

# La cooperación internacional en materia de generación magnetohidrodinámica de electricidad

por Vyacheslav Chernyshev

En los últimos veinte años, las investigaciones y desarrollos en materia de generación magnetohidrodinámica de electricidad han ido acompañados de un considerable aumento de la cooperación internacional. El programa del OIEA sobre la generación magnetohidrodinámica de electricidad se inició en 1966 al apoyar el Organismo la iniciativa de la Agencia para la Energía Nuclear, de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, para que se estableciera un grupo mixto llamado Grupo internacional AEN/OIEA de enlace en materia de generación magnetohidrodinámica de electricidad. Este grupo de expertos de 18 países se ha ocupado del intercambio regular de información científica y técnica relacionada con la generación magnetohidrodinámica de electricidad, y ha colaborado en la búsqueda de soluciones a los diversos problemas tecnológicos y para materializar un cierto número de nociones sobre el diseño.

El Grupo de enlace ha organizado reuniones anuales, ha convocado grupos de expertos sobre diferentes problemas de ingeniería y de tecnología así como conferencias internacionales sobre la generación magnetohidrodinámica de electricidad. Se han celebrado seis conferencias internacionales sobre esta cuestión, la primera de las cuales tuvo lugar en el Reino Unido en 1962 y la sexta en los Estados Unidos de América en 1975. Actualmente se han establecido para la celebración de una séptima conferencia internacional en materia de generación magnetohidrodinámica de electricidad, que se reunirá en 1979. El Grupo de enlace también prepara y publica periódicamente informes de actualización sobre las investigaciones y los desarrollos en esa esfera. El más reciente informe de actualización, publicado en 1977, contiene un examen de los programas nacionales, una evaluación de las orientaciones más prometedoras de las investigaciones y un examen de futuros problemas.

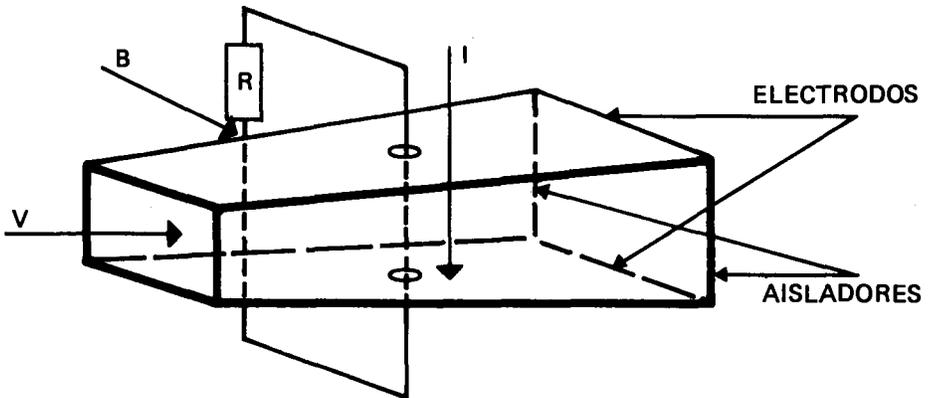
En tales informes, se consignan las informaciones científicas más recientes, destinados tanto a los países industrializados como a los países en desarrollo, sobre los aspectos más importantes y promisoros de la conversión directa de energía mediante sistemas magnetohidrodinámicos. Consciente de ello, el OIEA ha prestado continuo apoyo al Grupo Internacional de enlace aun cuando la AEN no podía hacerlo. En el momento actual, el grupo está patrocinado por el OIEA y la UNESCO.

## Sistemas magnetohidrodinámicos

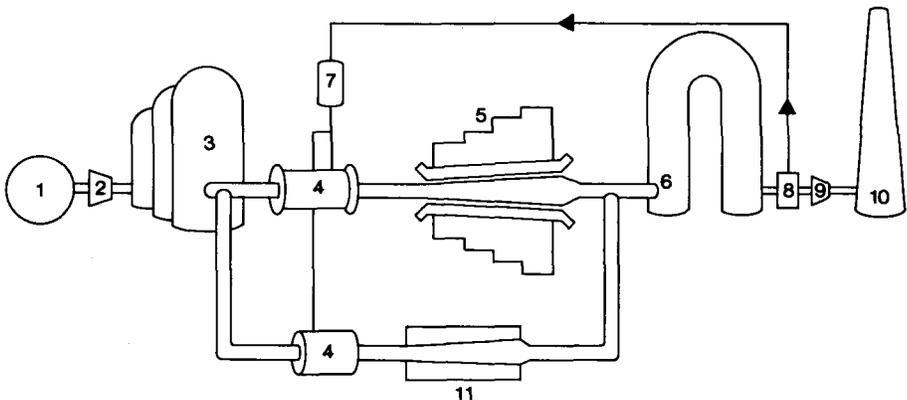
El generador magnetohidrodinámico (MHD) es un convertidor de energía que funciona según el principio de la interacción entre un fluido conductor eléctrico y un campo magnético (véase la Figura 1). Las interacciones de este tipo fueron estudiadas por Faraday a principios del siglo XIX. En sus primeros trabajos sobre la inducción electromagnética en los fluidos, Faraday había pensado en utilizar el campo magnético terrestre para medir el

---

El Sr. Chernyshev es miembro de la División de Energía Nucleoeléctrica y Reactores.



