

Fusión termonuclear: Progresos de un proyecto multinacional auspiciado por el OIEA



*Avanza la colaboración científica para demostrar
la viabilidad técnica de la energía de fusión*

Para contar con un suministro de energía a largo plazo sólo tenemos tres opciones: el sol, los reactores reproductores y la fusión.»

Con esta breve afirmación, el Ministro para la Investigación y la Tecnología de Alemania Federal, Dr. Heinz Riesenhuber, destacó en 1989 los incentivos que dieron lugar a la cooperación que se lleva a cabo actualmente en el mundo con miras a desarrollar la energía de fusión.

En 1990, el Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión, órgano asesor del OIEA integrado por miembros procedentes de todas partes del mundo, volvió a evaluar la situación y las perspectivas de desarrollo de la fusión termonuclear controlada. En el informe del Consejo figuraba la siguiente declaración: «La experiencia reciente hace cada vez más manifiesta la necesidad de desarrollar diversas fuentes de energía a largo plazo y de fácil acceso. Estas fuentes de energía no sólo deben ser tecnológicamente viables, sino también aceptables desde el punto de vista económico, de la seguridad y del medio ambiente. La fusión tiene la posibilidad de convertirse en una de estas fuentes.

«El desarrollo de nuevas fuentes de energía, como la fusión, constituye un gran desafío científico y tecnológico que deberán encarar varias generaciones. Con todo, la continuidad y magnitud del progreso alcanzado hasta el momento para lograr la construcción de un reactor son impresionantes y auguran buenos resultados. Los combustibles primarios para los reactores de fusión de deuterio-tritio (deuterio y litio) abundan tanto en la naturaleza que, prácticamente, la fusión de deuterio-tritio es una fuente inagotable de energía

para satisfacer las necesidades energéticas mundiales.»

En la aplicación de la energía de fusión con fines pacíficos se siguen dos procedimientos básicamente diferentes que suelen denominarse «confinamiento magnético» y «confinamiento por inercia». (Véanse los recuadros.)

Aunque la viabilidad del intercambio internacional de información sobre la fusión por inercia es tema de interés reciente, esta línea de desarrollo ha sido apoyada principalmente por los Estados Unidos. Sin embargo, la investigación en la esfera de la fusión confinada por medios magnéticos se ha llevado a cabo durante mucho tiempo en muchos países, con un costo total anual de aproximadamente 2000 millones de dólares. El mayor peso de la actividad recae sobre cuatro grandes programas de la Comunidad Europea (CE), el Japón, los Estados Unidos y la Unión Soviética. Varios otros países apoyan programas de investigación más pequeños, pero importantes.

Durante más de 30 años, las investigaciones sobre la fusión magnética han contado con un extraordinario grado de cooperación internacional, y desde su inicio, el OIEA ha promovido activamente el intercambio de información científica sobre la fusión en todo el mundo. Desde 1987, ha venido realizando actividades de cooperación multinacional más concretas y en mayor escala en el proyecto del reactor termonuclear experimental internacional (ITER).

Proyecto ITER: Reactor termonuclear experimental internacional

El avance alcanzado hacia 1986 en cada uno de los cuatro principales programas en materia de fusión llegó al punto en que el siguiente paso lógico

por David Banner
y
Paul Haubenreich

El Sr. Banner es Jefe de la Sección de Física de la División de Ciencias Físicas y Químicas del OIEA y el Sr. Haubenreich es el ex Secretario del Consejo del ITER.

