

En el trigésimo aniversario de su fundación, la República Popular de Bulgaria ha puesto en servicio con éxito su primera central nuclear. El presente informe sobre la construcción y programa de actividades de la central ha sido presentado por el Comité para la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos de la República Popular de Bulgaria.

# Desarrollo de la energía nucleoelectrica en la República Popular de Bulgaria

---

La construcción de la primera central nuclear de Bulgaria empezó el 6 de abril de 1970 cerca de la ciudad de Kozlodui. Este día marca el comienzo de la era nucleoelectrica en Bulgaria.

La decisión de desarrollar la energía nucleoelectrica en la República Popular de Bulgaria fue resultado de atentos y amplios estudios y discusiones encaminados a aclarar cierto número de problemas científicos y técnicos, internos e internacionales, inherentes a la construcción de una central nuclear.

Las primeras evaluaciones relativas a la introducción de la energía nucleoelectrica se hicieron en 1960. Más adelante, en 1965, el Gobierno encargó nuevos estudios sobre la integración de la energía nucleoelectrica en la red del país y el mismo año se iniciaron negociaciones preliminares con la Unión Soviética sobre la posibilidad de que este país suministrase una central nuclear completa. Lo mismo que al ser creadas la mayoría de nuestras empresas industriales más importantes, la Unión Soviética convino en prestar toda la asistencia posible en el proyecto, construcción y suministro de equipo para las centrales nucleares de Bulgaria. Esta etapa preliminar culminó con la firma de un acuerdo en 1966 entre los Gobiernos de la Unión Soviética y de la República Popular de Bulgaria sobre la colaboración en la construcción de la primera central nuclear búlgara.

Las principales razones para la decisión de utilizar la energía nucleoelectrica en el país fueron las siguientes:

1. El análisis de la experiencia mundial confirmó que el desarrollo nucleoelectrico era una de las tendencias más características y prometedoras en la producción de energía;
2. El análisis de los recursos energéticos nacionales mostró que los recursos hidráulicos de Bulgaria eran limitados y variables, que los de carbón eran escasos, estando formados sobre todo por lignitos de baja calidad, y que los de petróleo y gas natural eran insuficientes. En consecuencia, el país tenía que importar recursos energéticos, entre los que el combustible nuclear se consideró el más favorable, pues supone un mínimo de problemas de transporte y de gastos.
3. El análisis de ciertos factores relacionados con el bienestar público indicó que la energía nucleoelectrica ofrecía considerables ventajas desde el punto de vista de la contaminación del medio ambiente y del emplazamiento. Este aspecto es muy importante debido a la agricultura altamente desarrollada del país.

El programa nucleoelectrico comprende las siguientes etapas:

- a) La entrada en servicio en 1974-1975 de las dos primeras unidades de la central nuclear de Kozlodui, con una capacidad total de 880 MW;
- b) La creacion de otros 1 800 MW de energia nucleoelectrica entre 1976 y 1980. En 1980 la produccion de electricidad de todas las centrales nucleares oscilara entre 13 000 y 14 000 millones de kW/h, es decir, alrededor del 25% de la potencia total generada en el pais. Durante el indicado periodo, las centrales nucleares contribuiran en mas del 50% al crecimiento de la produccion de electricidad;
- c) Entre 1981 y el año 2000 el aumento de la produccion electrica se debera principalmente a las centrales nucleares, que de 1990 al año 2000 contribuiran en un 75 u 85% al crecimiento total. En el año 2000, la capacidad global de generacion nucleoelectrica crecera probablemente hasta 13 000 - 15 000 MW(e), constituyendo del 60 al 65% de la produccion de electricidad total del pais.

**El 4 de septiembre de 1974 se inauguró oficialmente la primera central nuclear búlgara, situada en las cercanías de Kozlodui, con la entrada en servicio del primer reactor, de 440 MW(e).**

En consulta con institutos soviéticos de proyectos, nuestras organizaciones competentes han elaborado el plan general y los planes detallados de construccion de los edificios principales y auxiliares, el sistema de alimentacion de agua, un muelle en el Danubio, una nave con talleres y laboratorios, un parque de distribucion al aire libre, una planta de purificacion química del agua y otras instalaciones.

En la primera etapa se utilizaron 20 grúas de tipos diferentes, 18 excavadoras, 55 explanadoras de cuchilla y cucharón, varios centenares de camiones volquete, instalaciones automáticas de homigonado, bombas de hormigón, máquinas especiales para revestir de hormigón e impermeabilizar muros, y otra maquinaria.

Con ayuda de computadoras se está preparando, comprobando y correlacionando el plan de la red y los subprogramas operacionales.

El equipo ha sido transportado desde la Unión Soviética por el Danubio. Para ello se ha construido un nuevo muelle con un canal artificial. Está dotado de dos grúas, una de 275 toneladas de capacidad y otra de 32 toneladas. El muelle es el más grande de Bulgaria en lo que respecta a la capacidad para recibir cargas pesadas.

