

AP1000™, la nueva generación nuclear

M. Palazuelos, S. Díaz y M. Millán

El mundo está ante el urgente dilema de cómo vamos a abastecer la demanda energética de modo medioambientalmente responsable, tecnológicamente factible y económicamente viable. El AP1000 de Westinghouse Electric Company es una respuesta innovadora y más segura para hacer frente a este desafío. En este artículo se tratan varios temas relativos al AP1000. Para empezar se explica el concepto de seguridad pasiva y algunos sistemas pasivos son brevemente tratados; en segundo lugar se explica el concepto de diseño modular y sus ventajas en cuanto a reducción de costes de inversión y tiempo de construcción. Por último se muestra el estado de los programas de construcción de AP-1000 en el mundo así como de expectativas para el futuro más cercano.

The world is in the urgent need on deciding how we are going to meet energy demand, in an environmentally responsible, technologically feasible, and economically viable way. Westinghouse Electric Company AP1000™ is an innovative, safer response to meet this challenge. In this article several aspects regarding AP1000 are covered. To begin with Passive Safety Concept and some Passive Systems are briefly explained; secondly the Modular Design concept and its advantages reducing investment cost and construction time are discussed. Finally and update of AP1000™ construction programs throughout the world as well as the near future expectations are shown.

INTRODUCCIÓN

Una consecuencia directa del crecimiento de la población mundial es el incremento de la demanda energética para abastecerla. Ante esta situación, y pese a la deceleración en el consumo eléctrico/economía mundiales, la tendencia que habrá de ser predominante será la recuperación y mantenimiento de la economías desarrolladas, así como el aumento de nivel de vida ligado al desarrollo de otros países, con el consecuente aumento del consumo energético.

Hasta fecha reciente dicha producción energética ha descansado de manera muy importante en la energía primaria aportada por los combustibles fósiles, y en especial en petróleo y gas, tanto que no es descartable pensar que la época actual sea llamada en el futuro la edad del petróleo.

Las reservas de gas y petróleo menguan privando de una materia prima fundamental para la síntesis de compuestos químicos orgánicos. Además el consumo de estas materias emite, como todos los procesos de combustión, CO₂ causante del efecto de forzamiento que desequilibra el flujo radiativo causando el conocido efecto invernadero.

Se plantea de manera urgente encontrar otras tecnologías basadas en otras fuentes que permitan una generación de energía eléctrica a un coste asequible, con una reducción de la dependencia energética frente a países en posesión de determinados recursos energéticos

(como el petróleo), y que sea tan respetuosa como sea posible con el medio ambiente.

No previéndose que la fusión nuclear esté disponible a corto plazo, la energía nuclear de fisión presenta una alternativa excelente para la generación en base de la demanda eléctrica siendo una alternativa tecnológica madura, y no productora de CO₂.

Por ello es urgente replantearse un "mix" energético adecuado que incluya energías renovables, en la medida de lo posible, y otras energías que respondan al consumo requerido tanto en base como en punta, dotando la necesaria capacidad de regulación que asegure la estabilidad de red. Siendo la contribución a este "mix" de la energía nuclear fundamental.

Para satisfacer estas necesidades Westinghouse empresa pionera en el sector nuclear ha dado un paso más y ha desarrollado el AP1000™, mejorando la ya de por sí segura tecnología de producción eléctrica nuclear mediante la seguridad pasiva y diseñando una planta que disminuye notablemente los costes de inversión respecto a otros diseños.

Es, por tanto, el tiempo de la nueva generación de energía nuclear, "la generación 3+ pasiva".

UN PASO ADELANTE SOBRE LA GENERACIÓN TRES, UNA PLANTA PASIVA

La filosofía de diseño pasivo requiere que la actuación de las salvaguardias



MIGUEL PALAZUELOS ORTIZ
es ingeniero Superior de Caminos, Canales y Puertos (Universidad de Cantabria).
Director de Proyecto del AP1000 en Westinghouse PE Spain/Initec Nuclear. Realizó el estudio sísmico durante el diseño del AP1000 en Westinghouse Energy Center (Pittsburgh).



SERGIO DIAZ
es ingeniero Industrial por la ETSIIM. Pertenece al Departamento de Seguridad y Licenciamiento. Coordinador Técnico del AP1000 en Westinghouse PE Spain/Initec Nuclear.