**Figura 1.** Esquema de un canal generador magnetohidrodinámico. El flujo de un fluido conductor eléctrico en un canal magnético induce un campo eléctrico (vector de intensidad  $I$ ), que es perpendicular tanto al vector de velocidad  $V$  del fluido conductor como al vector de campo magnético inducido  $B$ . Durante el paso del fluido por el canal se induce una corriente en el circuito eléctrico con una carga de resistencia  $R$ . La potencia del canal en un campo magnético determinado aumenta con la velocidad y la conductividad del fluido. El fluido puede consistir en gases ionizados o metal líquido y se calienta a alta temperatura antes de entrar en el canal generador MHD. Las fuentes de calor pueden ser combustible fósil o un reactor nuclear.



**Figura 2.** Esquema de la instalación de generación magnetohidrodinámica de electricidad U-25, con un canal de derivación para un sistema de imán superconductor. 1) Fuente de gas natural, 2) Compresor, 3) Precalentador de aire, 4) Cámara de combustión, 5) Generador magnetohidrodinámico, 6) Generador de vapor, 7) Sistema de sembrado, 8) Sistema regenerador del sembrado, 9) Compresor de la chimenea de descarga, 10) Chimenea de descarga, 11) Sistema de imán superconductor.

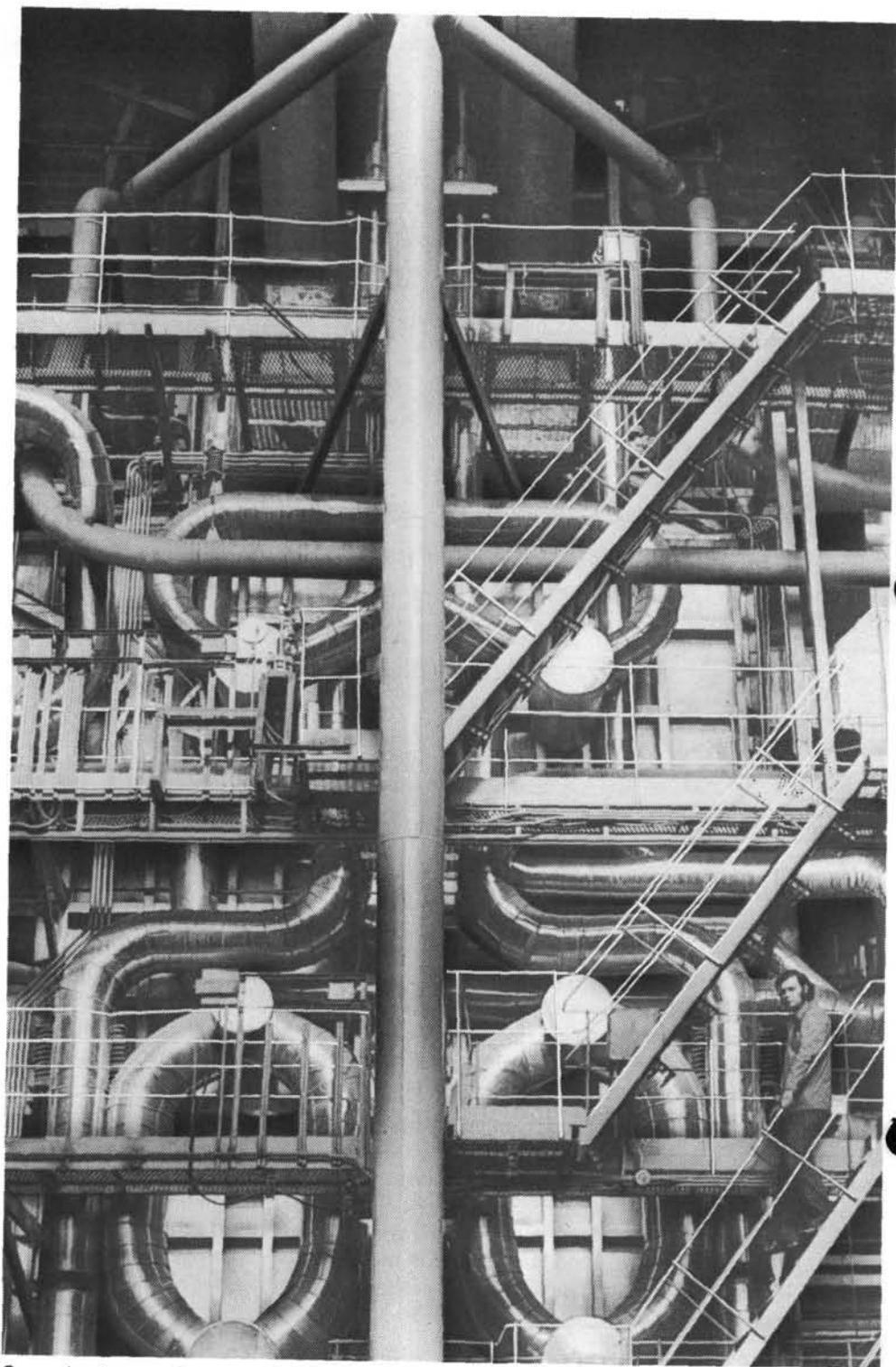


Pre calentador de aire de la instalación U-25 del Instituto de Altas Temperaturas de la Academia de Ciencias de la URSS

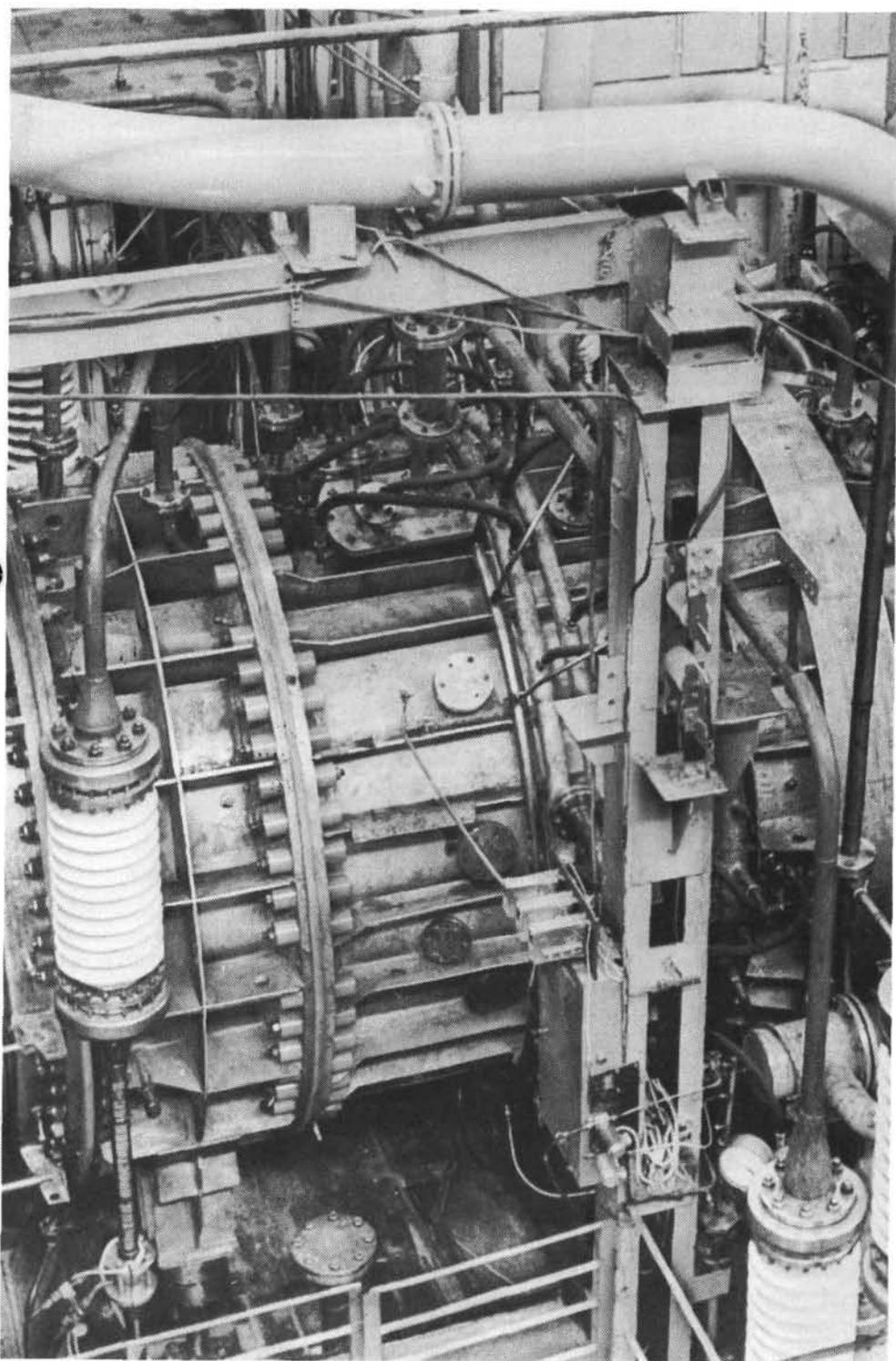
caudal de agua del río Támesis. Sin embargo, se debió esperar hasta el comienzo de los años 60 para que la idea del método magnetohidrodinámico como medio de conversión energética llegase a tener verdadera importancia. Fundamentalmente, un generador MHD es un dispositivo que permite convertir directamente en electricidad la energía térmica. Existen tres tipos de ciclos magnetohidrodinámicos: el ciclo abierto, el ciclo cerrado y el metal líquido.

