

# La energía nucleoelectrónica en la Unión Soviética

---

por I.S. Zheludev y L.V. Konstantinov

Hace más de 25 años que la Central nuclear nº 1 de Obninsk (cerca de Moscú) generó la primera electricidad nuclear comercial del mundo. La potencia de la Central era de 5 MW(e), mucho menos que la de las actuales centrales nucleares, pero ya anunciaba el comienzo de una nueva era: la era nucleoelectrónica. La Figura 1 es una vista general de la Central nuclear nº 1 de la Unión Soviética. Un año más tarde, en la primera Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos (Ginebra, 1955), científicos soviéticos explicaron las características del diseño de la Central y su experiencia de explotación.

La construcción de la Central nuclear nº 1 fue posible gracias a la existencia de la industria atómica que para aquel entonces se había desarrollado en la Unión Soviética. El jefe científico del numeroso grupo de especialistas, diseñadores e ingenieros soviéticos que participaron en la construcción fue el académico I.V. Kurchatov, eminente hombre de ciencia y organizador de talento. Muchos de sus discípulos y colegas siguen coadyuvando con éxito al desarrollo de la energía nucleoelectrónica en la Unión Soviética. La Central nuclear nº 1 sigue en servicio y se utiliza para investigaciones y para la capacitación de personal técnico.

El crecimiento de la energía nucleoelectrónica en la Unión Soviética ha atravesado las siguientes etapas: cuatro años después de entrar en servicio la Central nuclear nº 1 se construyó la Central nuclear siberiana de 100 MW(e) de potencia; esta capacidad se incrementó posteriormente a 600 MW(e). Más adelante, empezaron a producir electricidad comercial las centrales de Beloyarsk, Novo-Voronezh, Kola Leningrado y Armenia, entre otras. El Cuadro 1 señala el crecimiento de la capacidad de las centrales nucleares y de las centrales de combustibles fósiles en la Unión Soviética. Actualmente, la capacidad nuclear instalada total de la Unión Soviética es de unos 12 000 MW(e). Para facilitar la comparación se indica también el aumento de capacidad de todas las centrales de la Unión Soviética desde 1921, año en que se inició el primer plan a largo plazo para la electrificación del país, preparado por iniciativa de Lenín, fundador del Estado Soviético. Este plan, que preveía la construcción de 30 centrales con una capacidad total de 1 740 MW(e) durante un período de 10 a 12 años, quedó terminado en 1931.

## EL REACTOR DE TIPO SOVIETICO

La elección de grafito como moderador y de agua como refrigerante para la Central nuclear nº 1 se basaba en los resultados de una gran labor de investigación y desarrollo durante la cual se consideraron varios tipos de reactores nucleares, entre ellos los de agua a presión (RAP), los de agua en ebullición (RAE), y los refrigerados con sodio y gas. Como el perfeccionamiento del diseño de los reactores puso de manifiesto, los reactores — canal de