El desarrollo nucleoelectrico en Bulgaria plantea también el problema de la seguridad radiológica y de la proteccion del medio ambiente. Por esta razón, se ha establecido en el pais un sistema de vigilancia de la sanidad pública y se ha creado un grupo encargado de controlar la radiacion ambiente en el área de la central de Kozlodui y en el Danubio. Se están elaborando las normas pertinentes de seguridad y proteccion de la salud. En esta tarea aprovechamos la experiencia adquirida en la Unión Soviética, así como la documentacion preparada por el Organismo Internacional de Energia Atómica y la Comisión Permanente para la Utilizacion de la Energia Atómica con Fines Pacíficos, del Consejo de Asistencia Económica Mutua.

## CONSTRUCCION DE LA CENTRAL

La construccion de nuestra central presenta ciertas particularidades dignas de mencion.

1. El suelo del emplazamiento de la central de Kozlodui está formado por loess de densidad insuficiente, que no posee la capacidad requerida de carga. Por esta razón, se ha utilizado la



La primera central nuclear de Bulgaria, situada en Kozlodui.

técnica de formación de una "lecho de cemento-loess". El procedimiento es el siguiente: primero se hace la excavación para los cimientos. El loess vuelve a colocarse en su lugar en capas de 15 cm de espesor y con una humedad determinada. Estas capas se cubren de cemento, que se mezcla con el loess por medio de arados de disco empleados en agricultura. Cada capa se compacta con apisonadoras hasta una densidad de  $1,7 \text{ toneladas/m}^3$ . El espesor de este lecho de cemento-loess es de 3,2 m debajo del bloque del reactor, de 1 m debajo de la sala de máquinas y, para las otras estructuras, varía en función de la capacidad de carga necesaria.

2. Otra característica de la construcción de la central es el empleo de la técnica del encofrado deslizante. Esta técnica es bien conocida en todo el mundo, pero se ha utilizado aquí en gran escala para la dependencia de instrumentos y la sala de máquinas. Su particularidad estriba en que el deslizamiento se realiza levantando el techo, que se monta por completo en el suelo. De esta manera la sala de máquinas se construyó en cuatro etapas y la dependencia de instrumentos en dos. Cada etapa duró de 18 a 24 días.

La técnica del encofrado deslizante exige una organización detallada, una preparación a fondo y mano de obra abundante, pero permite reducir el tiempo de construcción de ciertas estructuras.

3. Un problema específico de la central de Kozlodui fue la construcción de un sistema de abastecimiento de agua para refrigerar los condensadores de las turbinas.

El agua de refrigeración procedente del Danubio se obtiene mediante una estación de bombeo situada en la orilla del río, un canal doble (para el agua "fría" y "caliente") de 6,5 km de

longitud y una estación de recirculación junto al río. El canal puede suministrar hasta  $160 \text{ m}^3$  de agua por segundo, lo que permite ampliar la capacidad de la central nuclear hasta  $2\ 760 \text{ MW(e)}$ .

Parte del canal está formada por una depresión y parte por un terraplén; el suelo en toda su longitud está constituido por loess. El canal se ha revestido de hormigón armado; para esta operación se utilizaron hormigoneras especiales. La superficie total revestida es de más de  $600\ 000 \text{ m}^2$ . La construcción del canal requirió el movimiento de unos  $5\ 000\ 000$  de  $\text{m}^3$  de tierra.

Para la construcción de la estación de bombeo en el Danubio, parte de la cual está a mayor profundidad que el lecho del río, se levantó un muro hexagonal de hormigón contra infiltraciones. El muro tiene  $0,5 \text{ m}$  de espesor,  $450 \text{ m}$  de longitud y  $23 \text{ m}$  de altura. Esta altura depende de la profundidad a la que se encuentra la primera capa geológica permeable. El muro se construyó con maquinaria especial.

4. La fórmula de preparación del hormigón del blindaje biológico, de  $3,65 \text{ t/m}^3$  de peso específico, adoptada y aprobada por las organizaciones soviéticas de proyectos, ha demostrado su eficacia en la construcción de nuestra central nuclear. El relleno "pesado" está formado por la escoria procedente de la laminación en caliente del acero, la denominada cascarilla. Esta fórmula, junto con el empleo de la cascarilla, ofrece varias ventajas:

- Tecnología sencilla de producción;
- Homogeneidad mucho más grande como resultado de la menor separación de los componentes pesados;
- Abaratamiento del hormigón;
- Abundancia del componente pesado (cascarilla) que es un residuo de los procesos de laminación del hierro y del acero en las fábricas del país.

