

# Reactor avanzado de agua ligera: enfoques rusos

*En marcha varios proyectos de centrales nucleares basados en nuevos conceptos y enfoques de diseño*

Los graves accidentes ocurridos en las centrales nucleares de Three Mile Island y Chernobil se han convertido en hitos temporales a partir de los cuales la historia de la energía nuclear se divide en etapas completamente diferentes.

En la primera etapa, el desarrollo de la energía nucleoelectrica en general tuvo una favorable acogida del público. En algunos países, incluso estuvo rodeado de una atmósfera de confianza y euforia.

En la segunda etapa, con el surgimiento de poderosos movimientos antinucleares, la atención pública mundial se concentró rápidamente en la seguridad de las centrales nucleares y se sometió a un examen crítico la estrategia de desarrollo nuclear.

Este proceso de cambio, que comenzó en Occidente, se extendió a los países de Europa oriental a raíz del accidente de Chernobil. En consecuencia, a finales del presente siglo, la capacidad total de las centrales nucleares de la Comunidad de Estados Independientes (CEI) no podrá alcanzar siquiera la tercera parte del nivel previsto en el programa nuclear soviético aprobado a comienzos del decenio de 1980. En general, se detuvieron las actividades de investigación y construcción en 39 emplazamientos nucleares con una capacidad total de diseño de 109 gigavatios (GW).

Todo parece indicar que en los países occidentales también se ha paralizado el desarrollo de la energía nucleoelectrica. En algunos de ellos se ha impuesto una moratoria parcial o completa a las centrales nucleares.

Pese a esta situación, aún subsisten profundas motivaciones económicas y ecológicas para el desarrollo de un componente de electricidad de origen nuclear en el equilibrio combustible-potencia,

que incluso se acrecentan con el transcurso del tiempo. Estudios sistemáticos sobre los costos específicos de la producción de electricidad a base de carbón y energía nuclear en los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) indican una ventaja estable de la energía nuclear en el decenio de 1980. Estudios realizados para la CEI confirman una tendencia análoga. La sustitución del carbón por petróleo o gas aumenta mucho más el carácter competitivo de la energía nuclear en el plano económico.

Los últimos años del decenio de 1980 también se caracterizan por ser un período en que la opinión pública comenzó a percatarse del riesgo que entrañaba para la ecología el quemado de combustibles orgánicos. Asimismo, esas crecientes preocupaciones dieron origen a un renacimiento de la energía nuclear.

## Tendencias de los reactores avanzados

Los diseños de reactores avanzados capaces de satisfacer los requisitos de una seguridad aceptable, o incluso máxima, pueden considerarse una respuesta a los problemas actuales de la comunidad de físicos que está enfrascada en el desarrollo de la energía nucleoelectrica.

Un enfoque estratégico que ahora se manifiesta claramente en el mundo es la orientación del desarrollo nuclear hacia los reactores de agua ligera (LWR) en los próximos veinticinco años. Se han reconocido dos tendencias fundamentales de este desarrollo evolutivo basado en la experiencia acumulada en la explotación de los LWR.

La primera consiste en integrar soluciones de eficacia tecnológicamente comprobada a los nuevos diseños para no tener que construir una planta piloto. Es posible que esos diseños allanen el camino para el desarrollo de la energía nucleoelectrica en un futuro cercano.

Las formas de hacerlo difieren básicamente según se trate de reactores de agua ligera avanzados

por  
A.Yu. Gagarinski,  
V.V. Ignatiev,  
V.M. Novikov  
y S.A. Subbotin

El Profesor Gagarinski es Director Adjunto, y el Profesor Novikov es Jefe de Problemas Nucleoelectricos, del Instituto Kurchatov, Moscú 123182, Plaza Kurchatov. Los doctores Ignatiev y Subbotin son funcionarios superiores de dicho Instituto.

(ALWR) de tamaño grande o mediano. En el caso de las centrales nucleares de gran tamaño, por lo general se procede al mejoramiento ulterior de las medidas que garantizan la seguridad, lo que en cierta medida complica los diseños.

En el caso de los ALWR de tamaño mediano, al mismo tiempo que se disminuye la potencia del reactor y la potencia específica del núcleo, se logra la simplificación esencial de los diseños y se aumenta al máximo el uso de características de seguridad pasiva.

Por supuesto, hay proyectos en los que se trata de combinar estos dos enfoques. Por ejemplo, se están introduciendo nuevas características de seguridad pasiva en proyectos de reactores grandes como los proyectos rusos WWER-88 y WWER-92.

La segunda tendencia que se observa en el desarrollo de las centrales nucleares avanzadas es la de dotar al reactor del mayor nivel posible de autoprotección. A tal fin se emplean sobre todo características de seguridad inherentes junto con medios de seguridad pasiva.