---

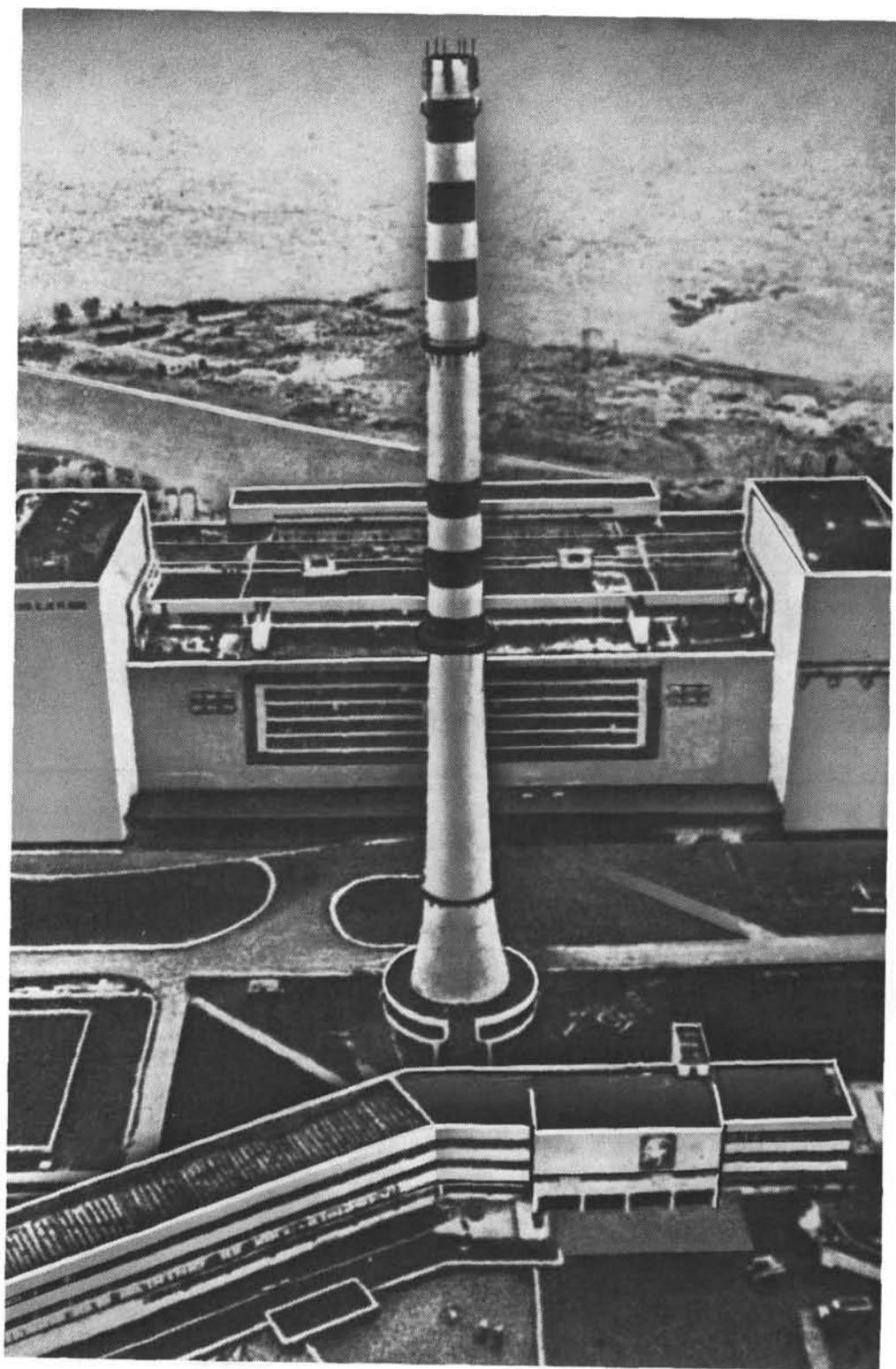
El Profesor Zheludev es Director General Adjunto del Departamento de Actividades Técnicas del OIEA, y el Dr. Konstantinov es Coordinador Científico del Programa de Normas de Seguridad Nuclear (Programa NUSS), División de Seguridad Nuclear y Protección del Medio Ambiente (OIEA).



Figura 1. Central nuclear nº 1 de Obninsk.

Cuadro 1. Aumento de la producción eléctrica en la Unión Soviética

| Año  | Capacidad instalada de las centrales ( $10^6$ kW) |                     | Generación por año     |  |
|------|---|---------------------|------------------------|--|
|      | Combustible fósil o nuclear                       | Nuclear             | $10^9$ kW-hora         | Producción de electricidad en kW-hora/cápita |
| 1921 | 1,2   | —                   | 0,5                    | 4  |
| 1927 | 1,7   | —                   | 4,2                    | 25   |
| 1940 | 11,2  | —                   | 48,3                   | 256  |
| 1945 | 11,1  | —                   | 43,2                   | 250  |
| 1950 | 19,6  | —                   | 91,2                   | 480  |
| 1960 | 66,7  | 0,605               | 292                    | 1365   |
| 1970 | 167,5   | 1,0                 | 740                    | 3060   |
| 1975 | 220,5   | 4,7                 | 1038                   | 4100   |
| 1980 | 290 (proyectada)                                  | ~ 18,0 (proyectada) | 1340–1380 (proyectada) | 5200   |



uranio-grafito refrigerados con agua en ebullición no solo pueden competir en términos económicos con otros tipos de reactores de potencia, sino también con las centrales de carbón. Estos reactores, conocidos como "reactores de tipo soviético" a causa de su diseño, cuya potencia nominal es de 1 000 MW(e) y más, constituirán más de la mitad de la capacidad nuclear de la Unión Soviética durante los 10 a 15 años venideros. Otro tipo de reactor que sustentará los programas nucleoelectricos de la Unión Soviética y de otros Estados Miembros del CAEM es el reactor de potencia moderado y refrigerado con agua (el denominado reactor RPAA), análogo al tipo RAP. En vista de esta analogía, no nos ocuparemos del diseño de los RPAA y nos limitaremos a describir algunas de las características especiales de los reactores — canal de uranio-grafito.

Uno de estos reactores es el RBMK-1 000, de 1 000 MW(e) de potencia. La primera de una serie de centrales nucleares equipadas con estos reactores entró en servicio en 1973 en las cercanías de Leningrado. Actualmente, están en explotación siete de estas unidades y otras siete en construcción. Se ha demostrado que la potencia de estos reactores puede multiplicarse por un factor de 1,5 sin cambios sustanciales del diseño y sin modificar las dimensiones del reactor. El aumento se obtiene incrementando la densidad de potencia en el combustible de modo significativo e intensificando el intercambio de calor en el núcleo. Se está construyendo una central equipada con reactores RBMK-1 500 de 1 500 MW(e) de potencia por unidad, y se han proyectado más centrales con reactores análogos.