MIGUEL MILLAN
es licenciado en Físicas (Universidad de Granada) y Diploma de Estudios Avanzados en Ingeniería Nuclear (ETSIIM). Pertenece al Departamento de Seguridad y Licenciamiento de Westinghouse -Initec Nuclear, donde desempeña las funciones de Evaluador de Seguridad.

tecnológicas para la mitigación de los accidentes se realice “por sí misma”, es decir que pueda realizarse con la menor dependencia de las acciones de los operadores y con independencia del aporte de corriente alterna (AC), interna o externa. Este es uno de los mayores avances del AP1000™ sobre las actuales plantas basadas en los reactores de agua ligera (LWR) o los avanzados.

El AP1000™ utiliza sistemas pasivos analizados y probados extensamente para mejorar la seguridad de las plantas. El Advisory Council on Reactor Safeguards (ACRS) y la U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) ha examinado estos sistemas y ha concluido que satisfacen el criterio de fallo único de la NRC y otros criterios derivados de las lecciones aprendidas de Three Mile Island y temas genéricos de seguridad.

Los sistemas de seguridad pasivos del AP1000™, que realizan funciones de seguridad entre los que se cuentan la refrigeración pasiva del núcleo, el aislamiento de la contención, el sistema de refrigeración pasivo de la contención,

e incluso en el muy improbable caso de un accidente severo la retención pasiva del núcleo fundido en la vasija. Estos sistemas no requieren acción por parte del operador para mitigar los accidentes base de diseño y utilizan solamente fuerzas naturales como la gravedad, la circulación natural o el aire comprimido para realizar sus funciones de seguridad. Ninguna bomba, ventilador, diesel, enfriador u otro dispositivo es necesario a excepción de unas pocas válvulas simples que, automáticamente, se alinean y accionan los sistemas de seguridad pasivos. Para asegurar una alta fiabilidad, estas válvulas se han diseñado para desplazarse hacia la posición de salvaguardias ante una pérdida de corriente o ante una señal de actuación de salvaguardias, todo esto con un movimiento simple energizado por múltiples baterías de corriente continua Clase 1E. Los sistemas pasivos no requieren la ingente cantidad de elementos activos de apoyo de los sistemas de seguridad (suministro AC externa, generador diesel, HVAC, bombeo de agua de refrigeración) como

en otras plantas nucleares. Como resultado, en el caso del AP1000™, estos elementos de apoyo ya no serán elementos de seguridad, por lo que han sido simplificados y en algún caso eliminados. No obstante y con objeto entre otros de proporcionar un nivel extra de defensa en profundidad, así como el de no hacer operar innecesariamente algunos sistemas pasivos frente a ciertos transitorios y/o condiciones perturbadas, se sigue contando con los sistemas no pasivos “tradicionales en las centrales”: sistema normal de extracción del calor residual, de control químico volumétrico, de agua de alimentación auxiliar.

Con menos equipos de seguridad, el volumen necesario para albergar los equipos de clase E es menor y, por lo tanto, los edificios de categoría sísmica 1 se reducen considerablemente. De hecho, muchos de los equipos de seguridad pueden ser ubicados dentro de la contención, lo que conlleva un menor número de penetraciones necesarias.

El Sistema de Refrigeración Pasiva del Núcleo (PXS)

Cabe destacar el sistema PXS en el que los distintos recursos de inyección de seguridad son conectados a la vasija del reactor directamente mediante dos toberas diseñadas expresamente para este propósito. Este tipo de conexiones, usadas anteriormente en diseños de dos lazos, reducen la posibilidad de perder parte del caudal de la inyección de seguridad, en la fase de Bypass, cuando se haya producido un accidente con pérdida de refrigerante por rotura grande “Large break LOCA”.

Inyección de Seguridad de Alta Presión usando CMT

Los Tanques de Aporte al Núcleo (CMT), “Core Makeup Tanks”, cumplen con la función de proporcionar agua de aporte y boración al núcleo (con un aporte de reactividad negativa como suficiente para llevarlo a parada segura) tanto en LOCA como en transitorios cuando el sistema de aporte no está disponible o resulta insuficiente. Para ello se han diseñado dos CMT llenos con agua borada situados por encima del nivel de los lazos y en contacto, mediante una línea de equilibrio de presión con la presión del primario en dos trenes paralelos de forma que puedan operar a cualquier presión del Sistema de Refrigeración del Núcleo (RCS) utilizando solamente la gravedad, y las diferencias de temperatura y altura respecto de la rama fría del RCS como fuerzas impulsoras. Si el nivel del agua o la presión en el presionador alcanza el nivel bajo, el reactor y bombas de refrigeración del

