

Hacia un reactor de fusión nuclear controlada

por R.S. Pease

Recientemente se han alcanzado en la Universidad de Princeton (Estados Unidos de América) temperaturas del plasma del orden de 60 millones de grados Kelvin en una instalación experimental de fusión de las llamadas tipo tokamak. Esto supone un notable adelanto con respecto a las temperaturas (de unos 25 millones de grados) alcanzadas hasta ahora tras muchos años de investigación. En otros tokamaks se han logrado hace poco valores nunca conseguidos de aislamiento térmico. En consecuencia, son buenas las perspectivas de alcanzar las temperaturas y el aislamiento térmico necesarios para la producción de energía eléctrica. ¿Qué nos falta para lograr la electricidad generada por fusión nuclear controlada?

En la última década se han dedicado esfuerzos crecientes al estudio de las formas que podría adoptar un reactor termonuclear productor de electricidad, así como de los diversos problemas técnicos que habrá que resolver. Se han elaborado y estudiado muchos proyectos teóricos de reactores termonucleares y se han propuesto a grandes rasgos soluciones para la mayoría de los problemas. Pueden distinguirse tres clases principales de reactores, basados todos en la reacción de núcleos de deuterio y de tritio que da por resultado un núcleo de helio y un neutrón de 14,1 MeV ($D + T \rightarrow {}^4\text{He} + n + 17,6 \text{ MeV}$). El deuterio se obtiene fácilmente a partir del agua ordinaria mientras que el tritio se genera en una zona fértil circundante de litio.

En primer lugar están los denominados reactores de quemado discontinuo, en los que se introduce una carga de combustible que se calienta y se hace reaccionar quemándose. Después se evacuan por bombeo los productos de reacción y se introduce una nueva carga de combustible para repetir el proceso. Ejemplo de un modelo de esta naturaleza es el reactor de fusión por láser, aunque también se basan en este sistema algunos modelos de confinamiento magnético.

Un segundo tipo es el llamado reactor multiplicador de energía, siendo el ejemplo más conocido la máquina de espejos magnéticos. En este caso el deuterio y el tritio se inyectan con elevada energía, se mantienen en una trampa magnética el tiempo suficiente para obtener un balance energético positivo mediante la reacción de fusión, y se eliminan posteriormente a lo largo de las líneas de fuerza que atraviesan los espejos magnéticos. El factor de multiplicación de la energía debe ser superior a 10 aproximadamente para que este sistema tenga probabilidades de éxito.

Finalmente existen los sistemas basados casi exclusivamente en campos magnéticos toroidales, que son de corriente continua o cuasi continua. El combustible frío se inyecta en un plasma ya en combustión y los productos de reacción y el plasma agotado se evacuan mediante un deflector magnético.

Se han realizado un número considerable de estudios sobre los reactores de este tipo, en particular sobre los basados en la geometría del tokamak. Debido a la corriente inducida para calentar y contener el plasma, estos sistemas se proyectan generalmente como de

El Dr. Pease es Director del Culham Laboratory del Reino Unido y Presidente del Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión del OIEA.

corriente cuasi continua, es decir, con tiempos de quemado de 1000 segundos aproximadamente. Teóricamente existen posibilidades de conseguir tokamaks de corriente estrictamente continua, pero hoy día se poseen pocas pruebas experimentales que apoyen estas ideas.

En general todos estos reactores son grandes, normalmente su potencia es de varios gigavatios (térmicos), y evidentemente son adecuados solo (como casi todos los sistemas de fusión) para la generación centralizada de electricidad en gran escala. El tamaño de las máquinas es aproximadamente el doble del de los mayores tokamaks actualmente en construcción. El aumento de las dimensiones se debe principalmente al espesor de las zonas fértiles. Estas tienen que ser lo suficientemente gruesas para frenar y absorber los neutrones con el fin de transformar su energía cinética en calor y generar tritio. Tras la zona fértil hay que instalar además un blindaje para proteger las bobinas magnéticas superconductoras frente a la irradiación neutrónica.

NATURALEZA DE LOS PROBLEMAS

Se han enumerado en muchas ocasiones los diferentes problemas de ingeniería y tecnología que plantean los reactores de fusión controlada. Existen soluciones, al menos en líneas generales, para todos estos problemas. Las principales incertidumbres son probablemente las relativas a la física de los plasmas que reaccionan, a los medios de recarga del combustible y de evacuación de los productos de reacción, al mantenimiento de una elevada pureza, y al logro de componentes de larga vida útil, dadas las reacciones (n, α) inducidas en la mayoría de los materiales de construcción por los neutrones de 14 MeV.