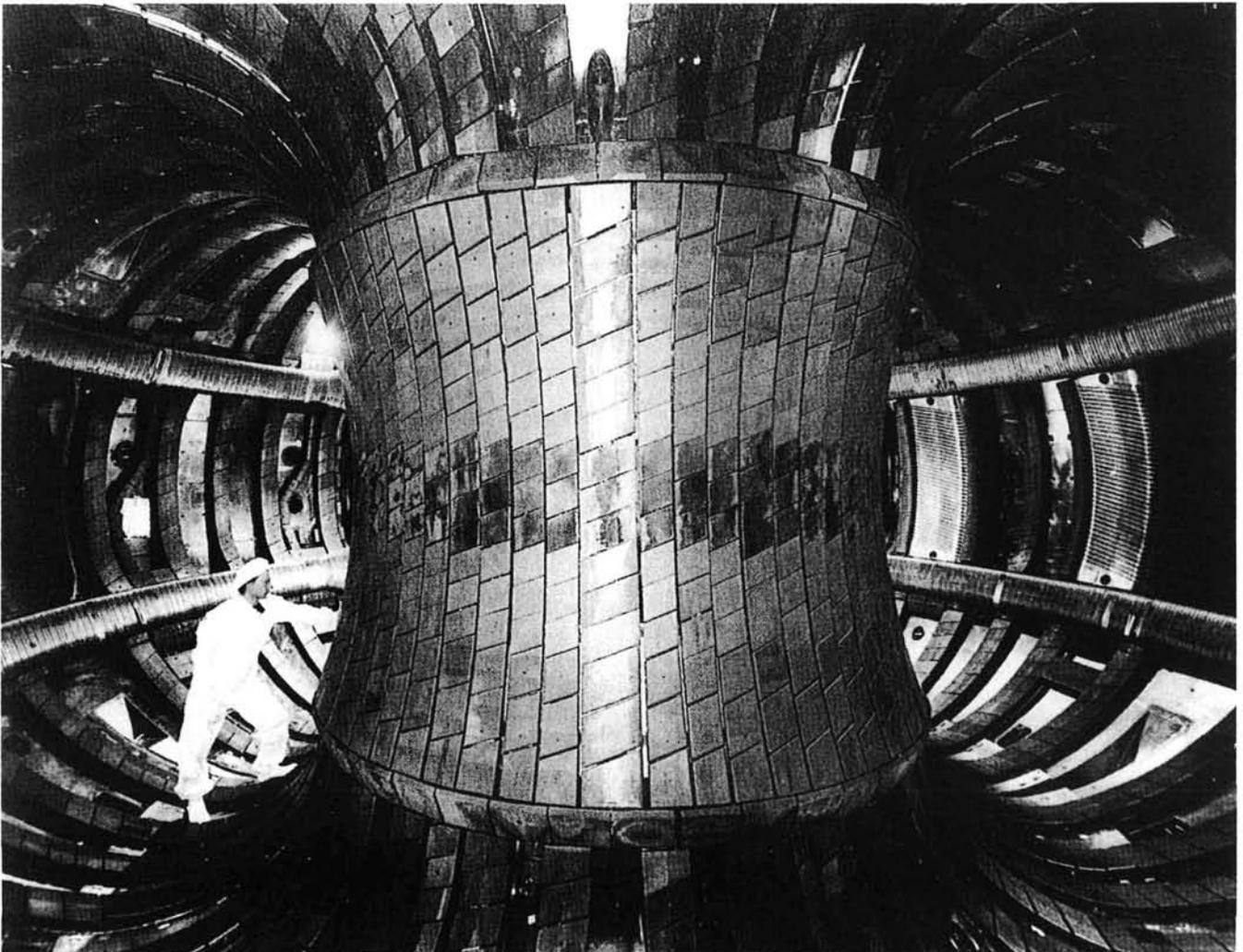
Vista interior del tokamak Joint European Torus (JET), el mayor experimento mundial de confinamiento magnético. Durante los experimentos, en esta cámara se crea el plasma de hidrógeno que se confina magnéticamente en las condiciones requeridas para provocar la fusión termonuclear, incluidas temperaturas próximas a los 100 millones de grados Celsius.

era fabricar un dispositivo que incorporara las tecnologías del reactor de fusión y que fuese lo suficientemente grande y potente para lograr la «ignición» y el «quemado controlado» del combustible de fusión. Para todos los participantes se hizo evidente que el siguiente paso requeriría grandes recursos, tanto de personal técnico como financieros, para la construcción y la explotación. En vista del extraordinario estímulo que significaba alcanzar nuevos progresos y de la magnitud del siguiente paso, los dirigentes de los gobiernos que apoyaban el desarrollo de la fusión comenzaron a solicitar que se ampliara la cooperación en la investigación en materia de fusión.