La Figura 2 presenta una vista general de la etapa 1 de la Central nuclear Lenín (Leningrado); las Figuras 3 y 4 son una sección transversal de una unidad de la serie de 1 000 MW(e) y un diagrama simplificado de flujo térmico, respectivamente. Las características principales de los reactores RBMK-1 000 y RBMK-1 500 se indican en el Cuadro 2. Los elementos combustibles de los canales verticales de circonio están refrigerados con agua en ebullición. El vapor se separa del agua en cuatro colectores y pasa a dos turbinas de vapor saturado de una potencia nominal de 500 MW(e) cada una; ocho bombas de circulación devuelven el agua a los canales del reactor. Por consiguiente, no hay intercambiadores de calor en el circuito de refrigeración del reactor y su ciclo de funcionamiento es análogo al de un RAE.

Una ventaja importante de los reactores — canal de uranio-grafito es que pueden construirse en fábricas de maquinaria corriente, puesto que no contienen los intercambiadores de calor y vasijas de alta presión que requieren los RAP. La recarga se puede efectuar sin reducir la potencia (recarga "en servicio"); esto brinda la oportunidad de extraer los elementos combustibles defectuosos manteniendo la reserva de reactividad mínima requerida. En último término, gracias a estas ventajas es posible construir estas centrales muy rápidamente y asegurar un alto factor de carga. Su inconveniente es la gran red de tuberías del circuito de refrigeración, que exige inversiones de capital mayores que en los RPAA. Sin embargo, como veremos más adelante, la construcción de centrales nucleares equipadas con reactores RBMK-1 000 y RBMK 1 500 o con reactores RPAA-440 y RPAA-1 000 en la parte europea de la Unión Soviética está totalmente justificada en la actualidad desde el punto de vista económico.

Otra etapa en el desarrollo de los reactores — canal de uranio-grafito la constituye el proyecto RBMK-2 400, de 2 400 MW(e) de potencia por unidad. La característica distintiva del diseño de este reactor es que está fabricado en secciones y que posee supercalentamiento de calor nuclear. Estructuralmente, el núcleo rectangular está formado por 12 secciones, comprendidas las 4 secciones de supercalentamiento del vapor. Estas secciones pueden fabricarse en serie y transportarse por ferrocarril para montarlas en el lugar de construcción.

---

Figura 2. Etapa 1 de la Central nuclear Lenín (Leningrado).

**Cuadro 2. Características de los reactores RBMK**

| PARAMETROS  | RBMK-1000            | RBMK-1500            | RBMK-2400                             |
|---|----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Potencia térmica (MW)                                     | 3 200                | 4 800                | 6 500                                 |
| Potencia eléctrica (MW(e))                                | 1 000                | 1 500                | 2 400                                 |
| Número de turbinas x potencia del turbo-generador (MW(e)) | 2 X 500              | 2 X 750              | 2 X 1200                              |
| Eficacia (%)  | 30,4                 | 31,3                 | 37,0                                  |
| Dimensiones del núcleo:                                   |                      |                      |                                       |
| Altura (m)  | 7,0                  | 7,0                  | 7,0                                   |
| Diámetro (anchura x longitud)                             | 11,8                 | 11,8                 | (7,5 X 27)                            |
| Número de elementos combustibles:                         |                      |                      |                                       |
| a) para producción de vapor                               | 1 693                | 1 661                | 1 920                                 |
| b) para supercalentamiento del vapor                      | —                    | —                    | 960                                   |
| Carga inicial de uranio en el núcleo (toneladas)          | 192                  | 189                  | 293                                   |
| Combustible   | UO <sub>2</sub>      | UO <sub>2</sub>      | UO <sub>2</sub>                       |
| Enriquecimiento (%)                                       | 1,8                  | 1,8                  | 1,8 y 2,3                             |
| Grado de quemado medio (MWd/a/tonelada de uranio)         | 18 100               | 18 100               | 19 000                                |
| Material de la vaina de combustible                       | Aleación de circonio | Aleación de circonio | Aleación de circonio acero inoxidable |
| Caudal de agua a través del reactor (toneladas/hora)      | 37 500               | 29 000               | 39 300                                |
| Caudal de vapor en la turbina (tonelada/hora)             | 5 400                | 8 200                | 8 580                                 |
| Parámetros de servicio de la turbina:                     |                      |                      |                                       |
| Presión del vapor a la entrada (bar)                      | 65                   | 65                   | 65                                    |
| Temperatura del vapor a la entrada (°C)                   | 280                  | 280                  | 450                                   |

Según el número de secciones, la potencia del reactor se puede aumentar o disminuir como pida el usuario (las principales características del RBMK-2 400 figuran en el Cuadro 2). La construcción de centrales equipadas con estos reactores empezará después de 1985. El diseño del RBMK-2 400 se basa en la experiencia acumulada en la Unión Soviética con el supercalentamiento de calor nuclear. Cabe indicar aquí que la Central nuclear de Beloyarsk situada en los Urales, lleva funcionando en buenas condiciones desde hace unos 15 años con dos unidades de 100 y 200 MW(e) respectivamente, siendo la temperatura del vapor a la salida del reactor de 520–540°C y la presión de 100 bar aproximadamente.

