

El programa de los Estados Unidos para el desarrollo de reactores reproductores rápidos

ESTRATEGIA SEGUIDA EN LOS ESTADOS UNIDOS PARA EL DESARROLLO DE REACTORES NUCLEARES DESTINADOS A FINES PACÍFICOS*

Pocas naciones han podido escapar de los efectos del problema energético mundial. Así como hay múltiples aspectos comunes del problema a los que han de hacer frente los países, igualmente cada nación se encuentra ante sus propias necesidades, recursos y condiciones, que inevitablemente configuran la dirección que han de seguir su política y sus programas nacionales.

La estrategia de los Estados Unidos en la esfera de la energía está encaminada hacia la consecución de una autarquía energética. Entre los elementos importantes de esta política se cuentan un empleo intensificado del carbón, comprendida la conversión de éste en gas y en petróleo líquido para compensar el decreciente abastecimiento de estos productos una mayor utilización de la energía nucleoelectrica y el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas. La energía nucleoelectrica habrá de satisfacer una fracción de la demanda total de energía eléctrica mayor que la prevista hasta ahora y el ritmo de construcción y autorización de las centrales nucleares deberá acompañarse en consonancia.

La estrategia de los Estados Unidos en materia de reactores nucleares para fines pacíficos se basa en primer lugar en el reconocimiento del hecho de que los recursos nacionales de uranio (y de torio), considerando como tales aquellos que se pueden utilizar de forma económicamente razonable y aceptable desde el punto de vista del medio ambiente, son finitos y que, por consiguiente, se necesitan con urgencia los reactores reproductores para poder garantizar el suministro de energía a largo plazo. En segundo lugar, dicha estrategia se basa en el hecho de que, entre más de 200 centrales nucleares actualmente en explotación, en construcción o en fase de pedido en los Estados Unidos, predominan las dotadas de reactores de agua ligera (LWR), cuyo funcionamiento se ajusta al ciclo del uranio-plutonio. Esta circunstancia exige que inicialmente los reactores reproductores se basen en el mismo ciclo del combustible. Sin embargo, aun teniendo en cuenta esta

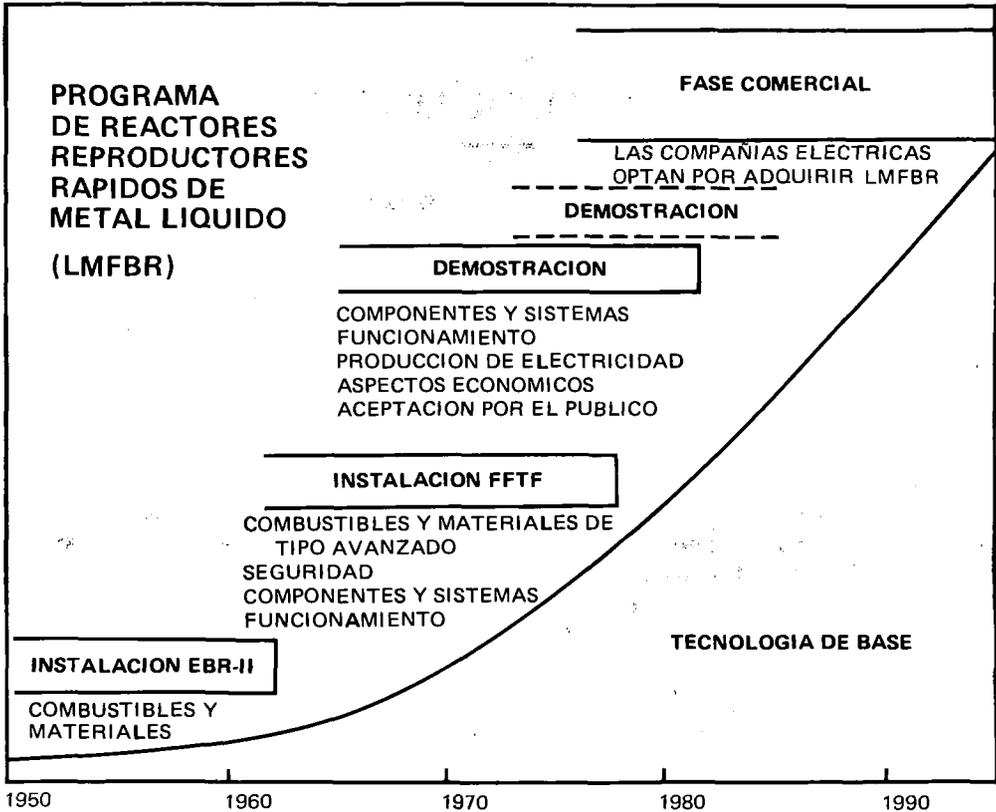
necesidad, en los trabajos que se están realizando en los Estados Unidos se otorga la máxima prioridad a los reactores reproductores rápidos de metal líquido (LMFBR).