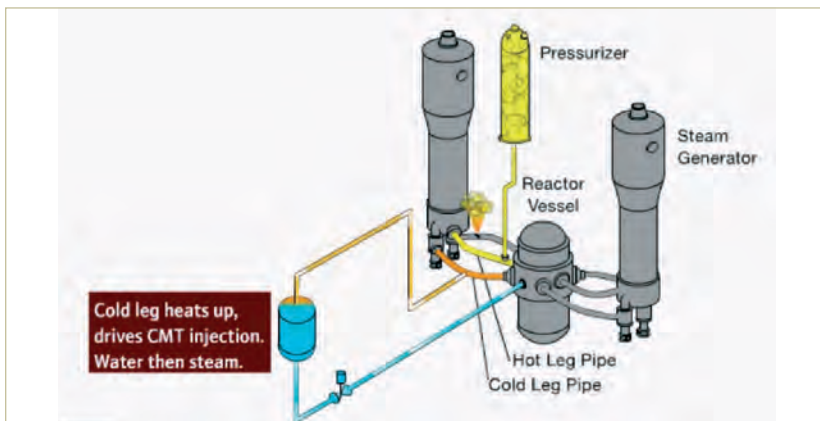


Figura 1: Los CMT actúan ante un LOCA.

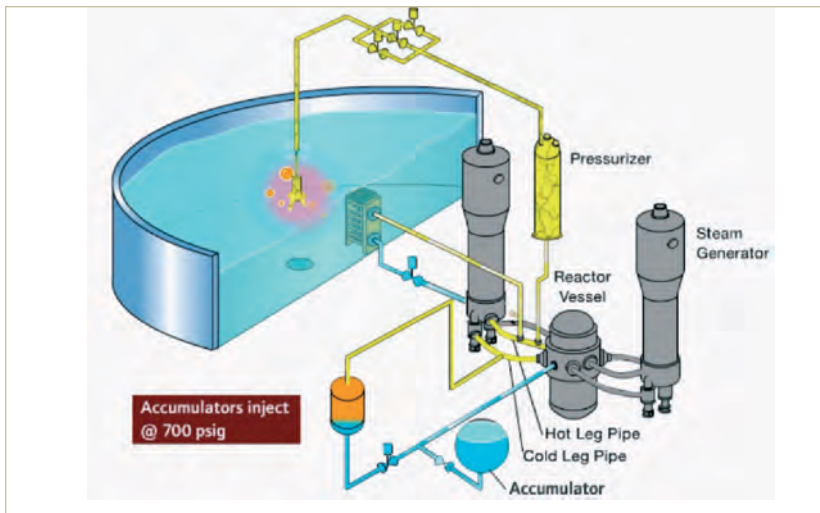


Figura 2: Los acumuladores actuando tras los CMT ante un LOCA.

reactor, son disparados y las válvulas de aislamiento de descarga de el tanque de aporte son automáticamente abiertas. Entonces el agua procedente del los CMT fluye por gravedad a través de la vasija del reactor.

Inyección de Seguridad de Media Presión con acumuladores

Al igual que ocurre con las actuales plantas de agua a presión, los acumuladores son utilizados cuando se produce un accidente gran LOCA para cumplir la necesidad inmediata de caudal del sistema de emergencia para comenzar a rellenar la vasija del reactor para su refrigeración desde el pleno inferior en la fase del blowdown. Los acumuladores están presurizados a 700 psig (48 bar) con nitrógeno gaseoso. La diferencia de presión entre los acumuladores presurizados y la presión del RCS, que disminuye rápidamente, fuerza la apertura de las válvulas de retención que normalmente aíslan los acumuladores del RCS. Igualmente dispuestos en dos trenes paralelos están dispuestos para responder a una rotura completa de la tubería más grande del RCS mediante un rápido relleno de la bajante de la vasija y la parte baja del plenum. Los acumuladores continúan la acción precedente de los CMT de mantener cubierto de agua el núcleo. Se puede forzar una rápida entrada en funcionamiento de los acumuladores reduciendo la presión del primario mediante el Sistema de Despresurización automática ADS, (ver líneas salientes del presionador en la figura 2).

Aporte de agua de refrigeración a baja presión al reactor desde el IRWST

El aporte de agua a largo plazo viene suministrado por el gran tanque de almacenamiento de agua de recarga que se encuentra dentro de contención (IRWST) a una cota superior de los lazos del RCS. Este tanque se mantiene a la presión de la atmósfera en contención, y como resultado, el RCS debe estar despresurizado antes de que pueda producirse la inyección desde este tanque. El API1000™ automáticamente controla la despresurización del RCS para reducir su presión hasta un nivel cercano a la presión atmosférica. A este nivel, la columna de agua del IRWST es suficiente para vencer la pequeña presión que pudiera tener el RCS y la pérdida de presión en la línea de inyección, y de esta forma poder suministrar el agua del tanque IRWST al reactor (figura 3).