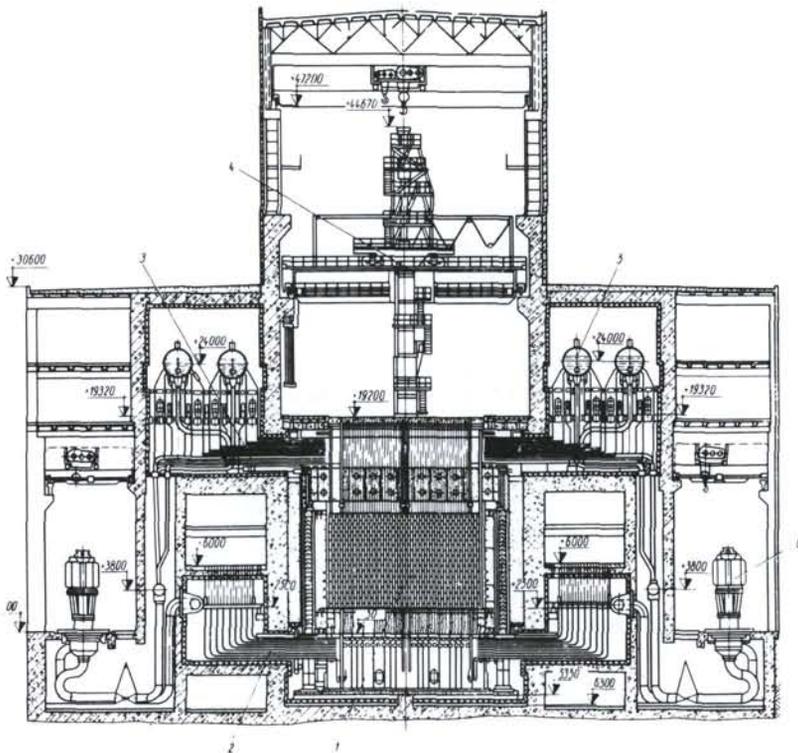
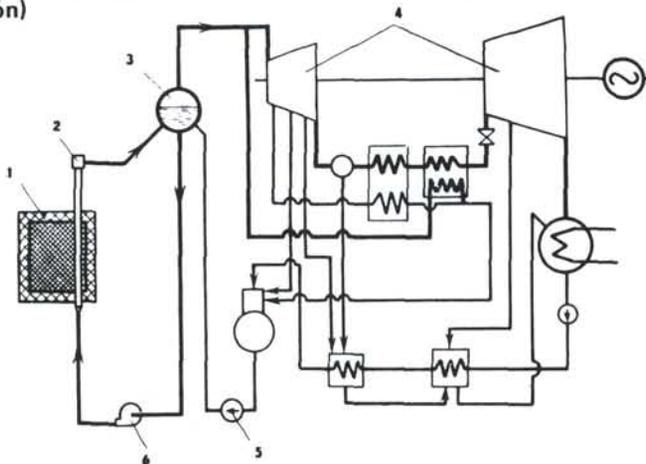


Figura 3. Corte transversal de una unidad de la serie RBMK (1. Núcleo del reactor; 2. Tuberías para la entrada del refrigerante; 3. Tuberías para la salida de la mezcla vapor-agua; 4. Máquina de recarga; 5. Separadores de vapor tipo colector; 6. Bomba de circulación)

Figura 4. Diagrama simplificado del flujo de calor en una central RBMK-1000 (1. Reactor; 2. Canal con elementos combustibles; 3. Separador de vapor tipo colector; 4. Turbogenerador; 5. Bomba del agua de alimentación; 6. Bomba de circulación)



## LOS REACTORES REPRODUCTORES EN LA UNION SOVIETICA

Es un hecho conocido que los reactores térmicos solo utilizan del 1 al 2% de la energía contenida en el uranio natural porque emplean como combustible el uranio-235, mientras que el uranio-238, que es unas 140 veces más abundante que el uranio natural, apenas se usa en absoluto. Por esta razón, es importante determinar en qué medida la energía nucleoelectrónica producida con reactores térmicos podrá verse limitada por la disponibilidad de recursos de combustible nuclear, a fin de poder iniciar en momento oportuno la construcción de reactores reproductores. Estos reactores reproductores rápidos no solo tendrán que proporcionar combustible a las nuevas generaciones de reactores reproductores sino también a los antiguos reactores térmicos. Las reservas mundiales de uranio, suponiendo un costo de extracción máximo de 100 dólares de los Estados Unidos/kg (precio de 1973), se estiman actualmente en 5 a 10 millones de toneladas. Si solo se construyen reactores térmicos, las reservas conocidas de uranio (sin contar las de los mares) cuya extracción resulta económica según los criterios actuales, no exceden en demasía las actuales reservas de petróleo y gas en términos de contenido energético.