En respuesta a estas solicitudes, el Director General del OIEA invitó a los representantes de los cuatro programas principales en materia de fusión a participar en varias reuniones que se celebraron en Viena, en 1987, en las que éstos hicieron una descripción pormenorizada de un trabajo conjunto denominado Actividades de diseño conceptual (ADC) del reactor termonuclear experimental internacional. El propósito era dar un primer paso

concreto hacia la construcción de una máquina que satisficiera las necesidades de los cuatro programas. El concepto técnico elegido por unanimidad fue el concepto «tokamak» de confinamiento magnético del plasma, desarrollado originalmente en la URSS y ulteriormente, en escala y complejidad cada vez mayores, en numerosos países. A continuación, el Director General invitó a todas las partes interesadas a cooperar en las ADC, bajo los auspicios del OIEA, de conformidad con el mandato conferido. Las cuatro Partes aceptaron y se comprometieron a desplegar los esfuerzos necesarios para elaborar hacia fines de 1990 el diseño conceptual, la estimación de costos y los requisitos en cuanto al emplazamiento.

Las actividades de diseño conjuntas se iniciaron en abril de 1988 y concluyeron satisfactoriamente en diciembre de 1990. Una parte de las actividades se llevó a cabo en los países de origen de los participantes, y la otra, en un emplazamiento en Garching, cerca de Munich, que facilitó la Comunidad Europea para realizar los trabajos conjuntos. Durante las sesiones de trabajo conjunto,



que se extendían aproximadamente seis meses al año, más de 50 científicos e ingenieros residieron en el emplazamiento conjunto, en tanto que un número aún mayor prosiguió el trabajo en su país. La organización integrada del trabajo conjunto favoreció la estrecha colaboración de los científicos e ingenieros de las cuatro Partes. La dirección general de las actividades del ITER corrió a cargo del Consejo del ITER, que estuvo integrado por dos miembros de cada una de las partes.