Es lógico que no se haya podido efectuar una adecuada verificación experimental de muchas de estas características. Algunas de ellas son todavía conceptos físicos. Por lo tanto, para que esos enfoques innovadores tengan éxito es necesario verificar su aplicación en prototipos de plantas piloto. Como resultado de ello, es probable que el proyecto no se ejecute por lo menos hasta que termine el siglo. Es preciso reconocer que, por lo que respecta a la "simplicidad física", los proyectos innovadores tienen mayores posibilidades de granjearse el nivel requerido de aceptación pública.

Sin embargo, la pluralidad de enfoques encierra la amenaza de la diversificación excesiva y la dispersión de los esfuerzos. Mantener la diversificación dentro de límites razonables es una tarea muy importante. Para cumplirla se requiere un trabajo analítico continuo que permita seguir de cerca todos los niveles de desarrollo y garantizar la validación experimental y la fiabilidad.

Un análisis de esa índole, capaz de nuclear las características ventajosas de los distintos proyectos, facilitaría la formulación de los requisitos de un futuro proyecto de ALWR "Este-Oeste" al que podrían incorporarse las ventajas tecnológicas del LWR occidental y del WWER ruso (reactor refrigerado y moderado por agua) y con ello lograr la integración internacional en la esfera de la energía nuclear.

En el presente artículo se hace una breve descripción de las características específicas de los LWR avanzados que ahora se construyen en Rusia.

### Proyectos de centrales nucleares de gran tamaño

Hace pocos años, en el marco del concepto WWER-88 se acometió la tarea de diseñar una central nuclear de nueva generación y seguridad mejorada sobre la base de un reactor WWER-1000. (Véase el cuadro.) Para mejorar su seguridad, se dotó al reactor de sistemas adicionales, a saber, un sistema pasivo para la eliminación del calor de desin-

tegración con un intercambiador de aire y calor montado en la parte externa de la contención; un sistema de filtración para aliviar la presión en la contención en condiciones de accidente que excedan la base de diseño; y acumuladores adicionales para la refrigeración de emergencia del núcleo.

Con respecto a estos esfuerzos, la firma rusa Hydropress comenzó el diseño del nuevo reactor WWER-92 (V-410). (Véase el esquema.) A diferencia del concepto anterior, éste plantea una simplificación radical de la central nuclear (incluidos los sistemas activos de seguridad), el mejoramiento de la eficacia del sistema pasivo y la posible merma de la potencia del núcleo.

En este proyecto se prevé la instalación de un circuito primario de cuatro lazos con generadores de vapor verticales y una bomba de circulación principal de nuevo diseño. Se incorporan tanques de agua adicionales para la refrigeración de emergencia del núcleo. La central tendría un sistema pasivo para la eliminación del calor de desintegración compuesto por cuatro circuitos, uno por cada generador de vapor. La contención es doble y la parte interna tiene 42 metros de diámetro y está fabricada con hormigón armado.

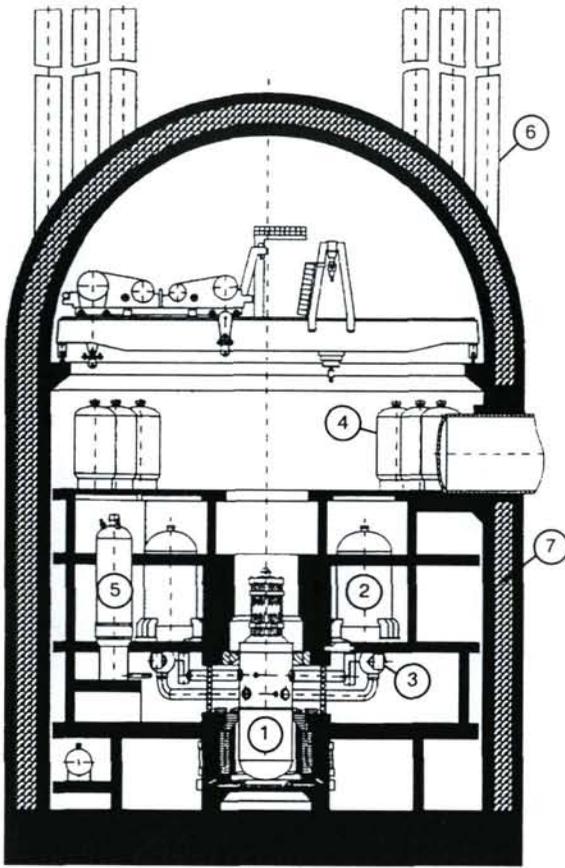
Se hace hincapié en el mejoramiento de la seguridad por medios pasivos. Obsérvese que en otros diseños de reactores de agua a presión avanzados (APWR) los sistemas pasivos se emplean sólo para los reactores de potencia media (de hasta 600 megavatios) y la potencia del núcleo se reduce considerablemente. Además, parece que se requiere una amplia validación experimental.