Ahora bien, pese a que en los Estados Unidos se atribuya semejante carácter prioritario a estos reactores, ha quedado admitida la prudencia de aportar otras soluciones en materia de reactores nucleares. A este fin, los Estados Unidos están realizando trabajos tecnológicos en torno a una serie de otros tipos de reactores, según se indica más adelante en el presente artículo.

Prioridad de los reactores reproductores rápidos de metal líquido

Estos reactores pueden ofrecer un historial de más de 20 años de éxitos en su desarrollo tecnológico. Los progresos realizados en el programa de los reactores reproductores rápidos de metal líquido han sido alentadores, sobre todo desde finales de los años

* Resumido de un trabajo redactado por: T. Nemzek, Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos; R. Laney, Argonne National Laboratory; A. Squire, Hanford Engineering Development Laboratory; S. Iacobellis, Rockwell International; B. Wolfe, General Electric Company; J. Landis, General Atomic Company; J. Taylor, Westinghouse Electric Corp. Marzo de 1974.



sesenta. Las previsiones económicas basadas en la mayor experiencia con que se cuenta en los Estados Unidos y en el extranjero y en los análisis económicos que se realizan ininterrumpidamente hacen aconsejable la más pronta incorporación posible de los reactores reproductores rápidos de metal líquido en las redes de las compañías eléctricas, ateniéndose siempre a las posibilidades tecnológicas e industriales. La experiencia adquirida en el desarrollo del programa y los estudios analíticos que se han efectuado repetidamente confirman ambos la validez de la decisión de otorgar carácter prioritario a este tipo de reactores. Los estudios técnicos y económicos efectuados independientemente y la prioridad otorgada a los LMFBR por Francia, Italia, el Japón, el Reino Unido, la República Federal de Alemania y la Unión Soviética vienen

a reforzar la actitud de los Estados Unidos ante esta cuestión.

Ejecución del programa de reactores reproductores rápidos de metal líquido

El programa de reactores reproductores puede caracterizarse como integrado por dos fases principales: una primera fase de «investigación y desarrollo» y una segunda fase de «aceptación por las compañías eléctricas». La primera fase comprende toda la labor necesaria de investigación y desarrollo, tal como la creación de la tecnología básica en las esferas de los combustibles, los materiales, los aspectos de física y la transmisión del calor. Incluye la selección de diseños básicos y el desarrollo de la capacidad necesaria para fabricar componentes que ofrezcan fiabilidad y comprende también la demostración satis-

factoria de que los diseños básicos son capaces de producir electricidad en el seno de una red.

La segunda fase, a la que se ha denominado «aceptación por las compañías eléctricas», se alcanza cuando estas compañías, escogen repetidamente, **por propia opción**, el diseño básico desarrollado como centrales para sus redes.

Forzosamente, debe constituir el fundamento de ambas fases un intenso programa tecnológico. No cabe exageración al subrayar la importancia de apoyar una intensa labor de investigación y desarrollo con miras a completar y hacer progresar la evolución de la tecnología. Constituye éste un requisito indispensable para que tenga éxito un programa de desarrollo de sistemas energéticos nucleares adecuado para satisfacer las necesidades nacionales de los Estados Unidos.