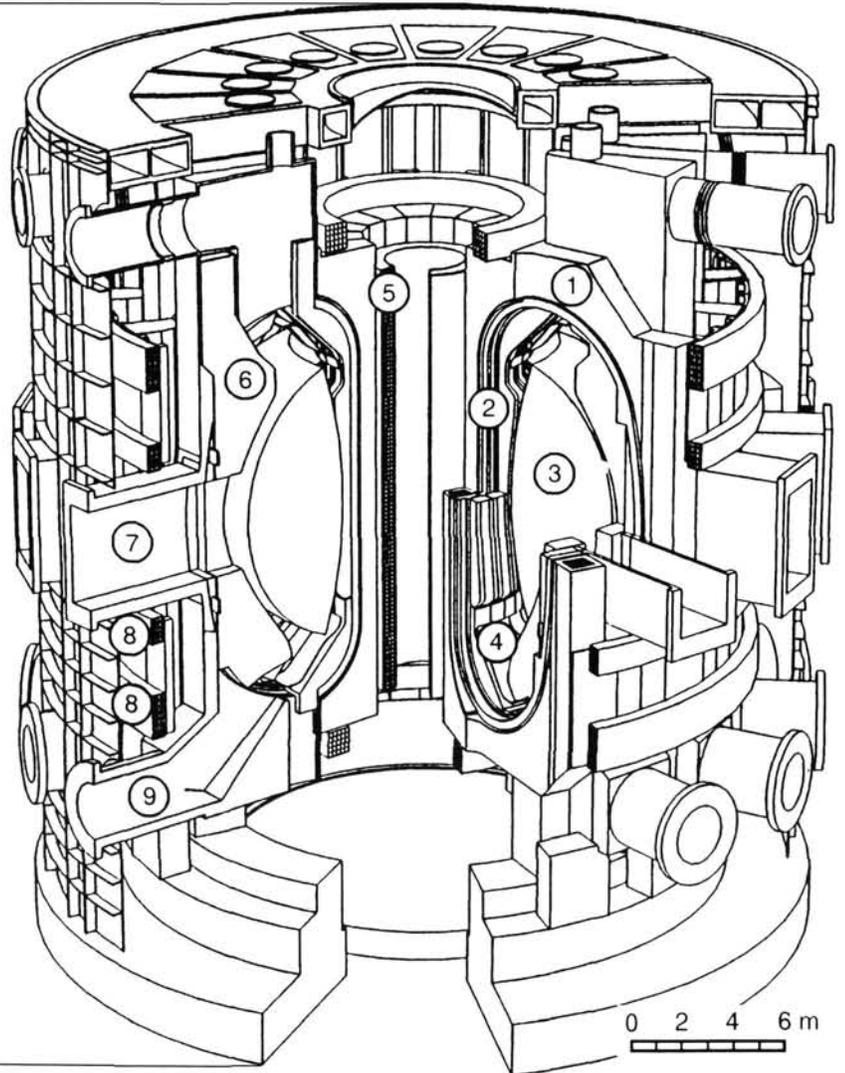
Aunque los cuatro programas de fusión tenían objetivos similares respecto de la creación de un reactor experimental y al principio de las actividades del ITER coincidían en el enfoque técnico general, había diferencias entre los conceptos de diseño específicos desarrollados en cada uno de ellos. Por tanto, no fue un logro insignificante que en el trabajo conjunto se comprendieran y solucionaran con prontitud estas diferencias. A fines de 1988, las Partes en el ITER acordaron las opciones de parámetros de la máquina y los conceptos de diseño de los magnetos, materiales y arreglos para el mantenimiento.

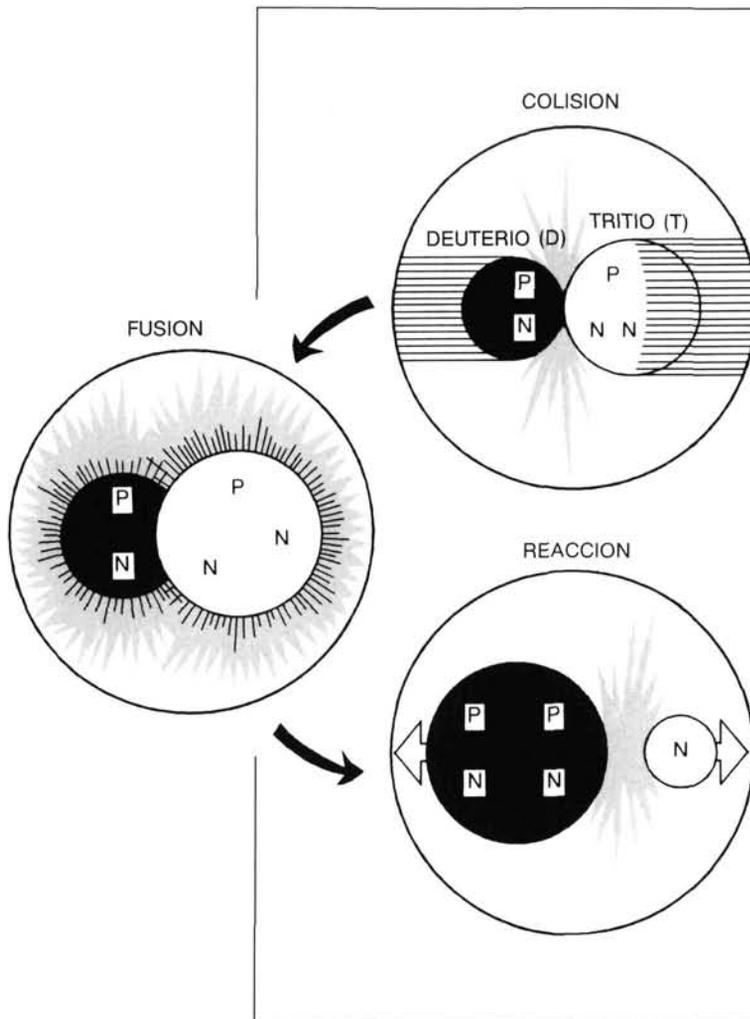
Para apoyar el proceso de diseño las Partes desplegaron una intensa actividad de investigación y desarrollo. Cada una de ellas invirtió aproximadamente 10 millones de dólares anuales en la investigación y el desarrollo de tecnología, como también en los experimentos en curso sobre la física del confinamiento, muchos de ellos realizados específicamente para el ITER. Los resultados del ITER fueron analizados y aprobados como parte de las condiciones básicas requeridas para un diseño seguro.

