

LOS NUEVOS MATERIALES DE LA TECNOLOGIA NUCLEAR

Uno de los principales propósitos de las investigaciones que se llevan a cabo actualmente en el campo de la tecnología nuclear es perfeccionar materiales para reactores capaces de resistir los efectos de altas temperaturas y radiaciones intensas. El rendimiento de una central nucleoelectrónica -más concretamente, el rendimiento del proceso de utilización del calor en la producción de electricidad- depende en parte de la temperatura de régimen del reactor, temperatura que en la práctica no puede exceder del punto en que los elementos combustibles empiezan a fallar.

Esta limitación ha inducido a explorar formas no metálicas de combustibles nucleares que, en general, poseen un punto de fusión más elevado que los combustibles metálicos. Es cierto que desde los comienzos de la tecnología nuclear se han empleado los óxidos de uranio como combustibles nucleares, pero todavía ahora se procura empeñosamente mejorar la obtención y la elaboración de los combustibles a base de óxido para permitirles soportar las condiciones cada vez más severas a que se los somete en el reactor. Simultáneamente, se procura encontrar otros tipos de combustibles no metálicos, tales como los carburos, los nitruros y los siliciuros, así como nue-

El Director General del OIEA, Dr. Sigvard Eklund (centro), intervino en la sesión de apertura de la Conferencia de Praga. También en la Presidencia, de izquierda a derecha: Sr. Joseph C. Delaney (OIEA); Sr. Witold Lisowski (OIEA); Sr. Karel Petrzelka, Representante Permanente de Checoslovaquia ante el OIEA; Dr. Jan Neumann, Presidente de la Comisión Checoslovaca de Energía Atómica; Dr. Jaroslav Kozesnik, Vicepresidente de la Academia Checoslovaca de Ciencias; Dr. Adolf Svoboda, Alcalde de Praga; Dr. Cestmir Simane (OIEA), y Sr. Alexander Pushkov (OIEA)



vos materiales para los demás componentes del reactor.

La Conferencia sobre Tecnología de los Nuevos Materiales Nucleares, celebrada en Praga en el pasado mes de julio bajo los auspicios del Organismo Internacional de Energía Atómica, ha demostrado que es probable que todas esas investigaciones conduzcan a mejorar considerablemente el rendimiento de las centrales nucleoelectrificadas y contribuyan, en esa forma, a reducir el costo de la corriente eléctrica. Tanto el Director General del Organismo, Dr. Sigvard Eklund, en su discurso inaugural, como el Dr. Cestmir Simane, Director de la División de Suministros Técnicos del Organismo, al tomar la palabra en la sesión de clausura de la Conferencia, manifestaron su confianza en la realización de tales previsiones.

El Dr. Eklund señaló que la experiencia recientemente adquirida en la explotación de centrales nucleoelectrificadas ha demostrado que las temperaturas de funcionamiento, los grados de combustión, los factores de carga y la duración de las centrales alcanzan valores mayores que los previstos, pudiéndose por tanto abrigar un optimismo prudente en lo que respecta al porvenir de la energía nucleoelectrificada. Sin embargo, en los reactores actualmente en servicio las temperaturas máximas admisibles en los combustibles o en los materiales de revestimiento imponen a su vez restricciones a las temperaturas de régimen y al rendimiento neto de las centrales. Por ejemplo, con los revestimientos de Magnox (que es el tipo de revestimiento adoptado para los reactores de potencia de uranio natural en el Reino Unido) la temperatura del vapor no puede superar los 400°C y el rendimiento neto de las centrales, tanto para los reactores de Magnox como para los de agua ligera alimentados con uranio enriquecido es de alrededor de 30 por ciento. En cambio, un combustible de óxido de uranio revestido de acero inoxidable permitiría generar vapor a unos 480°C. Con combustible de carburo de uranio disperso en grafito, se podría alcanzar una temperatura de vapor de 540°C, con lo cual se lograría un rendimiento neto del orden del 35 por ciento para la central.

Otra ventaja de los combustibles cerámicos, según dijo el Dr. Eklund, reside en la posibilidad de lograr grados de combustión más elevados, gracias a la mayor resistencia de dichos combustibles a los efectos de la temperatura y de la irradiación. Esta estabilidad se traduciría en un mejor aprovechamiento del combustible y una menor frecuencia de renovación de la carga. Todo esto demuestra, agregó, que los elementos combustibles no metálicos pueden

contribuir significativamente a la producción de energía nucleoelectrónica en condiciones rentables.