En este sentido, el primer paso hacia el logro de un programa verdaderamente nacional fue la preparación de un plan oficial para el programa de reactores reproductores rápidos de metal líquido, desarrollado a lo largo de un período de tres años con la cooperación de todos los participantes principales del programa y publicado inicialmente en 1968. Recientemente, se ha revisado este plan y se ha vuelto a publicar, de manera que refleje los avances de la tecnología y la definición más precisa de los objetivos que se han producido desde entonces. La preparación del plan para el programa facilitó un marco para la adopción de decisiones, en el sentido de que comprendía estudios y la participación de la industria, de los laboratorios nacionales, de las compañías eléctricas y de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos. En su desarrollo estaba latente un cierto hincapié en las instalaciones: instalaciones que permitieran efectuar pruebas físicas y pruebas de los combustibles, componentes e instrumentación; instalaciones para diseñar y someter a prueba los componentes necesarios y que sirvieran de punto de partida para determinar las necesidades reales e ineludibles de investigación y desarrollo, así como de pilares básicos sobre los que

podiera sustentarse la capacidad de la industria.

Factor esencial para lograr la viabilidad de los reactores reproductores es el reactor propiamente dicho. Para que cualquier sistema de reactores tenga éxito es de vital importancia comprender a fondo el comportamiento de los materiales estructurales y de los combustibles en el medio especial constituido por el núcleo del reactor. Los reactores reproductores rápidos plantean un problema especialmente difícil dimanante de los efectos dañinos de la irradiación con neutrones rápidos sobre los materiales estructurales y los combustibles. Por esta razón, en el programa de los Estados Unidos se concede especial importancia a la posibilidad de adquirir un conocimiento lo más profundo posible del comportamiento de los materiales en los reactores rápidos y al desarrollo de materiales que puedan soportar satisfactoriamente las exigentes condiciones que se dan en este medio. Este programa entrañaba la necesidad de transformar una instalación ya existente, el reactor EBR-II, en un reactor de ensayos de irradiación, de aumentar su factor de capacidad y su potencia, de perfeccionar la posibilidad de montar instrumentos para los ensayos, y de cambiar gran parte de la carga inicial de combustible metálico por los combustibles que interesan en los primeros reactores reproductores rápidos que se utilizarán. Ahora bien, el EBR-II se ve afectado por limitaciones en lo que respecta a la altura del núcleo, la densidad de flujo y el espectro energético de los neutrones, así como por la carencia de circuitos cerrados.

Estas limitaciones, sumadas a otras consideraciones, desembocaron lógicamente en el paso siguiente, que consistió en el proyecto y construcción de la instalación de ensayo de flujo rápido (FFTF).

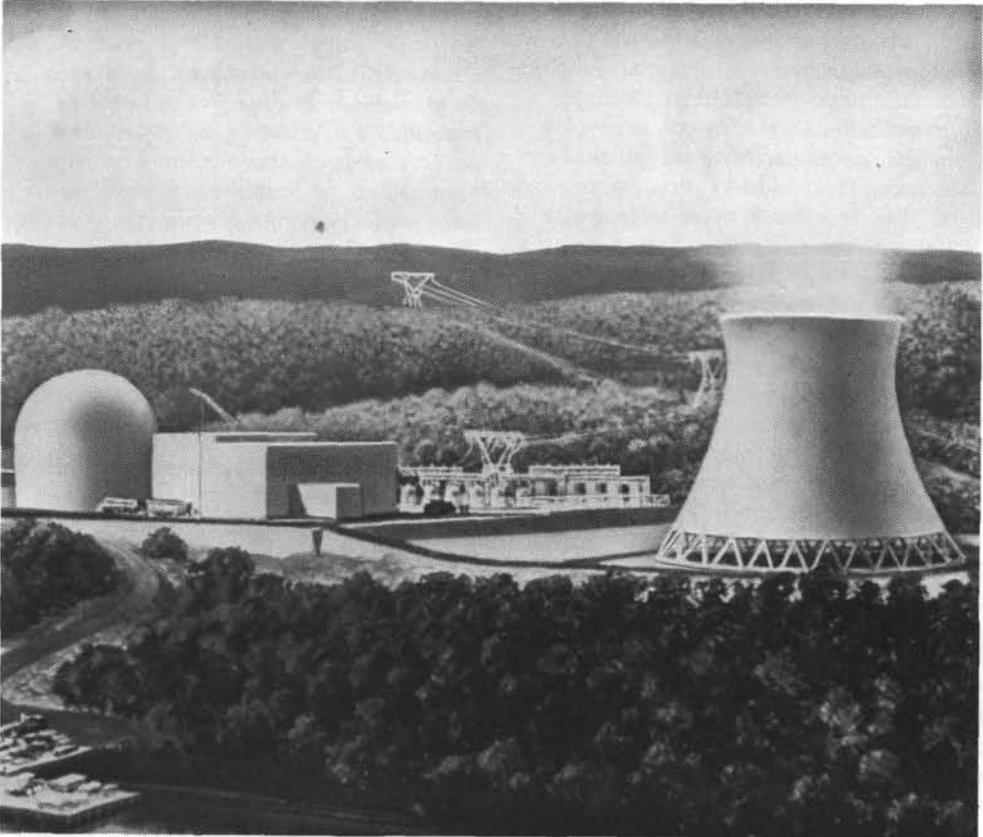
Esta instalación ofrecerá excelentes posibilidades para evaluar el comportamiento de los conjuntos de combustible de los reactores y otros materiales constitutivos de éstos en una combinación de condiciones (flujo neutrónico, potencia nominal específica del combustible y temperatura) correspondiente a las que se dan en los reactores comerciales