A fines de 1990, el trabajo en equipo desarrollado por las cuatro partes permitió elaborar el diseño conceptual de una central completa y lograr una visión precisa de cómo podría construirse y explotarse el ITER. Este trabajo incluía una descripción de los requisitos del emplazamiento para la construcción y la sugerencia de un plan de ejecución del proyecto. En el plan se describen las actividades de investigación y desarrollo en materia de física y tecnología, distribuidas entre los programas nacionales que se necesitarían para apoyar el diseño detallado. Las Partes en el ITER

Elementos principales del ITER tokamak:

- 1) bobina del campo toroidal;
- 2) vasija de vacío;
- 3) plasma;
- 4) divisor;
- 5) solenoide central;
- 6) capa fértil y blindaje,
- 7) abertura de entrada horizontal;
- 8) bobinas del campo poloidal;
- 9) conducto de bombeo para establecer el vacío.





Fusión termonuclear

La fusión termonuclear y sus efectos son ubicuos. Es el proceso que energiza las estrellas y la fuente de energía solar que calienta la Tierra. La fusión nuclear es el resultado de la colisión de ciertos núcleos atómicos ligeros a velocidades muy altas. El surgimiento de un solo núcleo hace que se libere una gran cantidad de energía. La fusión de deuterio (D) y tritio (T), ambos isótopos de hidrógeno, es la que se provoca con menos dificultad y probablemente sea el proceso en que se basan al menos los primeros reactores de potencia de fusión. Los núcleos de D y T deben chocar a velocidades equivalentes al movimiento térmico que se produce a temperaturas del orden de los 100 millones de grados. El núcleo compuesto emite inmediatamente un neutrón y deja un núcleo de helio estable idéntico a los que ocurren naturalmente. La energía liberada en el proceso se manifiesta inicialmente como energía cinética del neutrón y del núcleo de helio (denominado partícula alfa), que se desprende a alta velocidad.

La fusión de un gramo de la mezcla de D-T libera tanta energía como la combustión de 10 000 litros de gasolina y no produce gases nocivos.

también prepararon un posible calendario y una estimación preliminar de costos para la construcción y explotación.

Al concluir las ADC, se estudiaron a fondo los resultados, en conjunto y por cada uno de los grupos de expertos creados por las cuatro Partes. En todos los estudios se llegó a la misma conclusión: los resultados proporcionaban una buena base técnica para proceder a la siguiente fase lógica del proyecto ITER.

En el curso de las ADC, el grupo encargado del ITER hizo una estimación preliminar, según la cual la construcción del reactor demoraría siete años y exigiría una inversión de capital de aproximadamente 4900 millones de dólares, compartidos entre los participantes. Antes de que pudiera iniciarse la construcción del ITER, se requerirían alrededor de seis años para las actividades de diseño de ingeniería (ADI), inclusive la ingeniería detallada, un mayor desarrollo de los elementos y la evaluación de los emplazamientos propuestos para la construcción.