Pero el problema más importante no es tal vez hallar soluciones para cada una de las cuestiones tecnológicas en particular, sino el hecho de que para realizar un reactor de fusión controlada tenemos que conseguir soluciones compatibles para todos los problemas. Hay que combinar tres disciplinas principales hasta ahora un tanto aisladas, la física del plasma y la tecnología conexas, la ingeniería electromecánica y la ingeniería nuclear. Por ello es mi opinión que, en una primera etapa, es necesario tratar de construir una central experimental, de preferencia generadora de electricidad, que servirá para comprobar si se pueden o no resolver todos estos problemas de un modo compatible. Existen buenas perspectivas para que los tokamaks actualmente en construcción produzcan decenas de megavatios de calor de fusión a principios de los años ochenta, y aunque de ningún modo ha de darse por descontado tal resultado, debemos de todas formas estar preparados para sacar provecho de él si se consigue. En este caso, la próxima cuestión importante a la que hay que dar respuesta, en la esfera de la ingeniería nuclear, es la de si la fusión nuclear controlada puede servir para generar con continuidad grandes cantidades de energía eléctrica.

Se han realizado una serie de estudios generales de posibles reactores experimentales tipo tokamak, principalmente en los Estados Unidos y en Italia. Tal vez convenga aclarar que estos estudios se han hecho sin ninguna perspectiva de construcción inmediata de los reactores. Y, en efecto, mi recomendación se limita por ahora a encarecer la realización de intensos estudios teóricos para establecer las bases de dicha central. Ahora bien, el Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión (CIIF) del OIEA ha afirmado, en su informe de 1977 al Director General sobre el estado de la fusión, que la situación ha madurado lo suficiente para acometer con brío el problema de la fusión. Mi opinión es que la pronta construcción de un generador experimental de electricidad podría resultar el método más directo y económico de ataque. Pueden servirnos de estímulo en esta audaz empresa las realizaciones de la ingeniería nuclear en los primeros tiempos del desarrollo de la producción de energía por fisión.

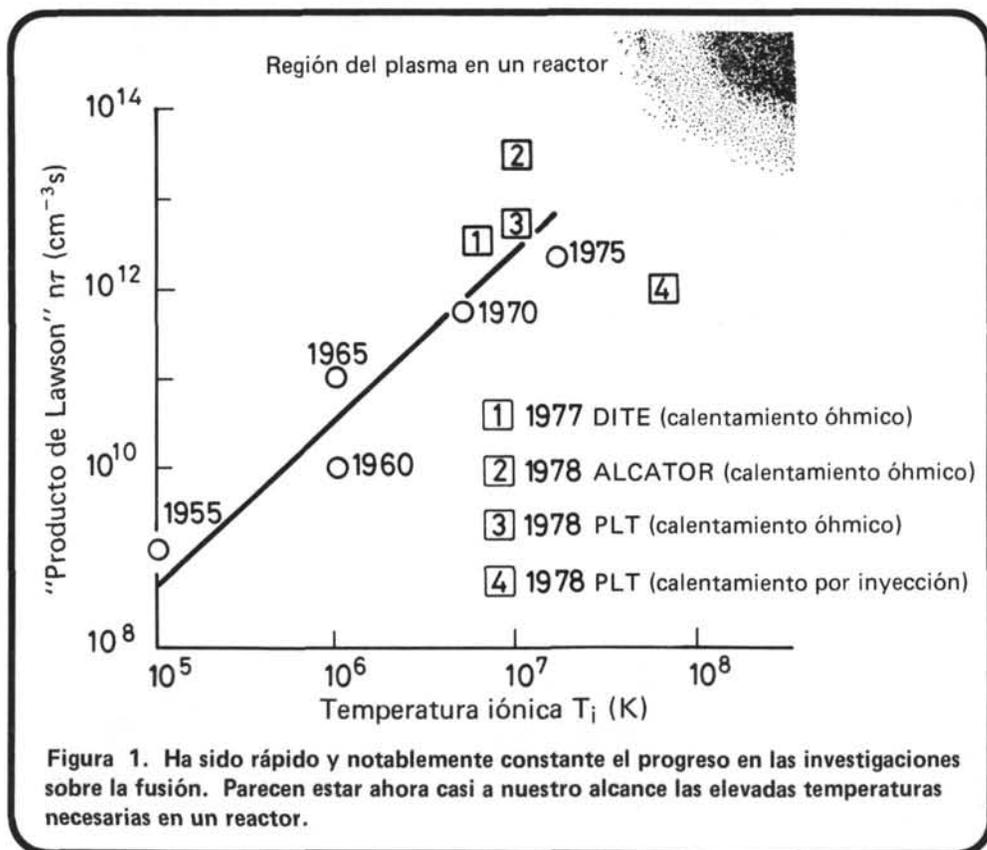
En la década de 1950—1960 se hicieron demostraciones prácticas de las nuevas aplicaciones principales de la energía nuclear de fisión para la producción de energía, sin embargo,

en 1950 hacía falta una cierta confianza para predecir que en 1960 los reactores de fisión estarían produciendo fluido para las compañías eléctricas y que estarían en funcionamiento también en buques y submarinos.