de gran tamaño. Los circuitos cerrados de la FFTF y su múltiple instrumentación prestarán al programa de los Estados Unidos la necesaria flexibilidad para someter a prueba y medición el comportamiento de los combustibles y demás materiales.

Al proyectar y construir la FFTF, se ha desarrollado un programa que trasciende considerablemente de la labor de diseño de ingeniería de la FFTF propiamente dicha. La finalidad de este programa es la de ensayar los combustibles, demás materiales y componentes en condiciones lo más parecidas posible a las de funcionamiento de los reactores reproductores rápidos de metal líquido. De esta manera, la FFTF está sirviendo de mecanismo central que determina el ritmo y la oportunidad del programa global de reactores reproductores rápidos de metal líquido.

El siguiente paso — y el más reciente — dado en este programa de los Estados Unidos ha sido la iniciación de los trabajos en torno a la primera planta de demostración de reactores reproductores. En julio de 1973, se firmó un acuerdo colectivo entre la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos y dos de las entidades más importantes encargadas del suministro de energía eléctrica en los Estados Unidos — la Commonwealth Edison y la Tennessee Valley Authority — para construir el reactor reproductor de Clinch River (CRBR), de 380 MW(e), en el Estado de Tennessee. El apoyo de la industria eléctrica al proyecto CRBR comprende contribuciones financieras por valor de más de 240 millones de dólares, aportados por unas 350 sociedades inversionistas y eléctricas de propiedad estatal.

Visión del artista de la central de Clinch River, dotada de un reactor reproductor rápido de metal líquido de 380 MW(e), que se emplazará en el Estado de Tennessee — Foto: USAEC



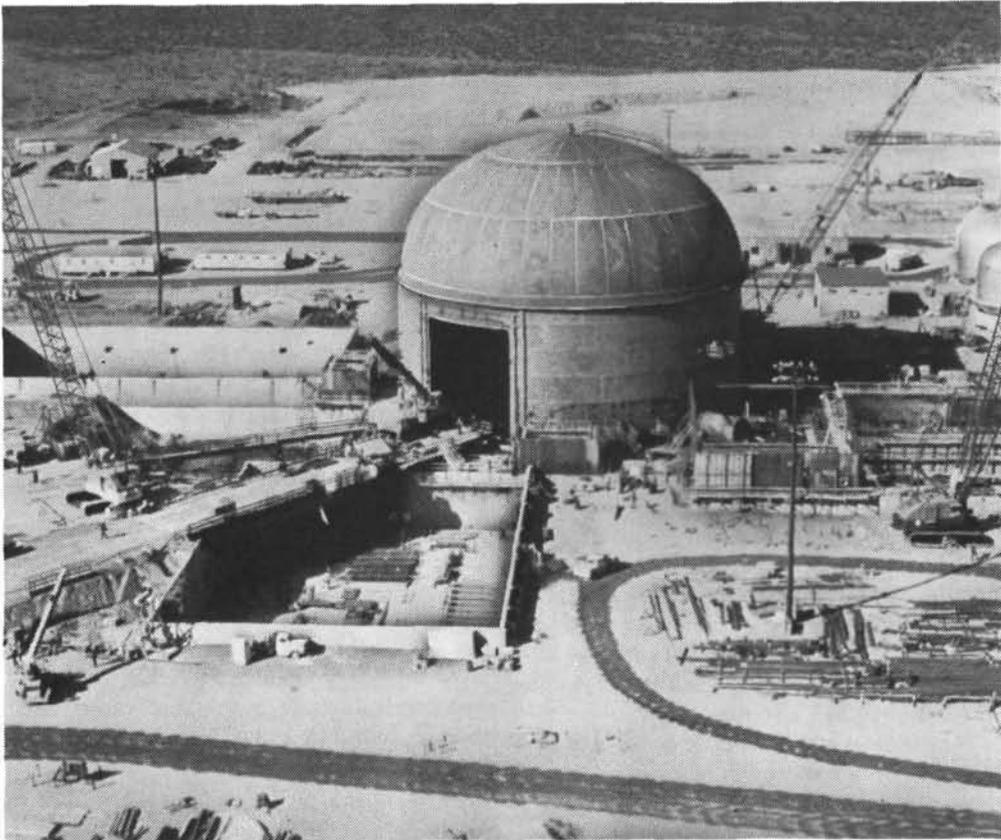
Todos estos pasos constituyen condiciones previas para llegar a la fase de «aceptación por las compañías eléctricas», en la que dichas compañías tendrán suficiente confianza en el sistema de reproducción para adoptarlo para un uso generalizado. En la actualidad, se siguen debatiendo las medidas adicionales por las que podría llegarse a esta fase.