Los futuros participantes en las ADI desarrollaron una organización del trabajo lógica con vistas a lograr una distribución equitativa. Estimaron

que se invertirían unos 250 millones de dólares en la labor de diseño y 750 millones de dólares en el apoyo directo a la investigación y el desarrollo de la tecnología y la ingeniería. Casi la mitad de la labor de diseño se llevaría a cabo en un emplazamiento de trabajo conjunto, durante todo el año, por un equipo central de hasta 180 científicos e ingenieros de todas las Partes, y además contaría con el apoyo de la localidad. Las tareas de diseño especificadas se realizarían en laboratorios y firmas industriales situadas en los países de las cuatro Partes. Los programas de investigación que aplican las Partes en el ITER y otras entidades en la esfera de la física continuarían suministrando la información necesaria para confirmar el diseño del ITER y planificar su programa experimental.

Todas las actividades de investigación y desarrollo de la tecnología específicas del ITER se complementarían por una o más Partes, en emplazamientos situados en sus respectivos países. La gestión del proyecto estaría a cargo de un Director y su personal, apoyados por un fondo común. Dado que las cuatro Partes consideraban que el ITER no sólo es una demostración de la viabilidad técnica de la energía de fusión, sino también

Iniciación y confinamiento de la fusión

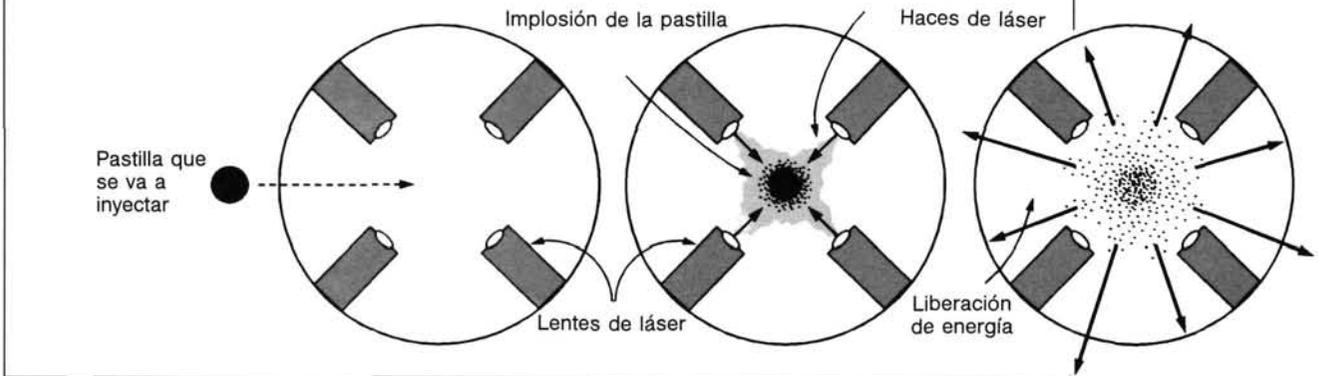
En el confinamiento magnético, el combustible que inicialmente se encuentra en forma de gas enrarecido frío se calienta por cualquiera de los diversos medios disponibles hasta que se convierte en plasma. Este «cuarto estado de la materia» se alcanza cuando el movimiento térmico de las partículas atómicas es tan intenso que se separan los núcleos y los electrones.

Como las partículas del plasma tienen carga eléctrica, éstas se ven sometidas a fuerzas al atravesar un campo magnético. En el confinamiento magnético, la cuestión radica en configurar los campos magnéticos de tal manera que la mayoría de las partículas cargadas se vean obligadas a recorrer trayectorias curvas que no intercepten las paredes de la cámara donde se forma el plasma. Es preciso continuar el calentamiento hasta que el movimiento térmico de las partículas alcance el margen de velocidad en que las colisiones producen la fusión.

El conocimiento científico se ha desarrollado hasta tal punto que en estos momentos pueden determinarse los métodos de calentamiento y el rendimiento del confinamiento requerido para lograr la energía de fusión práctica. Esto último

se consigue fundamentalmente con una cámara de plasma de grandes dimensiones y campos magnéticos intensos.