COOPERACION INTERNACIONAL

Naturalmente, el OIEA tiene en especial la responsabilidad de fomentar la cooperación para el desarrollo de la energía nuclear con fines pacíficos. Pero desearía aprovechar esta oportunidad para rendir homenaje a la eficacia del OIEA, bajo la dirección del Dr. Eklund, en la tarea de fomentar la cooperación internacional en las investigaciones sobre fusión nuclear controlada. En mayo de 1978, tras el informe sobre el estado de la fusión nuclear controlada de 1977, el CIIF se reunió para formular nuevas recomendaciones. En particular, nuestros colegas soviéticos formularon concretamente la propuesta de que "el próximo gran paso" en las investigaciones sobre el tokamak se programase sobre una base multinacional bajo los auspicios del OIEA. El Gobierno soviético ha ofrecido también, si se desea, proporcionar un lugar para el proyecto en territorio soviético. Dicha propuesta tiene la ventaja de que permite contemplar un paso hacia adelante más ambicioso que el que sería posible con los recursos para las investigaciones sobre fusión de que disponen las diferentes naciones por separado o los grupos existentes.

En consecuencia, el CIIF ha recomendado al OIEA que constituya rápidamente un grupo internacional de especialistas encargado de redactar un informe que describa los objetivos



técnicos y la naturaleza del próximo gran dispositivo de fusión de tipo tokamak que podría construirse internacionalmente. El CIIF piensa concretamente que el objetivo de la próxima gran instalación podría ser el mayor avance razonablemente factible respecto de la presente generación de dispositivos experimentales, para demostrar la viabilidad desde el punto de vista de la ciencia, de la técnica y de la ingeniería, de la generación de electricidad por fusión D-T. Evidentemente la magnitud de este avance es cuestión sujeta al juicio de los científicos e ingenieros, juicio que ha de emitirse tras un minucioso estudio de lo ya realizado, de la nueva información que estará disponible a principios de los años ochenta, y de los problemas que han de superarse para que pueda comenzar la construcción (o incluso el proyecto detallado). Esperamos que los trabajos del grupo sobre estos problemas comiencen en Viena a principios de 1979. Si el actual progreso técnico continúa y, en particular, si los tokamaks que están ahora en construcción pueden proporcionar la información que necesitamos sobre el desarrollo de las reacciones productoras de energía en el plasma a elevada temperatura, dicha iniciativa internacional puede resultar decisiva para la demostración práctica de la generación de electricidad por fusión nuclear controlada a principios de los años noventa. Es esencial para mantener el ritmo de progreso en esta labor, que los trabajos de diseño y desarrollo para el próximo avance estén bastante adelantados a principios de la década de los ochenta.

CONCLUSION

En resumen, pues, la investigación científica sobre la fusión nuclear controlada progresa rápidamente. Actualmente, se produce, controla y aísla térmicamente plasma a elevada temperatura en una amplia variedad de dispositivos, de los cuales el más avanzado es el sistema magnético toroidal conocido por tokamak. Este sistema se basa en principios físicos que resultan relativamente sencillos. En consecuencia, existen buenas perspectivas de alcanzar tanto las temperaturas como el aislamiento térmico necesarios para la producción de energía. Según algunas estimaciones, los dispositivos actualmente en construcción, que se espera estén en servicio a principios de los años ochenta, producirán electricidad por fusión termonuclear en cantidades del orden de decenas de megavatios, en impulsos de 10 a 20 segundos. La cooperación internacional en las investigaciones sobre la fusión y la labor del OIEA para favorecer esta cooperación son excelentes, y un nuevo grupo del OIEA va a estudiar los posibles objetivos de un dispositivo experimental tokamak internacional que será el sucesor de los que actualmente están en construcción.

Este artículo es una adaptación de una parte de la disertación del Dr. Pease en la sesión científica del OIEA celebrada el 20 de septiembre de 1978, durante la vigésima segunda reunión de la Conferencia General. El texto completo de la disertación figura en la Revista de Energía Atómica 16, 3 (en inglés).
