

fusión: fase de desarrollo alcanzada

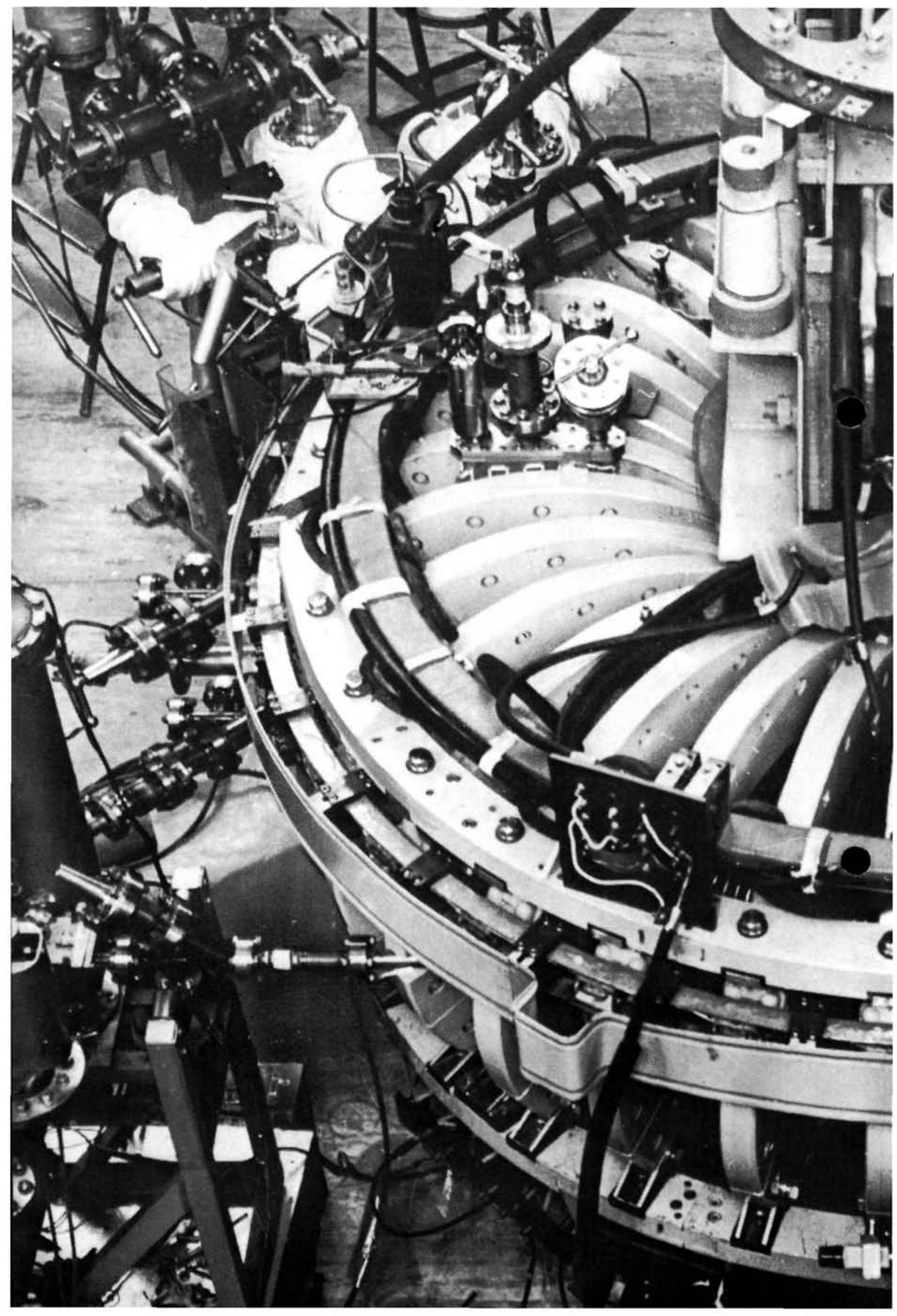
En el pasado mes de junio se reunieron en Madison (Wisconsin) más de 500 científicos de 24 países y tres organizaciones internacionales, para asistir a la cuarta Conferencia sobre investigaciones en materia de física del plasma y fusión nuclear controlada. Durante los cinco días de la reunión se presentaron 141 memorias, 49 por separado y 92 agrupadas en 31 ponencias; no contenían ninguna novedad espectacular, pero, según palabras del Secretario Científico de la Conferencia, «ponían de manifiesto los continuos progresos logrados en la producción, contención y calentamiento de plasma de alta temperatura».