Desde 1949 se desarrollan en la Unión Soviética investigaciones encaminadas a demostrar y subsiguientemente introducir los reactores rápidos. Después de haberse adquirido experiencia con los primeros reactores rápidos experimentales y de demostración (BR-2, BR-5 y BOR-60), en 1973 entró en servicio comercial en Shevchenko, en la costa del Mar Caspio, una central que utiliza un reactor rápido BN-350. El BN-350 suministra 150 MW(e) de electricidad y agua desalada a razón de 120 000 toneladas/día. El equipo de este reactor es de "tipo circuito", a diferencia del reactor BN-600 de 600 MW(e) de potencia que entró recientemente en servicio en los Urales, cerca de Sverdlovsk. El reactor BN-600 posee una estructura integral o de piscina, en la que el núcleo y todo el circuito primario están sumergidos en un tanque de sodio fundido. La Figura 5 presenta una sección transversal del BN-600. La experiencia de explotación de los reactores BN-350 y BN-600 ilustrará las ventajas e inconvenientes de cada una de estas estructuras.

Hoy día se están proyectando centrales con reactores rápidos BN-800 y BN-1 600 de 800 y 1 600 MW(e) de potencia respectivamente. En estos trabajos se aprovechará la experiencia adquirida con la explotación de los reactores BOR-60, BN-350 y BN-600. El Cuadro 3 indica los parámetros básicos de los reactores rápidos de la Unión Soviética.

Las centrales nucleares representan el 20% de toda la capacidad de generación eléctrica instalada en la Unión Soviética durante el período del décimo plan quinquenal (1976-1980). Esto significa que prácticamente se ha triplicado la capacidad de las centrales nucleares en explotación durante este período. Para el final de 1980 las centrales nucleares estarán generando alrededor del 10% del total de electricidad consumido en la parte europea de la Unión Soviética, es decir, el 5,8% de la producción total del país, frente al 1,9% en 1975. En lo sucesivo proseguirá la construcción de centrales nucleares en la parte europea de la Unión Soviética. En los 10 a 12 próximos años la capacidad de las centrales nucleares del país aumentará hasta 90 000 MW(e) aproximadamente. Después de 1990 una proporción cada vez mayor de centrales nucleares estarán equipadas con el reactor reproductor BN-1 600, que para entonces se podrá utilizar ya.

La tendencia general en el desarrollo futuro de la energía nucleoelectrónica en la Unión Soviética es hacia la construcción de reactores rápidos. Sin embargo, en la actualidad y hasta el final de este siglo, la base nucleoelectrónica de la Unión Soviética la seguirán ofreciendo los reactores térmicos de los tipos RBMK y RPAA. A partir de 1990 se pasará a la construcción en gran escala de reactores reproductores en serie, que aportarán una considerable contribución a los recursos energéticos del país al comienzo del próximo siglo.

**Cuadro 3. Características de los reactores rápidos**

| PARAMETRO   | BN-350<br>en explotación   | BN-600<br>en explotación              | BN-1600<br>en diseño            |
|---|--|---------------------------------------|---------------------------------|
| Potencia térmica (MW)   | 1000   | 1470                                  | ~ 4000                          |
| Potencia eléctrica (MWe)  | 350 o 150 MWe<br>más 120 000<br>toneladas de<br>agua desalada<br>por día | 600                                   | 1600                            |
| Eficacia (%)  | 35   | 42                                    | ~ 40                            |
| Diámetro/altura del núcleo (cm)   | 150/100  | 205/75                                | 330/100                         |
| Flujo máximo de neutrones<br>rápidos (cm <sup>2</sup> × seg) <sup>-1</sup>      | 8,10 <sup>15</sup>   | 10 <sup>16</sup>                      | 10 <sup>16</sup>                |
| Carga inicial del núcleo de<br>U <sup>235</sup> o Pu <sup>239</sup> (toneladas) | (UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub> )                                     | (UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub> )  | (PuO <sub>2</sub> )             |
| Grado de quemado medio<br>del combustible                                       | 5%   | 10%                                   | 10%                             |
| Potencia nominal máxima<br>en el núcleo (kW/l)                                  | 780  | 840                                   | 710                             |
| Refrigerante del reactor  | Sodio  | Sodio                                 | Sodio                           |
| Temperatura del sodio a la<br>salida (°C)                                       | 500  | 500                                   | 530-550                         |
| Circuitos sucesivos de<br>refrigerante  | Sodio/<br>sodio/agua<br>y vapor  | Sodio/<br>sodio/agua<br>y vapor       | Sodio/<br>sodio/agua<br>y vapor |
| Temperatura del vapor (°C)  | 435  | 500                                   | 490-510                         |
| Presión del vapor (bar)   | 50   | 130                                   | ~ 140                           |
| Intervalo entre las recargas<br>(días efectivos)                                | 55   | 150                                   | 120                             |
| Emplazamiento de la central<br>nuclear  | Shevchenko<br>(en la costa del<br>Mar Caspio)                            | Beloyarsk<br>(cerca de<br>Sverdlovsk) | No se ha<br>elegido<br>todavía  |