Los planes de futura expansión de la central de Kozlodui prevén la construcción de otras cuatro unidades, cada una de  $440 \text{ MW(e)}$  y de composición análoga al primer grupo. Según el plan general, el tercer y cuarto grupos estarán alojados en una sala de máquinas de extremos abiertos que se unirá a la sala de máquinas de la primera unidad, formando una sala completa de ocho turbogeneradores. Esto tiene varias ventajas para la explotación de la instalación.

La tercera unidad entrará en servicio en 1977 y la cuarta en 1978. El segundo grupo está casi terminado.

El futuro desarrollo nucleoelectrico de la República Popular de Bulgaria plantea el problema de la selección de emplazamientos para otras centrales nucleares. La escasez de grandes masas interiores de agua, necesarias para la refrigeración de los condensadores de las turbinas, es una característica de nuestro país. Por ello hemos tenido que recurrir a las únicas fuentes adecuadas, el Danubio y el mar Negro. Los dos siguientes emplazamientos son los más apropiados:

- a) En las cercanías de la ciudad de Ruse en el Danubio. Es posible construir aquí varias unidades de una capacidad total de  $5\ 000$  a  $6\ 000 \text{ MW(e)}$ . En la práctica esto significa que casi todas las futuras construcciones en Bulgaria hasta 1990 podrán efectuarse en el emplazamiento de Ruse;
- b) En la región "Shabla" en la costa del mar Negro, al norte de la ciudad de Varna. De modo análogo es posible concentrar grandes grupos generadores en este lugar, que probablemente se utilizará durante el período 1990-2000.

El programa de desarrollo nucleoelectrico hasta 1980 se basa en centrales nucleares con reactores de neutrones térmicos, refrigerados y moderados por agua, con vasijas a presión,

pues, desde el punto de vista tecnológico, están bien desarrollados y experimentados. La ulterior expansión nucleoelectrica de Bulgaria se basará sobre todo en los reactores de neutrones rápidos.

## CAPACITACION DE ESPECIALISTAS

Un programa tan amplio plantea el problema de capacitación de los técnicos necesarios. El programa nacional especial de capacitación reviste varias formas.

Nuestras necesidades primarias se satisfacen en gran medida facilitando capacitación en energía nucleoelectrica a técnicos que ya poseen una buena formación superior. Esta capacitación empieza con cursos de seis meses en cinco disciplinas: física de reactores nucleares, ingeniería y tecnología de reactores, explotación de reactores, dosimetría y suministro de energía. Además se facilita capacitación práctica con ejercicios adecuados en nuestro reactor de investigación. Estos cursos de seis meses se iniciaron en 1970.

La etapa siguiente es un período de instrucción en la central nuclear de Novovoronezh (Unión Soviética).

La participación directa del personal operador en la construcción y montaje de la central nuclear y en la elaboración de los manuales de explotación constituye un elemento importante de su formación.

La etapa final de la capacitación son los cursos que tienen lugar en los talleres de la central, basados en programas especiales concretas referentes a las actividades concretas propias de los distintos talleres. La enseñanza corre a cargo de ingenieros y físicos búlgaros y de la Unión Soviética. Hay un examen final de aptitud para el trabajo.

El personal operador ha adquirido una valiosa experiencia en los trabajos de puesta en servicio y "rodaje" de la central, laminación en caliente, puesta en marcha de las máquinas y de la producción de energía.

Al mismo tiempo los especialistas efectúan estudios en centros superiores de enseñanza. Se están preparando nuevos programas gracias a los cuales los estudiantes reciben, según su especialidad (física, ingeniería termoeléctrica, electrónica) capacitación adicional al terminar el período normal de instrucción. Además, cada año se envía a cierto número de jóvenes a estudiar en el extranjero (sobre todo en la Unión Soviética).

El personal con estudios técnicos secundarios se especializa durante cuatro años en nuestros institutos técnicos.

La experiencia demuestra que la capacitación de personal muy competente para el desarrollo nucleoelectrico es una cuestión extremadamente importante que no puede resolverse en un breve período de tiempo y que exige los esfuerzos comunes de los distintos países.

Se presta especial atención a la investigación y estudio científicos de los problemas planteados por la energía nucleoelectrica. Por esa razón, en 1972 se creó, en el seno de la Academia Búlgara de Ciencias, el Instituto de Investigaciones Nucleares y de Ingeniería Nucleoelectrica. Actualmente se está organizando una sección industrial y científica en la central nuclear de Kozlodui, así como grupos encargados de problemas concretos en la Dirección de Investigaciones Científicas del Instituto "Energoproekt".

El desarrollo de la República Popular de Bulgaria es inconcebible sin la introducción en gran escala de la energía nucleoelectrica. Al dar cuenta de nuestra primera realización — la terminación del Grupo 1 de la central nuclear de Kozlodui — debemos recordar que ha sido la muy valiosa asistencia científica y técnica prestada por la Unión Soviética la que ha permitido a nuestro país ejecutar esta ambiciosa empresa en cuatro años y tres meses.