Extracción del calor residual de forma pasiva

El reactor API1000™ cuenta con un subsistema pasivo de extracción del calor residual (PRHR) que protege la planta contra transitorios que perturban la extracción normal de calor residual desde el sistema primario mediante el agua de alimentación de los generadores de vapor y los sistemas de vapor. El subsistema pasivo RHR satisface el criterio de seguridad de la NRC del fallo único para los transitorios de pérdida de agua de alimentación, rotura de línea de agua de alimentación, y rotura de línea de vapor.

Este sistema incluye un cambiador de calor pasivo consistente en un banco de tubos con una capacidad del 100% localizado en el interior del IRWST. Este cambiador de calor está conectado al sistema de refrigeración del núcleo por un lazo usando circulación natural. Este lazo está aislado del RCS mediante válvulas que normalmente están cerradas, pero que se abrirán si se pierde la corriente o ante una señal del sistema de protección del reactor. La diferencia de temperatura y la diferencia de cota entre el agua caliente de entrada y el agua fría de salida del cambiador de calor impulsan el refrigerante por circulación natural.

El IRWST es el sumidero de calor para el cambiador de calor del sistema pasivo RHR. El volumen de agua del IRWST es suficiente para absorber el calor de decaimiento hasta cuatro horas antes de que el agua comience a ebullición. Después de eso, el vapor procedente de la ebullición del IRWST se condensa en las paredes metálicas de la contención, de esta forma el agua condensada es drenada de vuelta al IRWST mediante canalizaciones expresamente diseñadas para tal propósito.

EL CONCEPTO DE DISEÑO MODULAR

La estrategia de construcción modular constituye una gran ventaja para cualquier compañía que elija el API1000™ para su próxima generación de reactores nucleares.

Este diseño modular del API1000™ permitirá reducir costes de inversión en la construcción de la planta, así como del tiempo de ejecución de la obra, y al mismo tiempo aumenta el nivel de estandarización, objetivo solicitado con insistencia por las autoridades reguladores porque facilita enormemente el proceso de licencia.

El concepto modular y el diseño pasivo proporcionan al API1000™ una clara ventaja sobre otros diseños existentes.

El diseño modular se aplica tanto en a la obra civil (módulos estructurales) como en el diseño de sistemas (módulos mecánicos de equipos o tipo "rack").

La anteriormente citada reducción en el tiempo de construcción y costes de inversión se debe a:

- Las actividades de construcción y fabricación de módulos se suceden de manera simultánea en el tiempo, ya que en paralelo se realiza la obra civil en el emplazamiento y la fabricación en taller de los módulos. El diseño estándar del API1000™ está pensado de forma que sólo trascurren 36 meses desde la cimentación hasta la primera carga de combustible en el reactor.

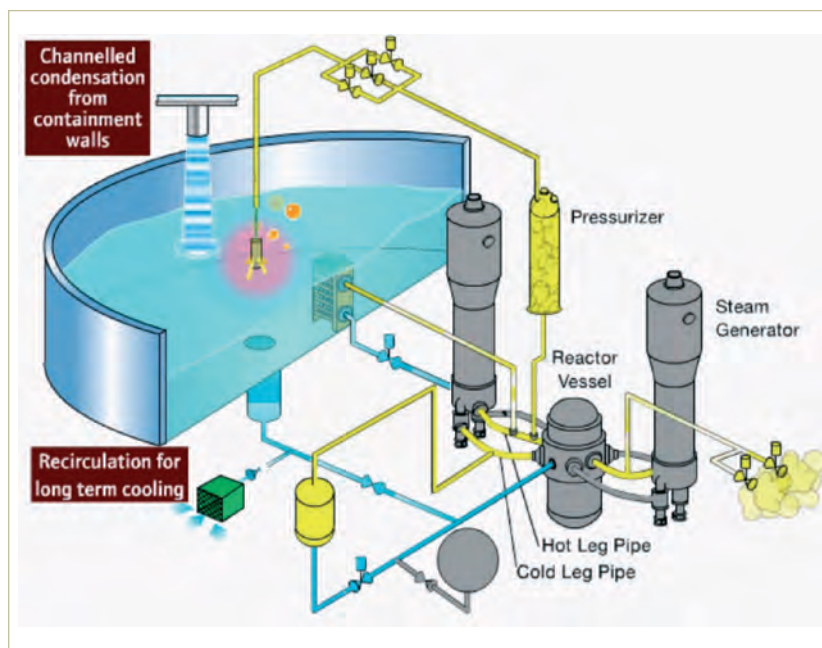


Figura 3: Entrada en funcionamiento del IRWST.