### Proyectos de centrales de mediano tamaño

Hydropress y otras firmas rusas también diseñan un reactor de potencia de mediano tamaño: el WWER-500/600. La disposición del circuito primario es la convencional de cuatro lazos, con generadores de vapor horizontales cuya estructura es similar a la de los que han establecido un buen historial de funcionamiento en los WWER-440 que están en explotación. La vasija del reactor es análoga a la del WWER-1000 (V-320).

El diseño del WWER 500/600 se concentra en el mejoramiento de la fiabilidad operacional, y los objetivos de seguridad se logran principalmente aumentando la fiabilidad del equipo técnico básico y optimizando los sistemas relacionados con la seguridad.

Cabe señalar que las soluciones adoptadas para este proyecto están a tono con las tendencias globales orientadas al mejoramiento de la seguridad de los reactores de potencia de mediano tamaño con circuitos de lazo. Entre esas soluciones se cuentan la disminución de la potencia de la unidad y de la potencia específica del núcleo; los sistemas pasivos con convección natural para la eliminación del calor de desintegración; la aplicación de un sistema de descompresión del circuito primario; el uso de un sistema pasivo para compensar la pérdida de agua de los generadores de vapor; y la aplicación de enfriamiento externo por convección natural para la contención de acero.

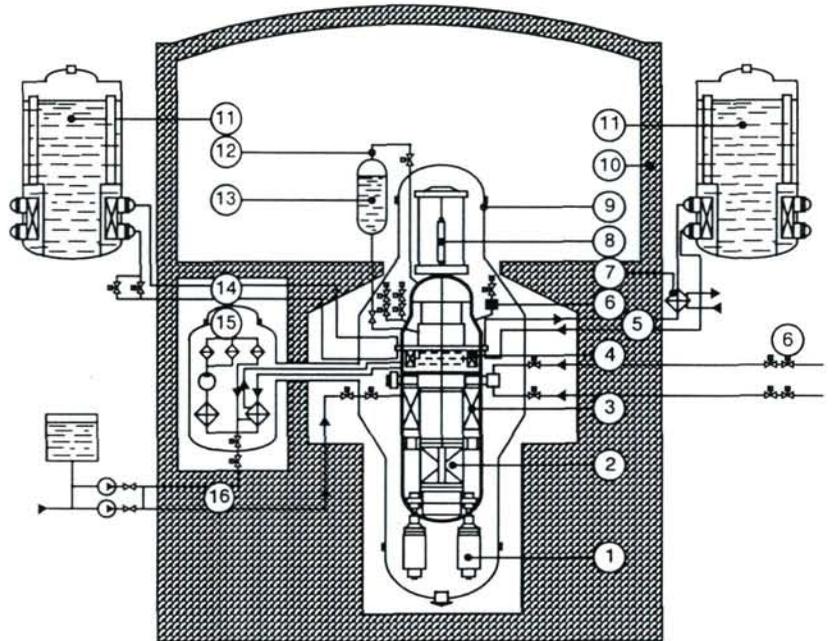


Esquema del edificio del reactor WVER-92

1. Reactor
2. Generador de vapor
3. Bomba del refrigerante del reactor
4. Tanque de agua del sistema de refrigeración de emergencia del núcleo
5. Presurizador
6. Sistema de eliminación del calor de desintegración (pasivo)
7. Contención

Diagrama de circulación de la central VPBER-600

1. Bomba de circulación principal
2. Reactor
3. Generador de vapor
4. Intercambiador de calor-condensador
5. Sistema de eliminación continua del calor
6. Dispositivos de autoaccionamiento
7. Intercambiador de calor intermedio
8. Mecanismos de accionamiento de las barras de control
9. Vasija de guarda
10. Contención
11. Intercambiador de calor
12. Inyección del absorbente líquido
13. Tanque con solución de boro
14. Sistema pasivo de eliminación del calor
15. Sistema de limpieza del refrigerante y control de la reactividad del boro
16. Sistema de relleno del circuito primario



**Proyectos innovadores: VPBER-600**

La OKBM (Nizhni Novgorod) de Rusia está elaborando un proyecto de central nuclear más innovador. Existen varias versiones de este reactor, denominado VPBER-600, en diferentes etapas de desarrollo.