En el ciclo abierto, los productos de combustión de combustibles fósiles, sembrados de manera de mejorar su ionización, se liberan en la atmósfera después de pasar por el sistema MHD. El ciclo cerrado presupone la circulación continua en un circuito cerrado del gas activo. En este caso, la fuente de calor puede ser un reactor de alta temperatura refrigerado por gas y se puede utilizar como fluido activo un gas inerte sembrado. El sistema MHD de metal líquido puede utilizar como fluido activo el metal líquido de un reactor de neutrones rápidos. La principal dificultad de cada sistema reside en que es necesario crear una circulación de líquido a una velocidad bastante elevada.

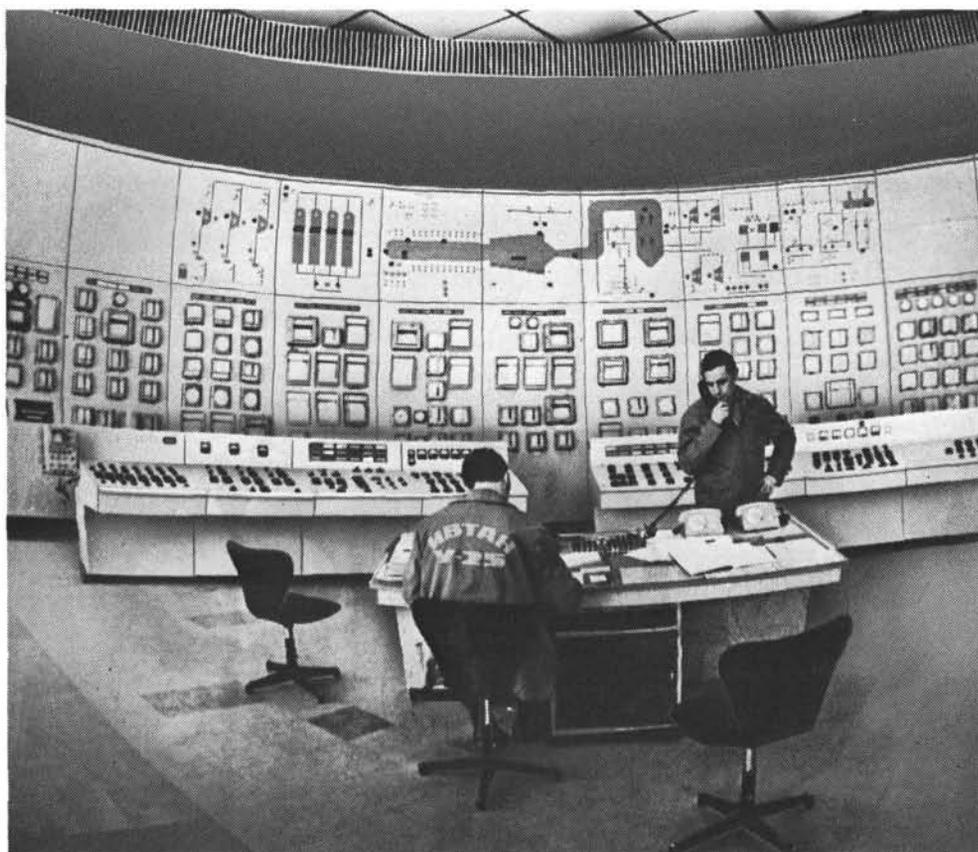
Desde el punto de vista físico y técnico, la posibilidad de emplear un sistema MHD en un ciclo cerrado de metal líquido ha sido sólidamente establecida. Sin embargo, no se ha



Generador de vapor de la instalación U-25.



Cámara de combustión de la instalación U-25.



Tablero de control de la instalación de generación magnetohidrodinámica de electricidad U-25.

desarrollado todavía la posibilidad de utilizar en la misma medida estos ciclos en centrales eléctricas de gran escala que los sistemas de ciclo abierto.

Una evaluación de los desarrollos experimentados por la generación eléctrica en los países más adelantados del mundo indica que en los próximos años (hasta el año 2000) la mayor parte de la electricidad que consumamos será producida por las centrales tradicionales a base de combustible orgánico. En la medida en que el costo de combustible en la hora actual representa el 50–55% del de la producción total de la generación eléctrica (y tiende a aumentar), uno de los problemas más importantes de la tecnología de la generación de electricidad es mejorar la eficiencia térmica de las centrales generadoras, reduciendo al mismo tiempo las descargas térmicas en el medio ambiente.