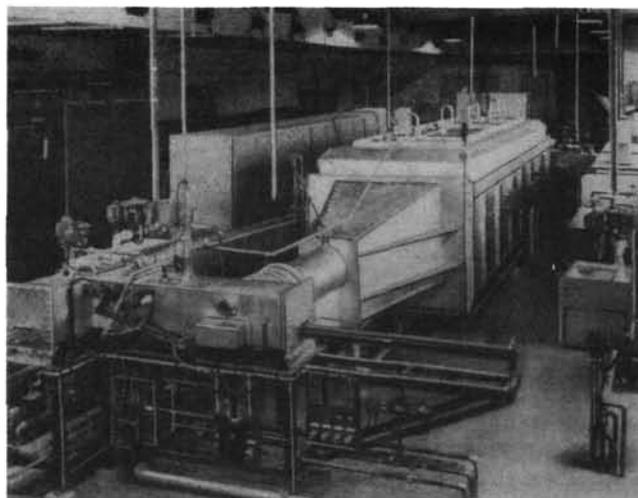
Al finalizar la Conferencia, el Dr. Simane señaló que si bien el tema de la misma abarcó todos los nuevos materiales utilizados en tecnología nuclear, los debates se habían concentrado en el desarrollo de nuevas formas de combustibles para reactores. Recordó que los óxidos de uranio se utilizan desde hace tiempo, pero es evidente que hasta ahora no se han aprovechado plenamente las posibilidades que ofrecen. Se ha tropezado con diversos problemas (por ejemplo, el de la baja conductividad térmica de los óxidos de uranio a altas temperaturas), pero las discusiones entabladas demuestran que las numerosas formas en que se encara dichos problemas brindan buenas perspectivas de resolverlos. Debido justamente a los problemas de conductividad relacionados con los óxidos, se dedica creciente atención a los combustibles de carburo y se han presentado a la Conferencia muchos trabajos interesantes sobre la obtención y elaboración de carburos de uranio destinados a los elementos combustibles. El Dr. Simane manifestó su convicción de que los estudios que se desarrollan en esta materia permitirán explotar los reactores a temperaturas superiores a las actuales.

Los debates de la Conferencia, que duró cinco días y comprendió nueve sesiones, giraron en torno de la tecnología de la obtención y elaboración de los combustibles no metálicos. Asimismo, se leyeron comunicaciones acerca de la experiencia adquirida hasta ahora con dichos combustibles, sea en la explotación de los reactores o bien en ensayos preliminares. Además se trató del empleo de los nuevos materiales en partes del reactor distintas del combustible.

COMBUSTIBLES DE OXIDO

Gran parte de los debates sobre los combustibles de óxido trató de los métodos de preparación del dióxido de uranio y de aplicación del mismo en la elaboración de combustibles nucleares, porque el comportamiento del combustible depende en gran medida del tratamiento a que se ha sometido anteriormente el material y de los procesos empleados para elaborar con él los elementos combustibles. Entre los procesos principales figuran: 1) la reducción del contenido de oxígeno del uranio extraído del yacimiento de mineral, a fin de obtener el óxido con menor proporción de oxígeno, es decir, el dióxido de uranio (UO_2); 2) la "sinterización" o densificación del dióxido en polvo, a fin de tornarlo extremadamente compacto y darle forma de pastilla o bien de gránulos firmemente unidos entre sí. La sinterización se efectúa corrientemente por aplicación de calor y de presión.

Se presentaron algunas memorias sobre los métodos de preparación del dióxido de uranio. Entre ellas, figura una presentada por tres científicos checoslovacos (G. Landspersky y otros) en la que se describe las modificaciones alotrópicas observadas



Vista general de un horno para la sinterización industrial del óxido de uranio. (Reproducción de la fotografía que ilustra la memoria de R. Hauser y A. Porneuf)

en la preparación de dióxido de uranio a partir del diuranato amónico. En otra, redactada por D. Kolar y otros dos hombres de ciencia yugoeslavos, se trata de la transformación de hexafluoruro de uranio (UF_6) en dióxido de uranio; estos autores describen cómo prepararon un fluoruro complejo de uranio y amonio por reducción del hexafluoruro de uranio con amoníaco en fase gaseosa a $40^{\circ}C$, y transformaron en dióxido de uranio el producto de grano muy fino retenido en precipitadores electrostáticos, por reacción con vapor de agua e hidrógeno.