Debe tenerse presente que la vida útil de las centrales nucleares equipadas con reactores térmicos no se supone que será inferior a 30 años. Por consiguiente, los reactores reproductores y los reactores térmicos continuarán funcionando al mismo tiempo y complementándose mutuamente al final de este siglo. Los reactores reproductores funcionarán sobre todo para proporcionar la carga fundamental y mayores cantidades de combustible para los nuevos reactores reproductores y los reactores térmicos; estos últimos servirán para compensar las fluctuaciones diurnas-nocturnas y estacionales del consumo eléctrico.

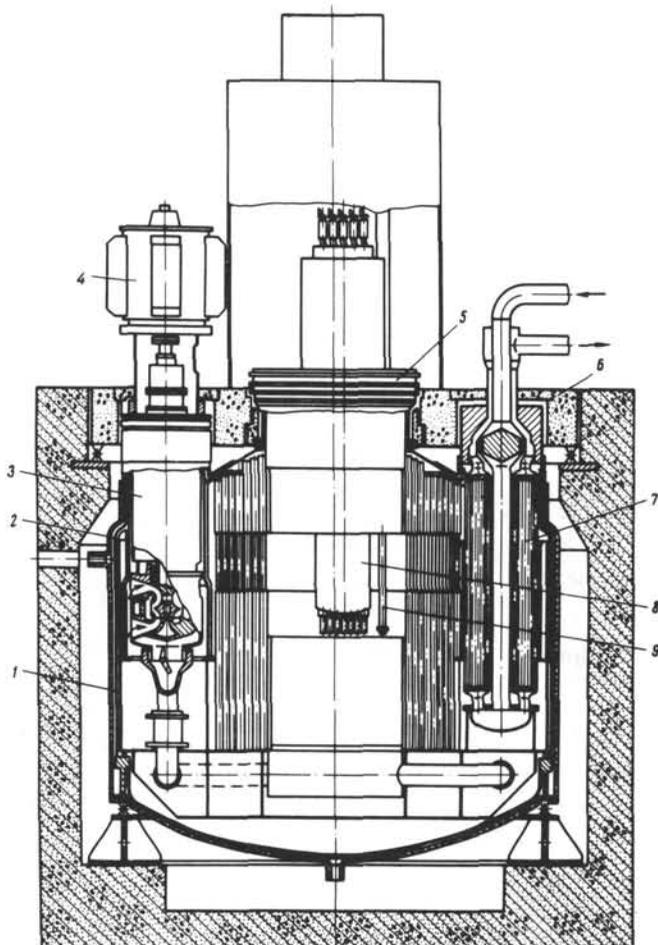


Figura 5. Sección transversal del reactor BN-600 (1. Anillo para el transporte de carga; 2. Tanque de sodio; 3. Bomba; 4. Motor de la bomba; 5. Cubierta rotatoria del reactor; 6. Blindaje superior; 7. Intercambiador de calor (sodio-sodio); 8. Canales centrales para las barras de control; 9. Mecanismo de carga del combustible)

## RECURSOS ENERGETICOS NUCLEARES Y DE OTRA INDOLE

La Unión Soviética es uno de los pocos países industrializados que posee grandes recursos energéticos. Los expertos estiman que su territorio contiene hasta el 30% de las reservas mundiales de petróleo, hasta el 40% de las de gas y hasta el 50% de las de carbón. Sin embargo, el 90% de estas reservas, así como el 80% de las hidroeléctricas, están situadas fuera de la parte europea de la Unión Soviética, mientras que el 75% aproximadamente de su población — que consume alrededor del 80% de la energía total — vive en esta parte. Esto obliga a transportar el combustible a distancias de 800—900 kilómetros por término medio, y en el caso de la electricidad a distancias de muchos miles de kilómetros. Es revelador el hecho de que el combustible represente ya alrededor del 40% de la carga total transportada

en el país. A fin de poder hacer frente a la creciente demanda energética de la parte europea de la Unión Soviética, habrá que suministrar la energía en forma más concentrada que el combustible de tipo tradicional; el combustible nuclear cumple este requisito.