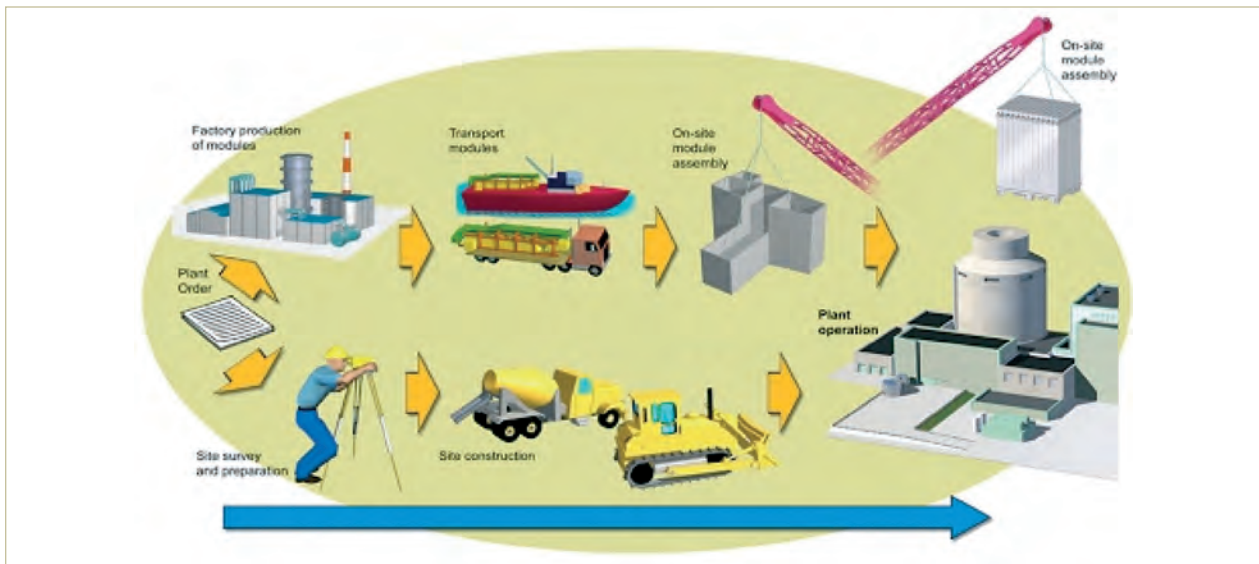


Figura 4: Estrategia paralela de obra en el emplazamiento y fabricación de módulos en taller.

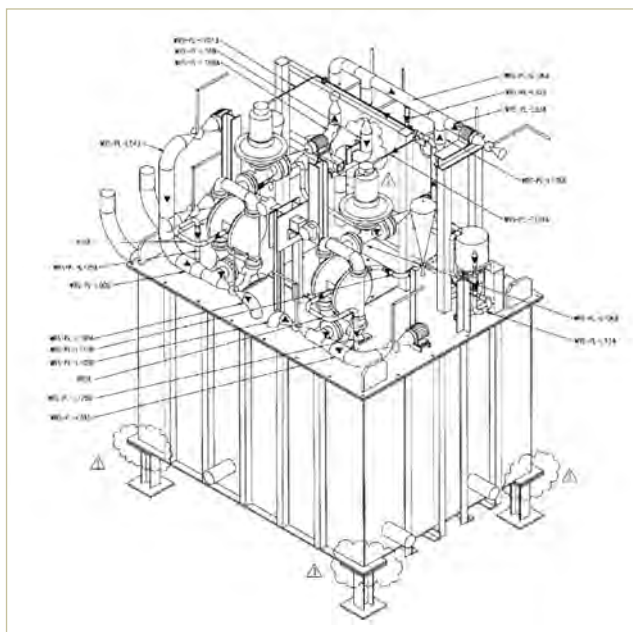


Figura 5 KB13 WRS Modulo de Bombas del Sumidero del Sistema de Drenajes Radioactivos.