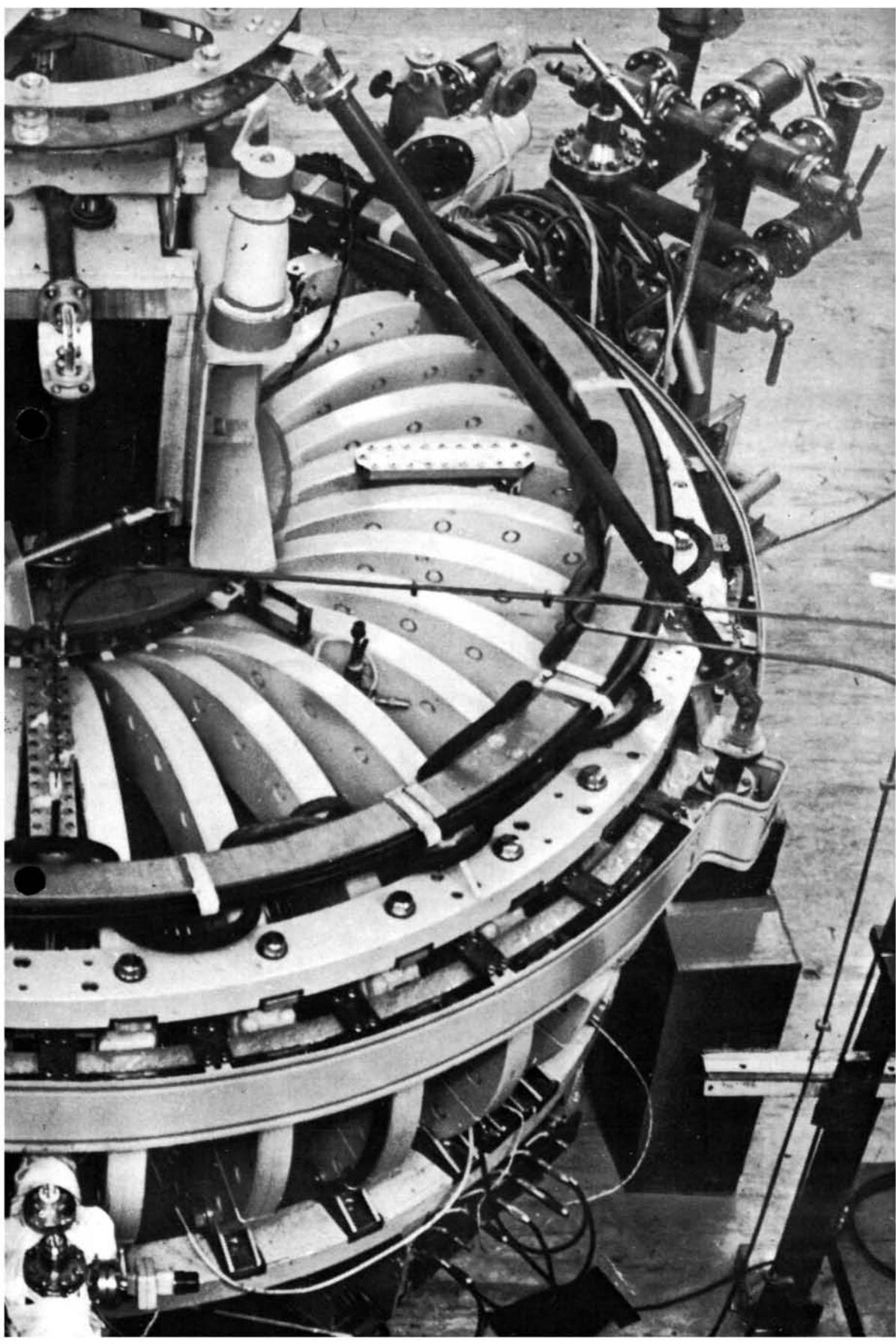
El objetivo de las investigaciones en cuestión es en definitiva demostrar la posibilidad de construir un reactor de fusión — aparato termonuclear que genera más energía, por reacción de fusión nuclear controlada, que la que consume el sistema utilizado para contener el plasma. Difieren ampliamente las estimaciones relativas al tiempo que se necesitará aún para alcanzar esta meta, y quizá lo mejor sea abstenerse en absoluto de citar cifras concretas, pero, aún así, puede decirse que el estado de ánimo de los participantes en la conferencia era prudentemente optimista.