La fusión por inercia se basa en el calentamiento extremadamente rápido del combustible de fusión, lo que produce numerosas reacciones de fusión generadoras de energía antes de que las fuerzas que actúan sobre las partículas atómicas y subatómicas hagan que se desprenda la masa reaccionante. En el método que se estudia para su aplicación en centrales energéticas, se deja caer una pequeña pastilla de hidrógeno congelado en una cámara, donde incide sobre ella abruptamente un impulso de energía láser, enfocado desde varias direcciones. (Véase la figura.) El rápido calentamiento superficial crea una onda de choque implosiva que calienta y densifica el centro de la pastilla hasta alcanzar condiciones de fusión termonuclear. La energía de fusión se produce en una pequeña fracción de segundo antes de que explote la pastilla. Para utilizarla como fuente de energía es preciso que todo este proceso se repita constantemente en intervalos de corta duración.



de las ventajas que ésta reporta en materia de seguridad y medio ambiente, estos últimos aspectos seguirían siendo principios rectores en el diseño de ingeniería del ITER.

Los resultados de las ADC no sólo fomentaron la confianza entre los técnicos, sino que también convencieron a los gobiernos de la conveniencia de continuar desarrollando el ITER en vista de las posibles ventajas extraordinarias que reportaría una energía de fusión satisfactoria. Aunque la colaboración internacional sería complicada, las Partes reconocieron que un esfuerzo conjunto de esa índole brindaría la valiosa oportunidad de compartir los escasos recursos científicos y tecnológicos de que se disponía, además de los gastos, en una esfera de desarrollo energético prioritaria.

Tras las conversaciones preliminares entre las Partes en el ITER, que revelaron un alto grado de avenencia respecto de la posible concertación de acuerdos de cooperación sobre las ADI, los gobiernos de cada una de las Partes autorizaron la celebración de negociaciones oficiales. El Director General del OIEA invitó a las Partes a reunirse en Viena para entablar estas negociaciones y les aseguró que el Organismo estaba dispuesto a prestar

sus servicios para crear y apoyar el grupo central ADI que estaba previsto. La primera sesión de negociaciones se celebró en el Centro Internacional de Viena el 11 y el 12 de febrero de 1991.

Un ejemplo típico de la opinión de las Partes fue la del Secretario de Energía de los Estados Unidos, quien al referirse a la negociación de un acuerdo sobre las actividades de diseño de ingeniería del ITER expresó: «Es conveniente que, en nuestra condición de asociados en las investigaciones internacionales, sigamos desarrollando la cooperación en el diseño conjunto del reactor para demostrar la viabilidad de la energía de fusión como fuente de energía. La ciencia y los contribuyentes ya se han beneficiado de este trabajo de investigación compartido que se ha llevado a cabo con total dedicación prácticamente en todo el mundo.»

Tres de las Partes se ofrecieron para servir de sede a las ADI: la CE, en el emplazamiento de las actividades de diseño conceptual de Garching, Alemania; el Japón, en el centro de investigaciones de Naka y los Estados Unidos, en una universidad y un centro de fusión de San Diego. Cada una de ellas ofreció instalaciones para hospedar

hasta 180 científicos e ingenieros y 120 empleados de apoyo, conjuntamente con las instalaciones para las computadoras que se utilizarían en el diseño. Los sistemas de comunicación permitirían una eficaz colaboración entre el grupo central y los trabajadores del ITER en sus respectivos países.