Otros posibles diseños básicos de reactores reproductores

Como se ha indicado anteriormente, se ha dejado abierta la posibilidad de optar por otras soluciones para llegar a los reactores reproductores prosiguiendo la labor de desarrollo tecnológico de modelos de reactores como son el reactor reproductor de agua ligera (LWBR), el reactor

reproductor de sales fundidas (MSBR) y el reactor reproductor rápido refrigerado por gas (GCFR). Si se obtuviera éxito en el desarrollo de los reactores reproductores de agua ligera, se podría disponer de aproximadamente el 50% de la energía potencial encerrada en los recursos de combustible de torio. Si se termina satisfactoriamente la experiencia de demostración de reactores reproductores de agua ligera en el reactor de Shippingport, cuyo funcionamiento está previsto para 1975, quedaría probada la posibilidad técnica de transformar los núcleos de los reactores de agua ligera actuales y futuros a la modalidad de funcionamiento LWBR. Los reactores reproductores de sales fundidas, que son también reactores reproductores térmicos basados en el ciclo del torio, ofrecen la perspectiva de poder utilizar eficiente-

Estructura de contención de la instalación de flujo rápido que se está construyendo en Hanford (Washington) — Foto: USAEC



mente los recursos de combustible de torio, en parte como consecuencia de la reelaboración continua in situ de su combustible fundido.

La idea de los reactores reproductores rápidos refrigerados por gas parece atractiva en calidad de empresa paralela a los reactores reproductores rápidos de metal líquido. Su excelente economía neutrónica redundará en una elevada ganancia de reproducción y la alta temperatura de su refrigerante gaseoso permite un elevado rendimiento de la central, así como la posibilidad a largo plazo de empleo conjuntamente con una turbina de gas de ciclo directo.

Los reactores reproductores rápidos refrigerados por gas se caracterizarían por un sistema de suministro de vapor nuclear completamente integrado, encerrado dentro de una vasija de reactor de hormigón pretensado del suficiente grado de fiabilidad. El refrigerante se haría circular por medio de soplantes axiales accionados por turbina de vapor. El circuito primario estaría reforzado por dos circuitos auxiliares de refrigerante como mínimo. Gran parte de la tecnología a aprovechar en los reactores reproductores rápidos refrigerados por gas se basaría en los reactores de alta temperatura refrigerados por gas.

Organización de la ejecución del programa

El desarrollo de los reactores reproductores en los Estados Unidos constituye una empresa nacional en gran escala, dentro de cuyo marco la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, los laboratorios nacionales, los contratistas industriales y las entidades encargadas del suministro de la energía eléctrica participan en una gran diversidad de tecnologías. Intervienen materias tales como la seguridad, la física, los combustibles y demás materiales, la instrumentación y el control, el ciclo del combustible, la tecnología de los refrigerantes, los componentes y sistemas, y el conjunto de la central. La ejecución de programas de investigación y desarrollo de reactores, coherentes y bien estructurados, en los que hay que tener en cuenta tal cúmulo de

factores, exige una labor minuciosamente organizada entre las entidades que participan. La organización de todas estas entidades de manera que cada una de ellas pueda aportar sus recursos específicos a un esfuerzo nacional bien enfocado ha constituido uno de los retos más espinosos y uno de los aspectos más fructíferos del programa.