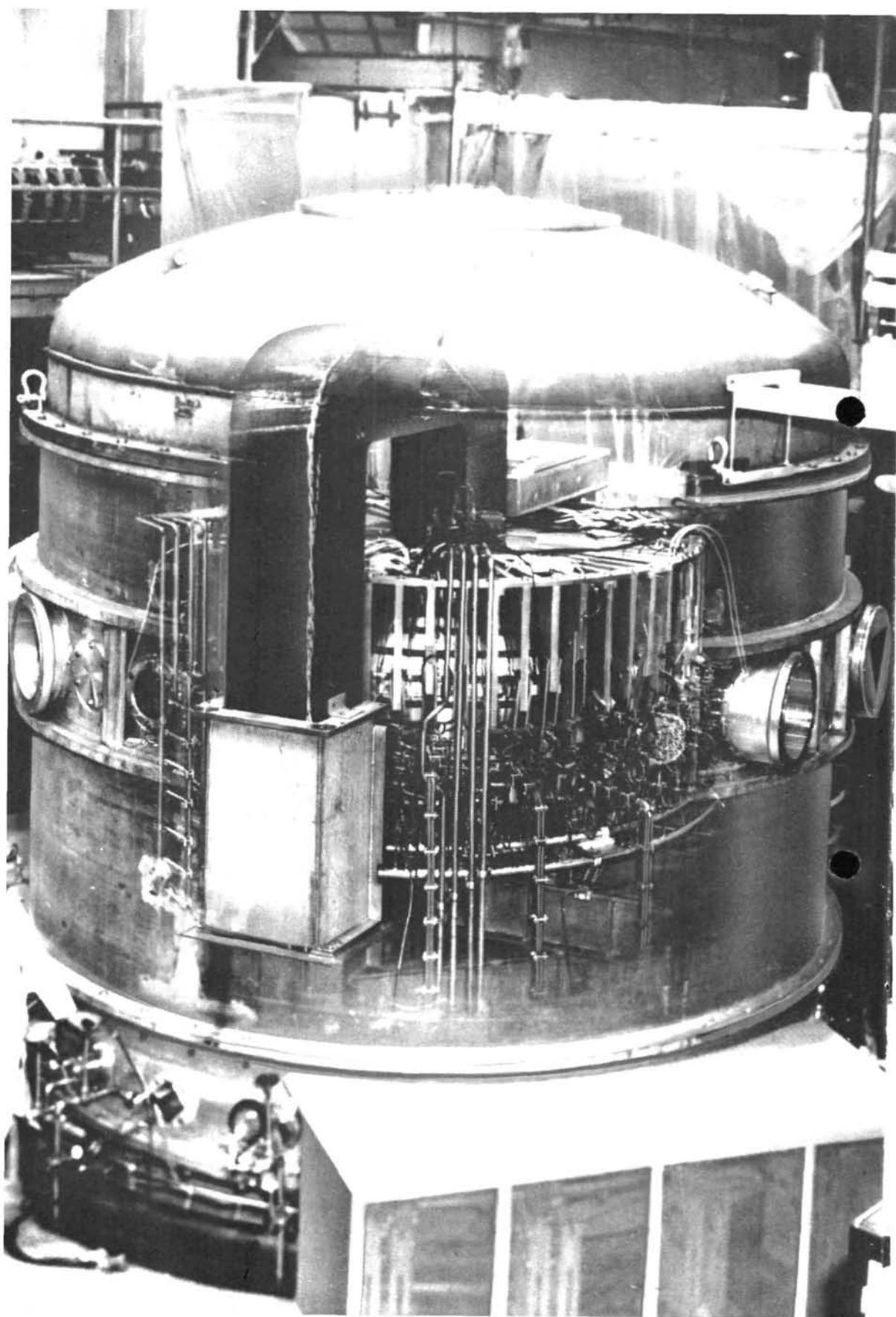
Hubo tres disertaciones de recapitulación. El Dr. T. K. Fowler (Estados Unidos) pasó revista a las consideraciones teóricas dadas a conocer, el Dr. R. J. Bickerton (Reino Unido) a los trabajos experimentales, y el Prof. H. K. Forsen (Estados Unidos) a los sistemas posibles de reactor. Según palabras del Dr. Fowler: «Al tratar de resumir mis impresiones sobre esta conferencia, llegué a la conclusión de que quizá lo más importante era el hecho de que se trata de la primera conferencia de fusión del OIEA con toda una sesión dedicada a sistemas de reactor de fusión. Tal vez se recordará esta conferencia como una especie de fiesta de compromiso matrimonial entre la contención del plasma y los reactores de fusión.