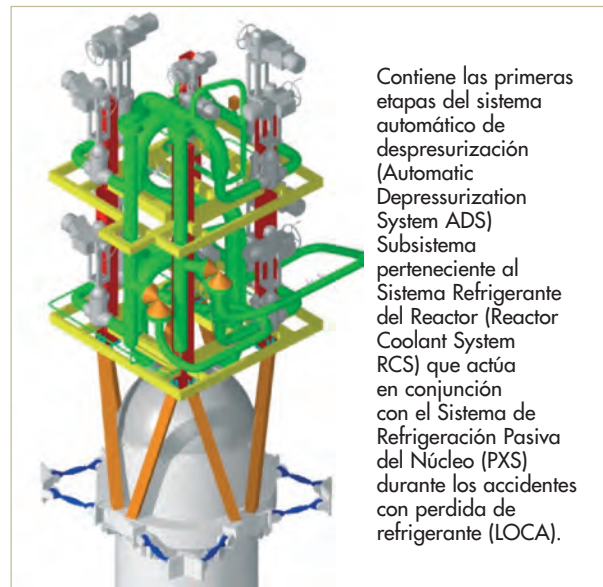


Figura 7 Módulo Q6-01.

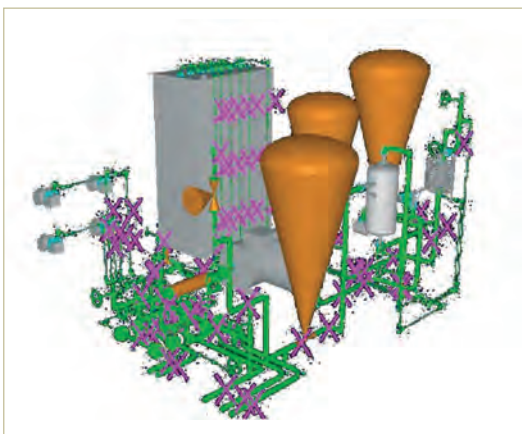


Figura 6: Modelos empleados en el proceso de diseño del módulo KB14 del Sistema de Residuos Gaseosos.

- El proceso permite un notable incremento de la calidad de fabricación al realizarse esta en taller en condiciones controladas.
- El preensamblado y las pruebas de muchos componentes podrá realizarse antes de su instalación en el emplazamiento.
- El tiempo de fabricación será mas corto y predecible, ya que se emplean métodos de fabricación probados y que son fácilmente conocidos por los contratistas y subcontratistas implicados (figura 4).

Westinghouse es consciente del desafío que supone desarrollar la ingeniería con el nivel de detalle necesario para esta estrategia modular, y se ha comprometido a acometerlo desde la primera planta, sabiendo que una vez desarrollado este trabajo supondrá una disminución de precio para las plantas futuras (siendo aún más acusado este descenso para aquellos lugares/compañías donde se realizan varias unidades).

Westinghouse "Plant Engineering" (PE) España (Intec-Nuclear) en su papel de integrador del edificio auxiliar debe apoyar a los grupos responsables del diseño de módulos y junto con ellos facilitar su ajuste en el conjunto del diseño, así como apoyar las tareas

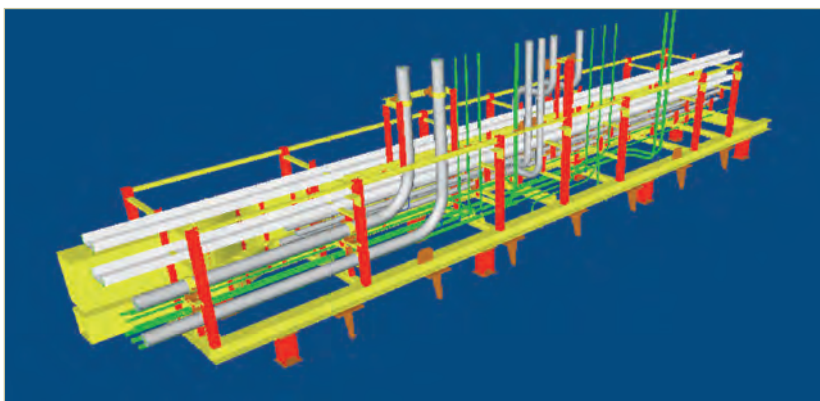


Figura 8: Modelo de un Módulo tipo "Rack" standard incluyendo tuberías, bandejas eléctricas y conductos de ventilación.



Figura 9 y 10: Fabricación de sub-módulos del CA20.

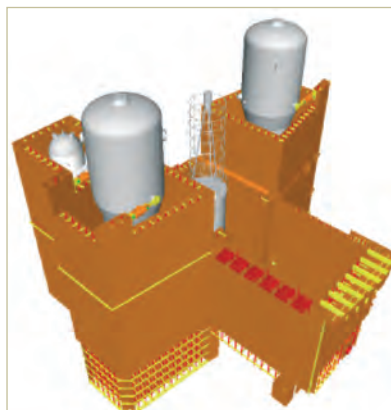


Figura 11: Módulo estructural CA01.