A diferencia de los PWR que están en explotación, todos los componentes del VPBER-600 se encuentran dispuestos en una sola vasija de presión. Esta estructura simplifica sustancialmente el circuito primario al prescindir de tuberías grandes. (Véanse el esquema y el cuadro.) El reactor integrado presenta la característica de que en el interior de la vasija

**Algunas especificaciones de los reactores avanzados que se desarrollan en Rusia**

	VPBER-600	WVER-500/600 (V-407)	WVER-88 (V-392)	WVER-92 (V-410)
Vida útil del reactor	60 años	60 años	40 años	60 años
Potencia nominal térmica	1800 MW	1800 MW	3000 MW	3000 MW
Capacidad de generación eléctrica	600 MWe	635 MWe	1000 MWe	1100 MWe
Número de circuitos	Integral	4	4	4
Presión del sistema	15,7 MPa	15,7 MPa	15,7 MPa	15,7 MPa
Temperatura de entrada y salida del núcleo	294°/325°C	296°/327°C	290°/320°C	296°/330°C
Potencia específica del núcleo	69,4 kW/l	69,4 kW/l	106 kW/l	118,9 (76,6) kW/l
Número de conjuntos combustibles	151	163	163	199-211
Tasa nominal de convección natural	17 a 20%	10 a 15%	10 a 15%	10 a 15%
Altura total de la vasija	22,5 m	14,1 m	14,1 m	14,9 m
Diámetro externo de la vasija	6,03 m	4,57 m	4,57 m	4,57 (5,83) m
Bomba del circuito primario	6/rotor vertical hermético en la vasija	4/rotor vertical hermético	4/sello del eje vertical de una sola etapa	4/sello del eje vertical de una sola etapa
Generador de vapor	12/tubo recto vertical	4/horizontal	4/horizontal	4/vertical
Número de sistemas pasivos para la eliminación del calor de desintegración	2 + 2	4 + 4	4	tanque de 4 × 1000 m <sup>3</sup>

del reactor están colocados el generador de vapor, el presurizador y los intercambiadores de calor para los sistemas de refrigeración de emergencia del núcleo. Las bombas de circulación principales están montadas en el fondo del reactor. El reactor y los sistemas primarios están ubicados en el interior de una vasija de contención (o guarda). La vasija secundaria protege el núcleo de manera que si se produce un accidente con gran pérdida de refrigerante, el núcleo se mantiene cubierto de refrigerante. El propio sistema de refrigeración de emergencia del núcleo cuenta con dos sistemas independientes, de los cuales cada uno tiene dos circuitos que funcionan por separado para eliminar el calor con convección natural. En caso de accidente el operador no tendrá necesidad de intervenir hasta que transcurran por lo menos 72 horas. La contención consiste en una estructura cilíndrica simple de hormigón armado.

Como el VPBER-600 posee algunas características innovadoras, probablemente habrá que realizar un profundo análisis teórico y una validación experimental, y es posible que se presenten algunas dificultades en cuanto a la concesión de licencias al proyecto. Habrá que realizar grandes esfuerzos para perfeccionar el núcleo de todos los ALWR rusos, porque actualmente éste parece ser el componente más conservador de los diseños. No obstante, cabe señalar que cualquier cambio que se introduzca por ejemplo, en el elemento combustible, el conjunto combustible o los procesos de fabricación, requerirá un prolongado examen de laboratorio.

#### Lecturas técnicas adicionales

*Advanced Light-Water Reactors: Analysis of New Approaches and Ideas*, monografía preparada para la Sociedad Nuclear de Rusia por A.Yu. Gagarinski, V.V. Ignatiev, V.M. Novikov y S.A. Subbotin, Moscú (1992).

"Nuclear Power: Status and Prospect", por A.Yu. Gagarinski, actas del Seminario Científico sobre el uso de la energía nuclear con fines pacíficos, Moscú (2 y 3 diciembre 1991).

"Economic Aspects of Ecological Risk due to Nuclear and Coal-fired Electricity Production (general comparison related to the former USSR)", documento preparado en colaboración por V.M. Novikov, B. Wahlstrom, V.V. Ignatiev y otros, CP-91-004, IIAAS, Luxemburgo, Austria (mayo 1991).

*Projected Costs of Generating Electricity from Power Stations for Commissioning in the Period 1995-2000*, AEN/OCDE, Paris (1989).

"Modernizing the WVER: A Soviet Perspective", por V.P. Denisov, V.V. Stekolnikov y V.A. Voznesenskii, *Nuclear Engineering International*, págs. 16 a 22 (julio 1991).

"The Development of WVER-type Advanced Reactor Facilities and Additional Safety Systems", por K.B. Kosourov, V.A. Gorbaev y G.I. Lunin, ponencia presentada en un taller del OIEA sobre el papel del Organismo en el reactores avanzados, OIEA, Viena (18 a 21 noviembre de 1991).

"Advanced Enhanced Safety Pressurized Water Reactors of the New Generation", por F.M. Mitenkov y A.B. Samoilov, ponencia presentada en un taller del OIEA sobre el papel del Organismo en el desarrollo de sistemas de reactores avanzados, OIEA, Viena (18 a 21 de noviembre de 1991).