Fotografía en la página siguiente:

El Tokamak T-6, una de las máquinas experimentales de grandes dimensiones que utiliza la Unión Soviética en las investigaciones sobre la fusión. Foto: URSS







«Sin duda había momentos en que ambos nos parecían casi desconocidos, pero esto cambiará, porque hemos traído valiosos presentes a esta fiesta. Consideremos el gran número de experiencias dadas a conocer en las que se está a punto de alcanzar las altas temperaturas y densidades que son la clave del verdadero problema ... El grado de desarrollo teórico alcanzado es tal que se plantean cuestiones cruciales a las que pueden responder estos experimentos ... Incluso aunque al principio algunas respuestas sean decepcionantes, confío que pronto estaremos en vías de construir un reactor de fusión.»

En líneas generales, tienen que cumplirse dos condiciones fundamentales para demostrar la viabilidad de un auténtico reactor de fusión. En primer lugar, es preciso generar un plasma y mantenerlo a una temperatura del orden de 50 a 500 millones de grados Kelvin. En segundo lugar, hay que contener este plasma durante un tiempo suficiente para que se satisfaga el llamado «criterio de Lawson» — a saber, que el producto de la densidad del plasma por el tiempo de contención sea superior a un valor de 10^{14} iones-segundo por centímetro cúbico. La contención del plasma, cuya temperatura es muy elevada, se consigue generalmente mediante campos magnéticos que forman, en un tipo de máquinas, trampas cerradas y, en las máquinas de otro tipo, trampas abiertas. En el primer tipo, el plasma se contiene por lo general en un espacio anular para impedir su fuga a lo largo de las líneas del campo magnético; en el segundo, el plasma está contenido en una zona del campo, pero puede escapar por los extremos del espacio de contención a menos que se tomen otras medidas para evitarlo.

Máquinas de tipo Tokamak y otras

La mayor parte de las memorias presentadas en esta conferencia trataban de sistemas cerrados de contención. La teoría de la contención del plasma y de los procesos de transporte en una geometría toroidal es compleja y no existe una sola teoría general que explique todos los resultados experimentales. Ahora bien, las teorías especiales para dispositivos o regímenes de plasma particulares, se están perfeccionando constantemente y la influencia recíproca de la teoría y los experimentos es cada vez mayor. Las memorias presentadas en la conferencia dieron a conocer aumentos de la densidad, temperatura y tiempo de contención del plasma superiores a los anunciados en la conferencia anterior de la serie, celebrada en Novosibirsk (URSS) en 1968.

Cuatro de los sistemas que se están estudiando parece que son de un interés singular desde el punto de vista de sus perspectivas para la realización del reactor de fusión. Ocupan el primer lugar las máquinas del tipo llamado Tokamak. Se trata de dispositivos pulsátiles en los cuales el plasma en forma de anillo está contenido por un campo magnético generado por una corriente inducida que fluye a su alrededor. Los resultados obtenidos con las grandes máquinas Tokamak en funcionamiento en Kurchatov (URSS) y en Princeton (Estados Unidos) muestran valores similares de la densidad de partículas (10^{14} por centímetro cúbico), temperatura electrónica (hasta 30×10^6 K), temperatura iónica (5 a 6×10^6 K) y tiempo de contención (20 milisegundos), en condi-