Por consiguiente, es la economía la que dicta la escala y la tasa de crecimiento nucleoelectrónico y su papel en el abastecimiento energético del país. Aunque las inversiones específicas de capital para la construcción de una central nuclear sean mayores que para una central de tipo tradicional, la construcción de centrales nucleares en la parte europea de la Unión Soviética es ya rentable hoy día y lo seguirá siendo incluso si los gastos de capital aumentan en un 150%. Los cálculos económicos para decidir si hay que instalar una central nuclear o una central de tipo tradicional tienen en cuenta la necesidad de procurarse mayores suministros del combustible elegido y también el costo de su transporte.

Otro problema muy importante que también tiene que ser con el abastecimiento energético es el de proteger a la población y disminuir la contaminación ambiental. Actualmente, el consumo de oxígeno causado por combustión de combustibles es varias veces mayor en muchos países industrializados que la producción de dicho elemento por fotosíntesis, y en dichos países esta situación solo puede continuar gracias a la llegada de oxígeno procedente de regiones ecuatoriales, en las que la producción de oxígeno es mucho mayor que su consumo. En términos globales, las actuales centrales descargan anualmente de 200 a 250 millones de toneladas de cenizas y unos 60 millones de toneladas de anhídrido sulfuroso en la atmósfera. En el año 2000 es posible que estas descargas sean cinco a seis veces mayores y que resulten peligrosas. Por otra parte, las centrales nucleares son las fuentes industriales productoras de energía más limpias. Lo dicho vale enteramente para la parte europea de la Unión Soviética, que reúne ya las condiciones necesarias para el desarrollo de la energía nucleoelectrónica en gran escala.

El desarrollo nucleoelectrónico ha dado al hombre una nueva responsabilidad: la de impedir la contaminación del medio ambiente con productos radiactivos procedentes de la fisión de núcleos de plutonio y uranio. En la Unión Soviética se presta gran atención a la seguridad de las centrales nucleares: se han formulado normas y reglamentos científicamente correctos de seguridad nuclear y radiológica en la planificación, construcción y explotación de centrales nucleares, y se han creado entidades especiales para supervisar la seguridad de estas centrales. Se puede decir con confianza que adoptando precauciones técnicas y de organización adecuadas podemos garantizar hoy día una expansión de la energía nucleoelectrónica segura y en gran escala. Hay que prestar especial atención a la seguridad de las centrales de calefacción nuclear por distritos, cuya construcción resulta económica en las cercanías de las grandes urbes.

## LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA EN LOS PAISES DEL CAEM

La Unión Soviética presta considerable y variada asistencia a los países socialistas del Consejo de Asistencia Económica Mutua (CAEM), entre otras cosas para la construcción de centrales nucleares. En la República Democrática Alemana han entrado en servicio las centrales nucleares Rheinsberg y Bruno Leuschner. La primera empezó a funcionar en 1966. En la segunda, se han instalado entre 1973 y 1977 tres unidades con reactores RPAA de 440 MW(e); las restantes unidades generadoras están todavía en instalación. En Checoslovaquia, se está construyendo una central nuclear con varias unidades de 440 MW(e) en Jaslovske Bohunice; las dos primeras entraron en servicio en 1978 y 1980, respectivamente. En Bulgaria se explota en Kozloduj una central nuclear con dos unidades de 440 MW(e) y otras están en construcción. Se construyen también centrales nucleares en Hungría (en Paks) y en Polonia, y se proyecta construir otra en Cuba. Además, en Finlandia funciona una central con dos reactores soviéticos RPAA de 440 MW(e).

**Cuadro 4. Capacidad nuclear de los países del CAEM**

|                                  | SITUACION Y CAPACIDAD                                      |   |   |
|----------------------------------|--|---|---|
|                                  | En explotación,<br>MW(e) brutos<br>(número de<br>unidades) | En construcción,<br>MW(e) brutos<br>(número de<br>unidades) | Proyectadas<br>para entrar<br>en servicio<br>en 1990<br>MW(e) |
| Unión Soviética                  | 12 000 (32)  | 13 760 (15)   | ~ 90 000  |
| Bulgaria                         | 880 ( 2)   | 880 ( 2)  |   |
| Checoslovaquia                   | 880 ( 2)   | 2 640 ( 8)  |   |
| Cuba                             | —  | 440 ( 1)  |   |
| República Democrática<br>Alemana | 1 830 ( 5)   | 1 760 ( 4)  | 37 000  |
| Hungría                          | —  | 880 ( 2)  |   |
| Polonia                          | —  | 880 ( 2)  |   |
| Rumania                          | —  | —   |   |
|                                  | 15 590 (41)  | 21 240 (32)   | ~ 120 000   |
| <b>TOTAL:</b>                    | <b>36 830 (73)</b>   |   |   |

La importancia de la energía nucleoelectrica en los países socialistas aumenta cada año. Según el programa a largo plazo de cooperación en las esferas de la energía, combustibles y materias primas, que aprobó en 1978 la 32ª reunión del CAEM, los países miembros del CAEM (sin contar la Unión Soviética) construirán centrales nucleares con una capacidad total de 37 000 MW(e) de aquí a 1990. Por tanto, la capacidad nuclear total de los países del CAEM, comprendida la Unión Soviética, será de unos 120 000 MW(e) en 1990. Esto economizará el equivalente de unas 240 millones de toneladas anuales de combustible de referencia. Docenas de empresas especializadas de los países socialistas participan en la fabricación de equipo para estas centrales, promoviendo así el crecimiento nucleoelectrico a un ritmo acelerado. Se calcula que para el final del siglo, las centrales nucleares suministrarán del 40 al 45% de la electricidad de los países miembros del CAEM.