Desde el punto de vista, la generación magnetohidrodinámica de electricidad se presenta como uno de los métodos más prometedores para convertir directamente la energía térmica en electricidad y ha de ayudar de esa manera a mejorar la viabilidad económica de las centrales termoeléctricas. Se calcula que la primera generación de centrales magnetohidrodinámicas para la generación de electricidad tendrá una eficacia cercana al 50%, en tanto que la segunda generación podrá lograr un 60%. Se estima que, aun en la etapa de la puesta en servicio de la primera generación de centrales MHD, el consumo de combustible se podría reducir en un 20–30% y el consumo de agua como refrigerante podría disminuir en un factor de 1,5 en comparación con las centrales termoeléctricas normales.

## Las instalaciones magnetohidrodinámicas U-25

A principios de los años 70, el Instituto de Altas Temperaturas de la Academia de Ciencias de la URSS construyó la primera gran instalación piloto MHD, designada U-25, que con todo éxito alimentó la red de distribución eléctrica de Moscú. La instalación U-25 (véase la Figura 2) incorpora todas las principales características de las futuras centrales industriales que utilizarán el generador magnetohidrodinámico.

El combustible escogido para la instalación U-25 es el gas natural. La combustión se hace en una atmósfera enriquecida en oxígeno, recalentada a 1200°C. Para mejorar la conductividad del plasma, se utiliza el sembrado con un metal alcalino que se introduce en la cámara de combustión. La circulación del plasma, que alcanza una temperatura superior a 2500°C, crea una corriente eléctrica en el canal del generador MHD dentro del campo de un electroimán. Un invertidor convierte la corriente continua del generador MHD en corriente alterna. Una computadora controla la instalación.

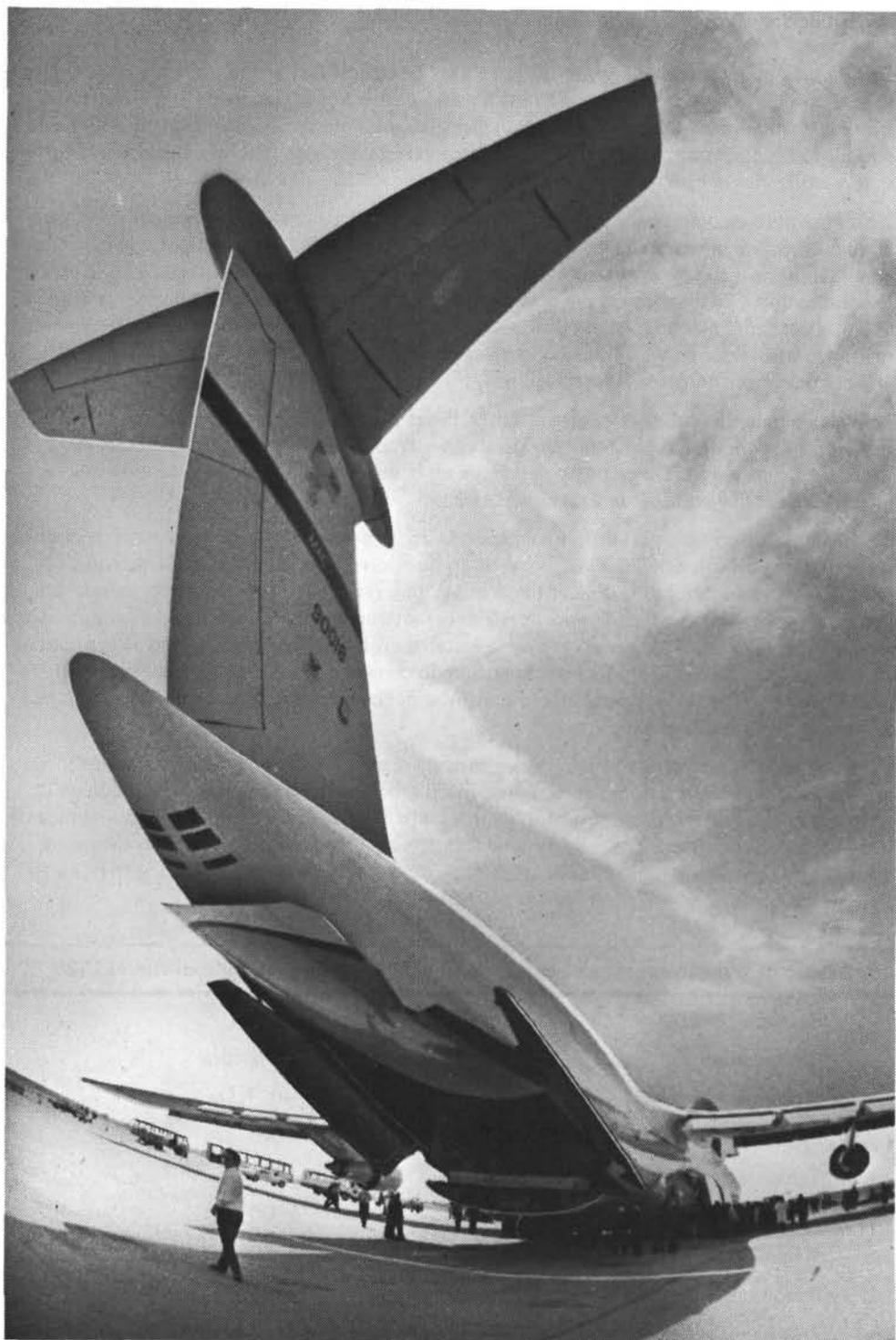
Después de haber pasado por el generador MHD, el plasma transmite su calor a un generador de vapor y el vapor hace funcionar un sistema generador secundario. Antes de que el plasma, una vez perdido el calor, se descargue en la atmósfera, se extrae la semilla que vuelve a inyectarse en la cámara de combustión.