Elemento principal en la ejecución de la fase de investigación y desarrollo del programa de reactores reproductores rápidos de los Estados Unidos son los laboratorios nacionales. Los principales laboratorios nacionales que participan en el programa son el Argonne National Laboratory, el Hanford Engineering Development Laboratory, el Liquid Metal Engineering Center, el Los Alamos Scientific Laboratory y el Oak Ridge National Laboratory. Esta red de laboratorios nacionales aporta amplias posibilidades de flexible adaptación en diversas disciplinas técnicas necesarias para crear una tecnología de base en cada uno de los distintos sectores del programa de reactores reproductores rápidos.

La labor relacionada con los reactores que actualmente se lleva a cabo en los laboratorios nacionales está encaminada de un modo general a desarrollar la tecnología de base que se precisa para determinar qué combustibles y materiales estructurales son satisfactorios y producirlos, realizar evaluaciones exactas de la seguridad de los sistemas de reactores y establecer criterios de diseño en materia de seguridad, efectuar estudios analíticos de física de los reactores y evaluaciones del ciclo de los combustibles, y, finalmente, determinar técnicas eficaces para la reelaboración de los combustibles y métodos para la gestión de los desechos radiactivos. Igualmente, los laboratorios nacionales están desarrollando actualmente la tecnología ingenieril necesaria para que sirva de base al diseño, fabricación y prueba de los componentes expuestos a las condiciones de los reactores reproductores rápidos que, como ya se ha indicado, son singulares.

Históricamente, las empresas industriales han desempeñado un importante papel en

el desarrollo de las nuevas tecnologías en los Estados Unidos. El desarrollo por parte de la General Electric Company (GE) de las centrales refrigeradas por sodio a comienzos de los años cincuenta contribuyó fundamentalmente a la tecnología de los metales líquidos. Los trabajos de la Atomic International (AI) relativos al experimento del reactor de sodio y la instalación de energía nucleoelectrónica de Hallam constituyeron una ampliación de esta labor en torno a los sistemas de sodio para la transmisión del calor. El *Fermi I*, organizado por un grupo de compañías eléctricas y propiedad de éstas, constituyó un gran esfuerzo en el camino del desarrollo de los reactores reproductores rápidos. La industria de las compañías eléctricas ha aportado importantes fondos para financiar los ensayos de reacciones entre el sodio y el agua en la AI, el desarrollo de generadores de vapor en la GE, y gran parte del costo del proyecto del reactor rápido experimental de óxido del sudoeste (SEFOR). La Atomic International, la General Electric y la Westinghouse han efectuado importantes inversiones en los programas de proyecto y desarrollo de reactores reproductores de metal líquido, al igual que ha hecho la General Atomic Company en la esfera de los reactores reproductores refrigerados por gas. El Gobierno ha apoyado intensamente la participación de la industria nuclear de los Estados Unidos en todos los sectores del programa de reactores reproductores rápidos de metal líquido. Esta actitud está en armonía con los objetivos específicos de creación por parte del Gobierno de una industria de reactores reproductores rápidos autárquica y en ritmo de expansión, que pueda asumir una fracción creciente de los costos de desarrollo.

En la ejecución del programa de reactores reproductores rápidos de metal líquido, se ha concedido especial atención al desarrollo y aplicación de normas de ingeniería. Los laboratorios nacionales y los contratistas industriales desempeñan un importante papel en el desarrollo de estas normas, en cooperación con programas de normalización que se extienden a toda

la industria. La utilización de normas en el diseño y construcción de las instalaciones de ensayo contribuye a aportar una firma base técnica para el proyecto y construcción de centrales nucleares dotadas de reactores reproductores rápidos de metal líquido que reúnan las debidas condiciones de seguridad y fiabilidad.