#### ALGUNAS OBSERVACIONES DE CARA AL FUTURO

Aunque la energía atómica se utilizaba sobre todo para producir electricidad en sus primeras etapas, hoy día es evidente que la gama de sus aplicaciones aumentará en lo sucesivo. En la Unión Soviética, un 25% de los recursos energéticos se consagran a la producción de electricidad y el 75% (principalmente petróleo, gas y carbón) son para calor industrial y doméstico y para el transporte, así como para procesos metalúrgicos y químicos en forma de calor y componentes químicos. En la Unión Soviética, del 35 al 40% del total de energía se gasta para la producción de calor de temperatura media y baja (hasta 200–300°C) con fines industriales, municipales o domésticos. El abastecimiento térmico centralizado para

todo el país excede en más del 50% la demanda total de calefacción, como resultado de la producción combinada de calor y electricidad. Por lo tanto, es evidente que ya se reúnen las condiciones necesarias para utilizar la energía atómica en esta esfera de la economía nacional; su empleo reducirá de modo significativo el consumo de petróleo y gas, que son valiosas materias primas para la industria química. El desarrollo de las instalaciones nucleares de suministro de calor se está acelerando en la Unión Soviética en vista de su utilidad económica; por ejemplo, se trabaja en la construcción de reactores de 500 MW(t) cada uno para la calefacción por distritos en las ciudades de Gorky y Novo-Voronezh.

En lo sucesivo, los reactores servirán también para abastecer a la industria con el calor de alta temperatura (del orden de 1 000°C) necesario para los procesos tecnológicos. Una proporción considerable del transporte que hoy en día se hace a base de motores de combustión interna podrá ser alimentado en lo futuro con hidrógeno obtenido con ayuda de la energía atómica; en la medida en que esto se logre, el sector del transporte dejará de contaminar la atmósfera con productos de combustión como lo hace actualmente.

En la Unión Soviética, como en otros países, se estudia la utilidad de construir las centrales nucleares, no esparcidas por todo el país, sino en parques o complejos energéticos con una capacidad de varias decenas de miles de megavatios. Estos complejos comprenderán no solo las centrales nucleares sino además instalaciones del ciclo del combustible y emplazamientos para la evacuación de desechos radiactivos, y con ellos se reducirá considerablemente — o incluso se eliminará — el transporte de materiales radiactivos fuera de sus límites. Tampoco causarán grandes perjuicios al medio ambiente si se construyen en zonas de escasa densidad de población y de suelo poco apto para la agricultura o la silvicultura. También en este caso siguen siendo factores decisivos la protección del medio ambiente y los aspectos económicos.

Hemos hablado de un programa a largo plazo para el desarrollo nucleoelectrico en gran escala de la Unión Soviética y de los países del CAEM. Automáticamente uno se pregunta: ¿hay otros recursos energéticos? En caso afirmativo ¿cuál es su importancia eventual para la economía energética de los Estados Miembros del CAEM? ¿Por qué es la energía nucleoelectrica en particular la que tiene que compensar la escasez creciente de combustibles de tipo tradicional? Seguramente se puede recurrir también a la energía solar, a la maremotriz, a la eólica y a la geotérmica en gran escala. Pero los detallados análisis de los expertos indican que todos estos recursos energéticos no valen más que para resolver problemas especiales de abastecimiento energético en zonas relativamente pequeñas que reúnan las debidas condiciones favorables, y no pueden servir de base para el abastecimiento energético de todo un país. Como máximo, estas fuentes pueden atender al 1 o 2% de nuestras necesidades energéticas. Esto no quiere decir en absoluto que debemos despreciarlas; al contrario, los recursos renovables de energía son utilísimos para hacer frente a las necesidades energéticas de tipo local.

No hay duda de que, en último término, la solución del problema energético estriba en la conquista de la fusión termonuclear. Los trabajos en esta esfera empezaron en la Unión Soviética en 1950. Desde entonces se han conseguido considerables progresos en la producción de plasmas de alta temperatura y en la comprensión de su comportamiento, lo que ha permitido empezar los preparativos para un reactor de fusión de demostración. Pero este tema será objeto de otra conferencia.

---

Este artículo es adaptación de una conferencia que dieron el Profesor Zheludev y el Dr. Konstantinov el 23 de abril en la Sede del OIEA.