En la cámara de combustión de la instalación U-25, la carga térmica de la cámara de circulación alcanza un valor de  $70 \times 10^6$  kcal/m<sup>3</sup>h, que corresponde aproximadamente a un valor 300 veces superior al que se obtiene en las mejores calderas de vapor modernas. La cámara de combustión del generador MHD se caracteriza porque funciona con un potencial sumamente elevado: 5 kW en el caso de la instalación U-25. En la actualidad se prosiguen los trabajos para determinar el tipo más adecuado de generador MHD para la instalación U-25 a fin de lograr un funcionamiento continuo del canal durante un prolongado período de tiempo a valores nominales.

Ya se han satisfecho los principales parámetros de diseño del U-25 (véase el Cuadro 1). La amplia gama de investigaciones realizadas con esta instalación ha hecho posible, aun en la etapa actual, comenzar la construcción de una central generadora magnetohidrodinámica de 500 MW con fines industriales. Cabe señalar que, para una producción en gran escala, las centrales de generación magnetohidrodinámica, de electricidad pueden funcionar en condiciones de carga mínima, intermedia o de pico.

**Cuadro 1: Principales características de la instalación magnetohidrodinámica U-25**

— Potencia (MW)	20,4
— Combustible	gas natural
— Oxidante	aire + O <sub>2</sub>
— Enriquecimiento de oxígeno (% del volumen)	45
— Temperatura del aire precalentado (°C)	1250
— Temperatura de entrada (°C)	2600
— Régimen de circulación másica (kg/\$)	50
— Razón del sembrado y el peso total del gas (%)	1
— Presión de admisión (atmósferas)	3,5
— Velocidad de la circulación (m/s)	1000



Avión "Galaxy C5" de la U.S. Air Force en el aeropuerto de Sheremetyevo (Moscú) en el momento de entregar el imán superconductor construido por el Argonne National Laboratory.

