de su kilovatio hora sea competitivo en un mercado desregulado. El diseño del AP 1000 ha sido ofertado en China.



José COBIÁN es Dr. Ingeniero Industrial por la ESII de Madrid, y Ph.D. en Ingeniería Nuclear por la Universidad de Northwestern (USA). Actualmente es profesor de la Universidad Antonio Nebrija. Ha trabajado 4 años en Babcock Wilcox española en la fabricación de componentes para centrales nucleares y 27 años en Westinghouse (Madrid) donde ha sido sucesivamente responsable de los departamentos de Seguridad Nuclear, Ingeniería e Ingeniería de Apoyo a la Central Nuclear de Almaraz.



Ricardo LLOVET es Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense y Master en Business and Administration por la Duquesne University. Comenzó en 1980 en Merck Company. En 1984 se incorporó a Westinghouse como químico. En 1995 fue Manager de Ingeniería de Westinghouse en España. En 1997 pasó a Pittsburgh y durante 3 años coordinó los proyectos de centrales españolas. En 2000, aún en Pittsburgh fue el Manager de Servicios de Ingeniería. En 2002 lideró el grupo de Asset Management para Componentes Primarios y en el 2004 ha retornado a Madrid. En su actual posición de Director de Proyectos Europeos de Customer First desarrolla una labor para toda Europa.



Figura 6. Sala de control avanzada del AP1000.