Este fotomontaje muestra el interior y el exterior del Ormak, dispositivo para la contención toroidal de un plasma. Análogo al Tokamak, el Ormak ha sido construido en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge. Foto: ORNL

ciones óptimas. Una memoria de interés singular, presentada por Kadomtsev y Shafranov (URSS) trataba de la posibilidad de lograr el funcionamiento estable de un Tokamak utilizando la corriente que circula alrededor del anillo, debida a la interacción de la difusión radial del plasma y el campo magnético. Esta idea, dada a conocer también recientemente por Bickerton y col. (Reino Unido), se considera que constituye un avance importante en la teoría del Tokamak. Los otros tres sistemas cerrados de contención que se están estudiando más activamente son los dispositivos en los que el plasma se halla retenido en una estricción difusa, los esteleradores y aparatos afines en los que, en contraste con los Tokamak y las estricciones difusas, no hay una corriente neta en el anillo del plasma, y las máquinas de «estricciones azimutales» toroidales, la más representativa de las cuales para los fines de este artículo quizá sea la gran máquina Scyllac del Laboratorio Científico de Los Alamos, en la que un campo magnético helicoidal se superpone al campo básico longitudinal del toro. Este dispositivo funcionó por primera vez brevemente antes de la conferencia, y produjo plasma estable de temperatura y densidad elevadas durante períodos cortos, del orden de unos cuantos microsegundos.

Aparatos derivados de la botella magnética

Se sabe desde hace algunos años que el plasma en sistemas de pozo magnético, dispositivos abiertos de contención llamados antes botellas magnéticas o máquinas de espejos, es macroscópicamente estable. La conferencia de Madison puso de relieve que la investigación se concentra actualmente en los mecanismos de pérdidas y en las microinestabilidades que sobrevienen al formarse el plasma. Estos ingenios pueden contener plasma muy caliente ($10 - 100 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$) a densidades relativamente bajas (del orden de $10^{12} - 10^{13}/\text{cm}$); son probablemente los mecanismos de contención mejor conocidos.

Algunas memorias trataban de diversos aspectos de sistemas hipotéticos de reactor basados en aparatos existentes, Tokamak, esteleradores, trampas abiertas, etc. Hay que resaltar que, por ahora, tales memorias enfocan muchas de las cuestiones desde un punto de vista meramente hipotético, pero los resultados que se están obteniendo son prometedores. En una charla de recapitulación, el Dr. Bickerton señaló que «los avances más apasionantes se habían producido en las investigaciones del Tokamak. El grupo de Princeton ha confirmado los resultados anteriores de los rusos, mientras que estos han conseguido temperaturas aún más elevadas con corrientes de plasma mayores». Después de la conferencia de Novosibirsk algunos laboratorios empezaron nuevos estudios y, en particular, se proyectaron varios Tokamak grandes que se están construyendo ahora. El Dr. Bickerton comentó que «en la actualidad, dicho de la manera más simple, el progreso futuro parece depender sólo de que aumente la corriente en el gas y de aplicar métodos auxiliares de calentamiento. Pueden aparecer barreras infranqueables en este risueño camino hacia el triunfo; no obstante, solamente recorriéndolo se verá si tales barreras existen o no».

Coordinación y colaboración

Las «barreras en el risueño camino», como dijo el Dr. Bickerton, pueden existir, pero la realidad es que la conferencia de Madison ha venido a demostrar precisamente que apenas existen barreras entre los

científicos de todo el mundo. En particular, se aprovechó la oportunidad que brindaba la conferencia para celebrar la primera reunión del Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión, constituido para estudiar la planificación a largo plazo y la cooperación internacional en materia de fusión. En reuniones futuras el Consejo examinará en detalle los programas nacionales de investigación y posiblemente sugerirá la iniciación de proyectos internacionales.

Como se ha indicado con anterioridad, ha aumentado la frecuencia de publicación de la revista del OIEA *Fusión Nuclear*, que es ahora de seis ejemplares por año. Esto, y la extensión de su ámbito a los aspectos tecnológicos de la fusión, se considera que ha aumentado considerablemente su importancia. Se piensa incluir en un próximo ejemplar un artículo que reseñe los trabajos de la Conferencia de Madison.

La conferencia fue patrocinada por el OIEA y se organizó en cooperación con la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos y con la Universidad de Wisconsin, que invitó a la reunión. Las conferencias anteriores de esta serie tuvieron lugar en 1961 en Salzburgo (Austria), en 1965 en Culham (Reino Unido), y en 1968 en Novosibirsk. Se espera que dentro de pocos meses se publiquen las actas de la conferencia de Madison.