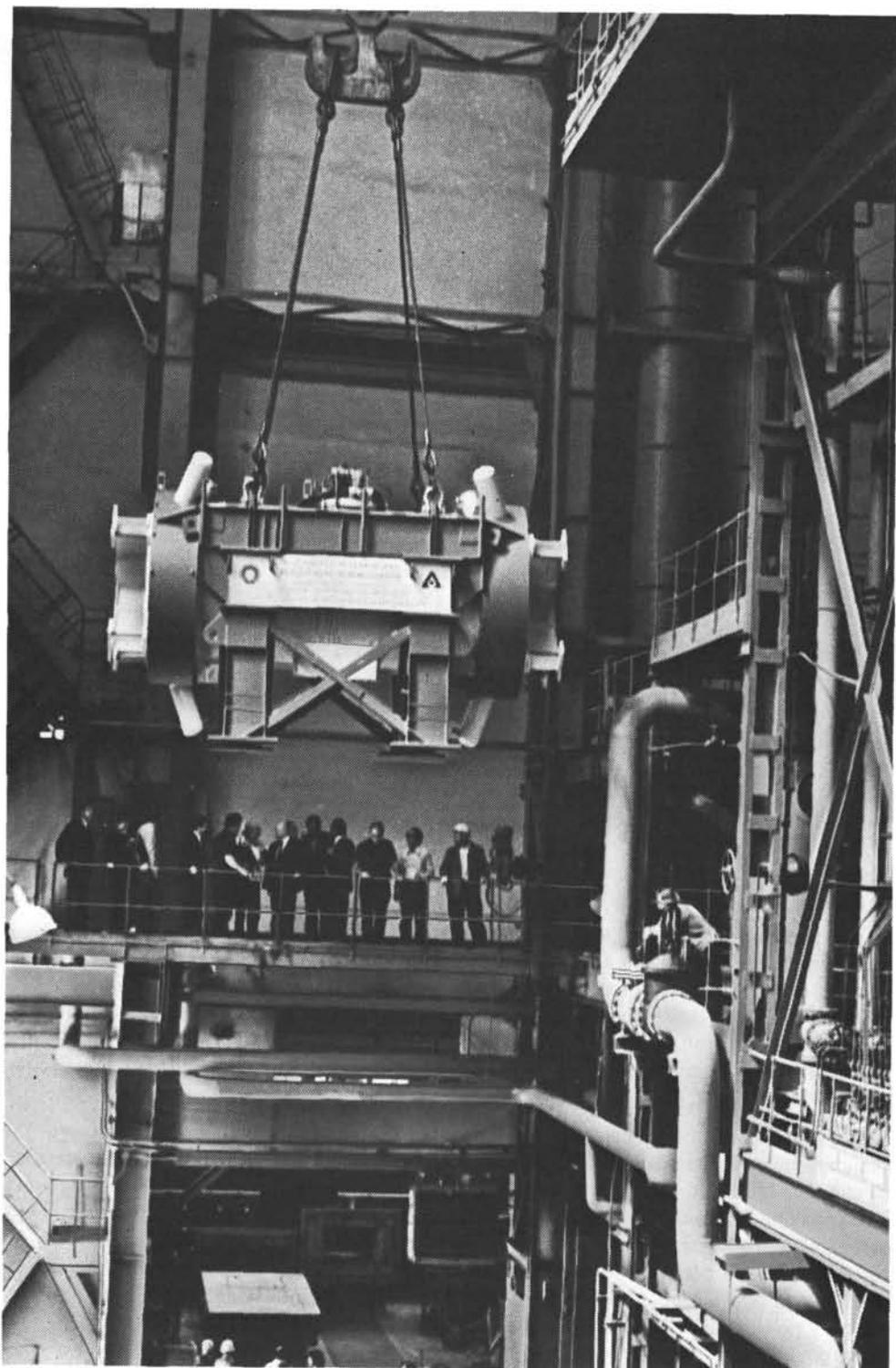


Entrega del imán superconductor a la instalación de generación magnetohidrodinámica de electricidad U-25.