Desarrollo comercial de los reactores reproductores rápidos

La central de demostración de Clinch River tiene una potencia de 380 MW(e) y produce vapor a 1 450 libras por pulgada cuadrada (absolutas) a 900° F, utilizando un combustible integrado por una mezcla de óxidos de plutonio y de uranio que se habrá sometido a rigurosas pruebas en la instalación FFTF. Se espera que la razón de reproducción inicial sea de 1,2. Se prevé que el período de duplicación podrá mejorarse una vez efectuadas las pruebas iniciales de la central y cargando nuevamente el núcleo. Las dimensiones de los componentes para la potencia de la central representan un aumento de escala respecto de la instalación FFTF que queda a medio camino de las dimensiones comerciales, lo cual representa aproximadamente la magnitud de aumento de escala que se ha conseguido con éxito en el programa de demostración de centrales con reactores de agua ligera. Un programa de desarrollo y construcción de centrales que pase de la central de demostración a la primera generación de reactores reproductores comerciales exigirá probablemente varias centrales. La construcción y explotación de éstas aportará una sólida base de la necesaria experiencia a los suministradores de equipo, arquitectos e ingenieros, constructores, organismos reguladores y las compañías eléctricas. La participación de éstas es de vital importancia para poder llegar a un reactor reproductor rápido de metal líquido de tipo comercial. Las compañías eléctricas son en definitiva los usuarios que adoptan las decisiones de construir centrales nucleares. Se requiere la aportación de estas compañías al formular los objetivos

de diseño y rendimiento de la primera generación de centrales comerciales y, sobre todo, que intervengan en la multitud de opciones que hay que efectuar en cuanto al diseño. Semejante participación en la fijación de los objetivos comerciales de rendimiento de las centrales facilitará a las compañías eléctricas una perspectiva más clara del potencial que encierran los reactores reproductores rápidos de metal líquido y constituirá una base más sólida sobre la cual adoptar decisiones.

Consideraciones de orden ambiental

En el desarrollo de sistemas de reactores debe buscarse, como uno de los principales objetivos, la reducción o eliminación de nuevas cargas para la sociedad humana debidas a los riesgos potenciales anejos a la implantación de la energía nucleoelectrica. Ello exige prestar la debida atención a la seguridad de los reactores, a la evacuación de los desechos radiactivos, al transporte de los combustibles radiactivos, a la desviación de los materiales fisionables, a la descarga del calor residual, al desmantelamiento

de las centrales y a la minería del uranio. La naturaleza de los desechos de alta actividad producidos en la generación de la energía nucleoelectrica exige que se preste atención a los medios a que debe recurrirse para almacenarlos en condiciones de seguridad a lo largo de períodos muy prolongados.

Un paso decisivo hacia la mejor comprensión del problema en su totalidad lo constituye la declaración sobre las repercusiones ambientales del programa de reactores reproductores rápidos de metal líquido, actualmente en preparación, que, por primera vez, ofrecerá en conjunto las repercusiones que se seguirán para el medio ambiente de una economía a escala nacional basada en los reactores reproductores rápidos de metal líquido hasta el año 2000. Esta declaración combinará en un solo estudio coordinado un análisis costo/beneficio y riesgo/beneficio, los efectos radiológicos y otros efectos relativos al ambiente, el transporte y el emplazamiento, las salvaguardias, el almacenamiento de los desechos de alta actividad y otros factores que afectan al medio ambiente.

Conclusión

La importancia cada vez mayor que se atribuye a la responsabilidad del ingeniero en cuanto a los aspectos ambientales ha acarreado consigo la necesidad de explorar múltiples caminos para poder satisfacer las necesidades de energía, protegiendo a la vez el medio ambiente. Se precisarán ideas innovadoras para resolver los numerosos conflictos que surgirán al tratar de alcanzar este doble objetivo dentro de las restricciones impuestas por los recursos disponibles y de los límites de la viabilidad.

Seminario sobre salvaguardias en la URSS

Por invitación de la Comisión Estatal de la URSS para la Utilización de la Energía Atómica, trece inspectores de salvaguardias del Organismo, al frente de los cuales figuraba el Sr. S. Nakićenović, Director de la División de Operaciones, participaron en un seminario sobre salvaguardias, de diez días de duración, que tuvo lugar en la Unión Soviética en enero del año en curso. La finalidad del seminario-viaje de estudios era familiarizar a funcionarios del Organismo con la labor realizada en la URSS en materia de salvaguardias. La visita incluyó el estudio y la observación sobre el terreno de