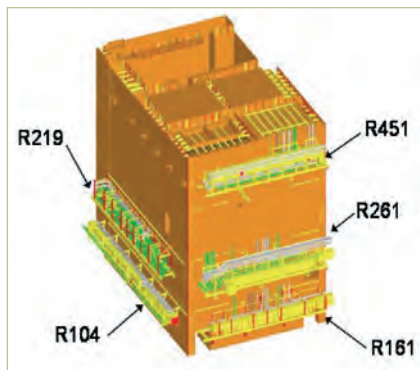


Figura 12: CA20 con los módulos mecánicos tipo Rack de tubería que se irán instalando posteriormente según avance la obra en el edificio circundante.

necesarias para su construcción en el taller de fabricación. PE España tiene un reconocido papel en el desarrollo y mejora del diseño de los módulos constituyentes del API1000™.

- Comprobando la compatibilidad con otros elementos de la planta y sus secuencias constructivas así como de su interfaz estructural.
- Estudiando y analizando la flexibilidad de las tuberías y los soportes.
- Incluyendo bandejas de cables eléctricos.
- Revisando la instrumentación así como su disposición física.
- Incluyendo los conductos de HVAC e integrándolos en el trazado de los sistemas apropiados.

- Asesorando sobre disposición física de los módulos y de sus elementos internos, incluyendo criterios de accesibilidad y radiológicos ALARA.

- Aportando ideas sobre el proceso de fabricación de los mismos.

En la actualidad la construcción de la primera unidad en Sanmen (China) avanza conforme a los plazos programados, ensamblando estos módulos como fue la intención desde que se pensó en este concepto.

A continuación se muestran algunos de los módulos que como se ha explicado se dividen en módulos mecánicos y estructurales.

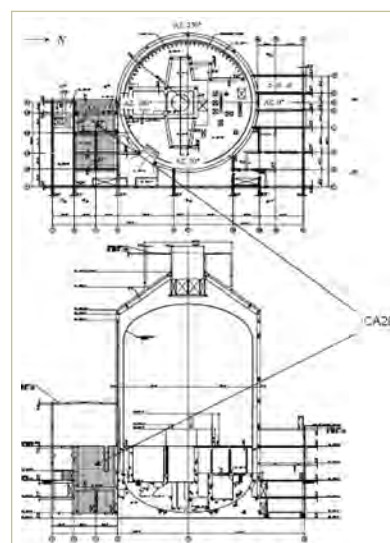


Figura 13: Situación de CA20 en el edificio auxiliar de la planta.

Módulos Mecánicos

Gracias a la instalación de equipo preensamblado en planta reducen las necesidades de instalación en campo en el emplazamiento. Esto permite que la obra civil avance mientras que estos equipos se producen pre-ensamblados con todas la tuberías y equipos necesarios, dejándolos preparados para el momento en que está programado su instalación en la planta.

Módulos de Equipos

Desde Madrid Plant Engineering España está participando activamente en el diseño e integración de los módulos mecánicos del edificio auxiliar y de algunos otros como el módulo Q6-01 (figuras 5, 6 y 7).

Módulos de "racks" de tuberías

Las tuberías, conductos de aire acondicionado y bandejas eléctricas y de instrumentación son también preensambladas para facilitar su instalación a lo largo de toda la planta (figura 8).

Módulos estructurales

Entre estos módulos prefabricados cabe destacar los módulos CA realizados con placas de acero entre o sobre las que se vierte el hormigón después de la instalación completa del módulo. Se forma así una estructura compuesta acero hormigón en la que se da crédito a la función estructural del acero (figuras 9, 10 y 11).

Plant Engineering España ha realizado el diseño del módulo estructural CA20 (de un tamaño aproximado es de 13,4m x 21m en planta y 21 metros de altura). Esta estructura sísmica se encuentra en la zona controlada del edificio auxiliar y contiene en su interior la piscina de combustible de la central (figuras 12 y 13).

La instalación como puede verse en la secuencia constructiva siguiente se realizará a la par que el hormigonado de la primera elevación de la Isla Nuclear, por ello el proceso estaba comenzando en el mismo momento que se redactaba el presente artículo (figura 14).

AP1000™ ES UNA REALIDAD

AP1000™ en China

El primer Westinghouse AP1000™ continúa su fase de construcción tras haberse hormigonado la cimentación, también conocida como vertido del primer hormigón.