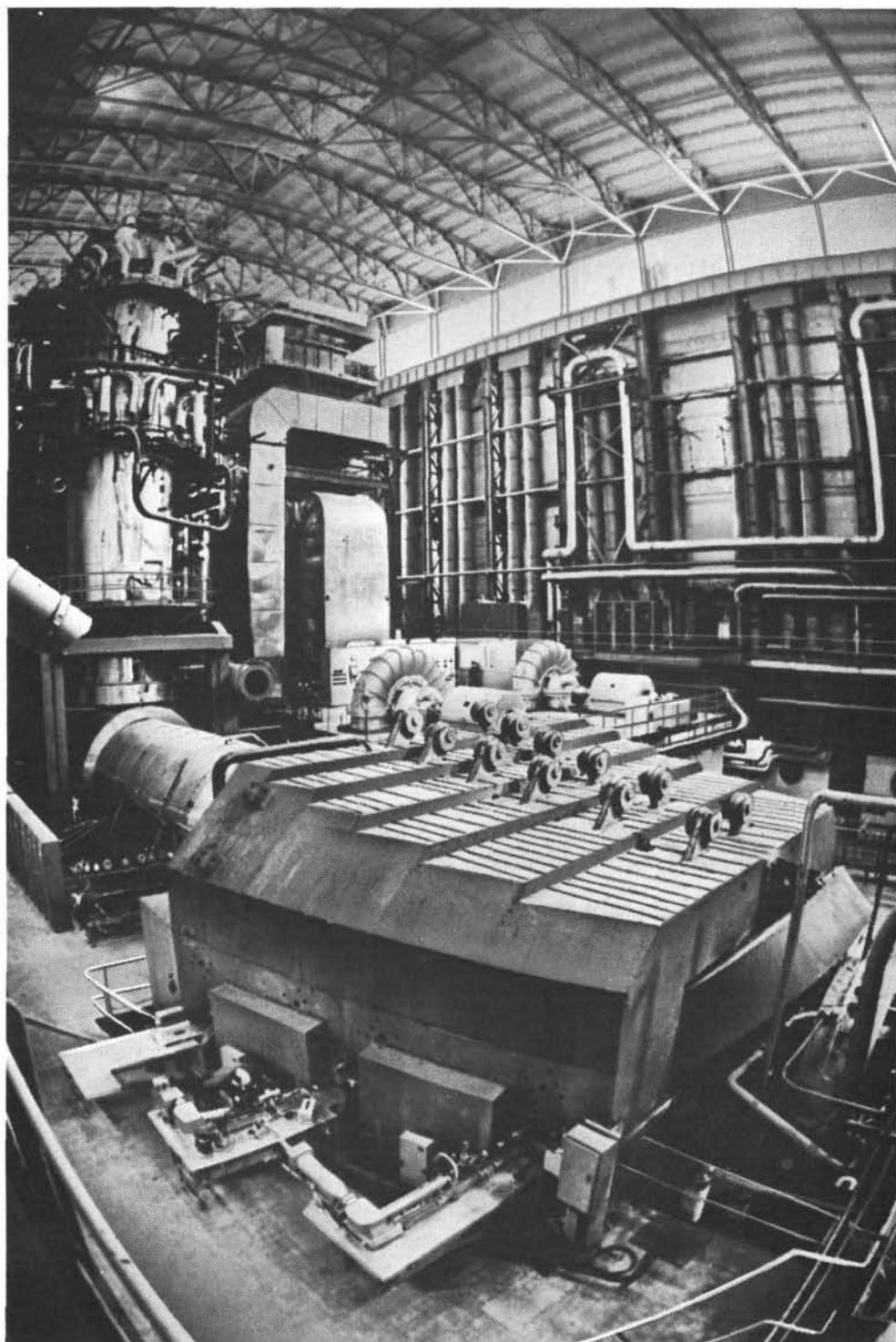
### Cooperación internacional

Se pueden citar numerosos ejemplos de cooperación internacional en la esfera de la generación magnetohidrodinámica de electricidad. Uno de ellos es el acuerdo de cooperación firmado entre el Instituto de Investigaciones Nucleares de Polonia y el Centro de Investigaciones Nucleares de Saclay, de Francia, que permitió la construcción de un calentador de aire de gran temperatura (hasta  $1200^{\circ}\text{C}$ ). Un acuerdo bilateral sobre la construcción de un sistema de gasificación de carbón se firmó recientemente entre Polonia y los Estados Unidos de América.

Existe un programa de cooperación multilateral en materia de generación magnetohidrodinámica de electricidad entre países socialistas dentro del marco del Consejo de Asistencia Económica Mutua (CAEM). El gobierno de la India, con el apoyo de la URSS, ha decidido construir una instalación de investigaciones térmicas de hasta 15 MW de potencia para estudiar los problemas técnicos que entraña el sistema MHD de ciclo abierto basado en la gasificación de carbón. Un buen ejemplo del desarrollo de la cooperación internacional establecido gracias al Grupo de enlace MHD es el programa conjunto soviético-americano sobre diseño y construcción de centrales generadoras MHD industriales; esta labor se viene desarrollando fructíferamente desde 1974. Precisamente debido a que la instalación U-25 dispone de todos los elementos principales de una central industrial MHD, ofrece a los expertos americanos la oportunidad de ensayar los componentes MHD en condiciones de



Instalación del imán superconductor en el canal de derivación de la instalación U-25.



Instalación piloto de la central soviética de generación magnetohidrodinámica de electricidad U-25. En primer plano se ve el sistema magnético de 2000 toneladas instalado en el circuito del primer canal.

**Cuadro 2: Principales características del gran sistema de imán superconductor construido por el Argonne National Laboratory para el circuito de derivación de la instalación U-25**

Dimensiones: Admisión caliente 7,40 cm de diámetro; Salida caliente – 60 cm de diámetro; Longitud total – 4,2 m

Máximo  $H_0/H$  del campo magnético:  $\frac{6,3 \text{ T}}{5 \text{ T}}$

$I$  (conductor)/ $I$  (general):  $\frac{4,2 \times 10^3 \text{ A/cm}^2}{2,6 \times 10^3 \text{ A/cm}^2}$

$E = 20 \times 10^6 I$

Flujo térmico ( $W_s$  ( $W/cm^2$ )): 0,83

Volumen de helio/volumen del conductor: 0,36

funcionamiento. Por su parte, los expertos soviéticos se interesan en el estudio de componentes de centrales MHD de diseño americano, especialmente los relacionados con los sistemas de grandes imanes superconductores y el funcionamiento de generadores MHD que queman carbón.

La instalación en 1977 de un sistema de imán superconductor en un canal de derivación de la instalación U-25 constituyó un gran progreso en el programa conjunto de cooperación URSS—Estados Unidos. El imán superconductor bipolar construido en el Argonne National Laboratory fue transportado a la URSS por avión (véanse las fotografías). Las características principales del imán figuran en el Cuadro 2.

En los años venideros, los planes para el estudio conjunto Soviético-americano comprenden gran número de problemas relativos al generador magnetohidrodinámico que utiliza campos magnéticos y eléctricos de gran intensidad (campos eléctricos de hasta 3 KV/m, con una inducción magnética de hasta 5 T). El resultado de estas investigaciones tendrá particular importancia para el diseño y el perfeccionamiento de los principales componentes de los generadores MHD que se han de utilizar en las centrales generadoras industriales.

### Conclusion

La actividad a largo plazo del Grupo internacional de enlace en materia de generación magnetohidrodinámica de electricidad, patrocinado por el OIEA y la UNESCO, junto con los diferentes programas de investigación y de ingeniería relativos a la cooperación internacional para el desarrollo de los sistemas magnetohidrodinámicos, ponen de relieve las enormes posibilidades que presenta esta tecnología para la generación de energía eléctrica en el futuro.