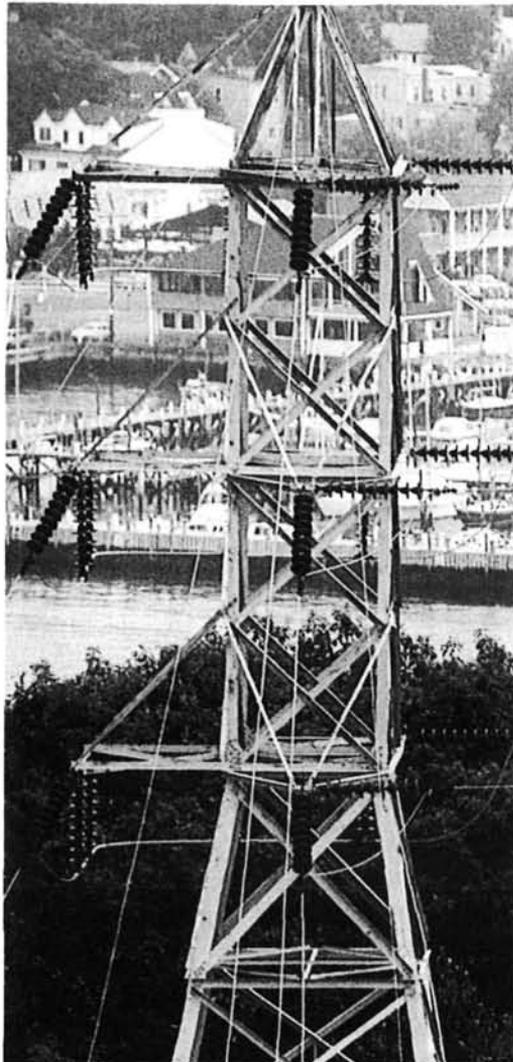
En el curso de las negociaciones se adoptarán las decisiones respecto del emplazamiento de las ADI y la selección del personal clave. Teniendo en cuenta los primeros progresos alcanzados, las Partes esperan que, excluyendo las dificultades imprevisibles, pueda concertarse un acuerdo a mediados de 1991.

Potencial de la energía de fusión

Los combustibles para la producción de energía de fusión termonuclear se hallan ampliamente

distribuidos en cantidades casi inagotables. Los requisitos físicos para la producción y el control de la fusión termonuclear se han determinado progresivamente mediante las investigaciones que se han efectuado durante decenios en laboratorios de todo el mundo. El proceso que genera la energía es el mismo que el que produce todo el calor del sol y las estrellas. Así, puede decirse que el objetivo último del desarrollo de la fusión es la producción y el mantenimiento de un «sol en miniatura», cuya energía pueda aprovecharse para producir electricidad.

Además, los aspectos ambientales y de seguridad de la industria de la energía de fusión prometen ser totalmente aceptables para la sociedad. Si, como probablemente estiman los participantes en el ITER, el equipo requerido resulta útil para la construcción, la explotación y el mantenimiento, la fusión podría contribuir en gran medida a satisfacer las necesidades mundiales de energía en el próximo siglo.



Seguridad y aspectos ambientales de la energía de fusión

El reactor de fusión se asemeja en cierta medida a un calentador de gas: cuando se extingue el gas, la «llama» (reacción de fusión) desaparece de inmediato. No existe la posibilidad de que se produzca una reacción de «fuga» o una avería extensa a consecuencia de una reacción de fusión incontrolada.

Las partículas primarias procedentes de las reacciones de la fusión no son radiactivas. La absorción inevitable de los neutrones de fusión en la estructura u otro material produce nucleidos radiactivos, pero éstos no son móviles ni tienen una vida extremadamente larga, lo que dificulta menos la contención y la evacuación. El «calor residual» debido a la radiactividad tras la interrupción de la reacción, es relativamente moderado y puede controlarse con facilidad por medio de sistemas fiables y sencillos.

Uno de los componentes del combustible de fusión, el tritio, es radiactivo, lo que deberá tenerse debidamente en cuenta en el diseño y la explotación de la instalación para asegurar su contención. Las medidas apropiadas están bien definidas y han demostrado ser muy eficaces y prácticas.

El análisis del diseño conceptual del ITER indica que este reactor de fusión podría satisfacer todos los requisitos establecidos en los reglamentos vigentes en materia de seguridad y medio ambiente.