El hormigonado de la primera unidad en Sanmen (China) terminó con éxito el 31 de marzo de 2009 tras 46 horas y 58 minutos de vertido continuo de 4982 m³ de hormigón. Tras este hito la construcción continúa dentro de lo planeado para que su puesta en marcha se pueda realizar, según lo previsto, en el 2013 (figura 17).

La fase anteriormente descrita pudo realizarse tras varios meses de preparación, incluida la excavación de la zona que albergará la isla nuclear. Dicha excavación, que necesitó 18 meses para completarse, consistió en el vaciado de un volumen de 11,88 metros de profundidad, 52,73 m. de ancho y 78,02 m. de largo.

Otros datos de interés sobre estas tareas son:

- La losa de cimentación, debajo del Edificio Auxiliar, es de 1,83 metros de espesor, debajo del edificio de contención varía entre 1,83 m. y 12,04 m.
- Se emplearon 1.047 toneladas de acero estructural/armaduras.
- Se situaron 1000 pernos de anclaje.
- El trabajo de hormigonado requirió 400 personas, entre dirección de obra, técnicos y obreros trabajando en turnos continuados (figuras 18 y 19).

La puesta en posición del módulo estructural CA20 en el emplazamiento se llevó a cabo el día 29 de junio de 2009, siendo éste un hito de gran importancia para Westinghouse Plant Engineering España, por pertenecer su diseño a su alcance dentro del proyecto.

AP1000™ en USA y resto del mundo

Además de la construcción de cuatro unidades en China, el AP1000 de Westinghouse ha sido elegido por cinco empresas energéticas para liderar el renacimiento nuclear en Estados Unidos.

Westinghouse Electric Company y su socio The Shaw Group Inc.'s Power Group firmaron un contrato de



Figura 14: Secuencia constructiva esperada para el AP1000 con el CA20 en verde en el primer mes.

Ensamblado de los distintos sub-ensamblajes que componen el CA20



Figura 15: Izado del segundo sub-ensamblaje del módulo CA20 (1).



Figura 16: Colocación del CA20 en su posición final.



Figura 17: Hormigonado de la losa.



Figuras 18 y 19: Excavación y preparación de la losa.



Figura 20: Emplazamientos previstos de AP1000™.



Figura 21: Hormigonado nocturno en Sanmen.

Ingeniería, suministro y construcción (EPC) de dos unidades de AP1000™ el pasado 5 de enero con Progress Energy Florida en Levy County, Florida tras haber solicitado esta última previamente una licencia de construcción y operación (COL) a la Nuclear Regulatory Commission (NRC).

Este contrato se une a los ya firmados en 2008 con Georgia Power y South Carolina Electric & Gas Company (SCE&G), subsidiaria de SCANA Corporation and Santee Cooper para la

construcción de dos unidades AP1000 en ambas localidades; Alvin W. Vogtle cerca de Waynesboro (GA) y V.C. Summer Nuclear Station en Jenkinsville (S.C.).

Nos tendríamos que remontar al año 1978 para encontrar la última vez en que, en Estados Unidos, se había firmado un contrato de tal naturaleza para la construcción de una nueva planta nuclear (figura 20).

Localidades en Estados Unidos donde se plantea construir dos unidades AP1000:

- Harris, North Carolina (Progress Energy).
- Lee Station, South Carolina (Duke Energy).
- Summer, South Carolina (SCANA). COL pedido a la US NRC en Noviembre 2007.
- Bellefonte, Alabama (TVA)/NuStart. COL pedido a la US NRC en Octubre 2007.
- Vogtle, Georgia (Southern Nuclear)
- Levy County, Florida (Progress Energy).

El 28 de Mayo de 2009 Westinghouse Electric Company anunció que empezarán las negociaciones con Nuclear Power Corporation of India Ltd., (NPCIL) para la construcción de AP1000 en la India.

Por último cabe resaltar que en más de 40 países a lo largo de todo mundo se ha mostrado interés en el AP1000.

CONCLUSIÓN

La construcción de una nueva generación de reactores AP1000 es un hecho, países como China o USA están dando los primeros pasos para disponer de nuevas plantas de generación eléctrica más seguras, más eficientes y más estandarizadas. Los diseños pasivos incorporados en el AP1000™ junto con los diseños modulares ayudarán a superar las dificultades a las que se enfrenta la industria nuclear para afrontar el reto en el que estamos inmersos, la construcción de nuevas plantas, en tiempo y en presupuesto (figura 21).

Como dijo Sir Richard Stafford Cripps, político británico, "La energía para la producción es la base de la fuerza de la economía de un país". Como muchas naciones a lo largo y ancho del mundo están descubriendo, esa producción del siglo XXI empieza con el AP1000. ■