En Francia el dióxido de uranio sinterizable se prepara en varias instalaciones industriales mediante la reducción del dióxido obtenido por calcinación del uranato de amonio precipitado. En una memoria presentada por M. Delange (Francia), se describen los distintos modelos de aparatos y los procedimientos de precipitación, filtración, calcinación y reducción utilizados. Otros dos científicos franceses (R. Delmas y J. Holder) presentaron un trabajo sobre la preparación de dióxido de uranio sinterizable, destinado a la elaboración de elementos combustibles para el reactor de potencia de uranio enriquecido EL-4, moderado por agua pesada y refrigerado por gas, que se construye actualmente en Francia.

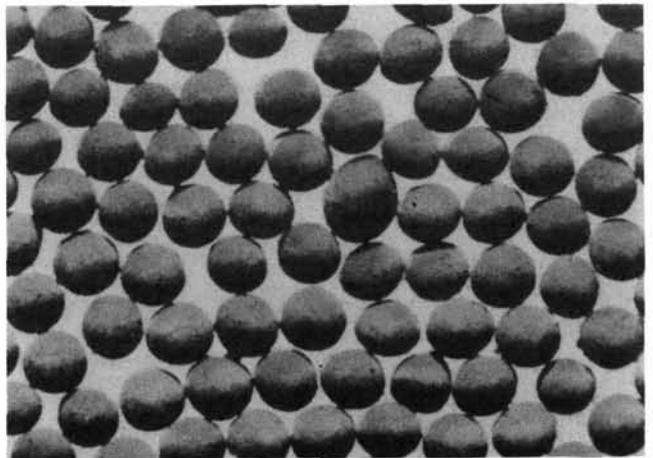
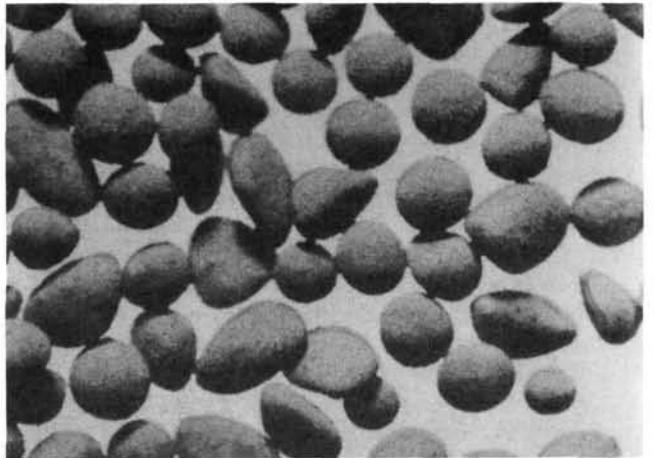
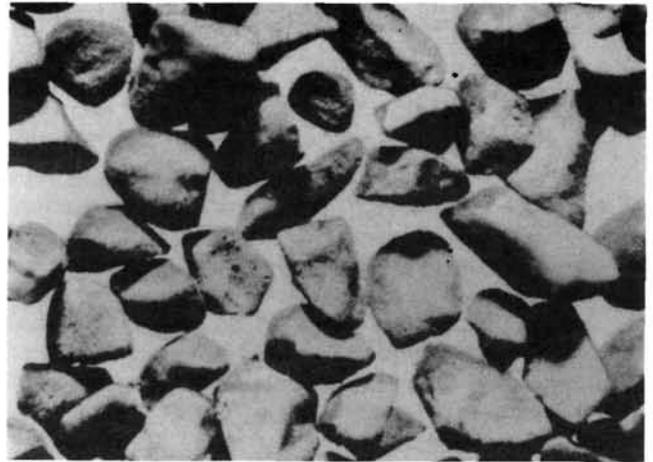
En muchas memorias se estudian las técnicas de sinterización. R. Hauser y A. Porneuf (Francia) describen en su trabajo un horno continuo para la sinterización industrial del óxido de uranio. Características principales de dicho horno son el funcionamiento automático, el control riguroso de las atmósferas de presinterización y sinterización, la flexibilidad del mecanismo de regulación de la temperatura y el elevado rendimiento (5 t de óxido de uranio por mes). El horno puede funcionar en régimen continuo hasta una temperatura de $1700^{\circ}C$ y la atmósfera de sinterización se establece con amoníaco pirolizado o hidrógeno puro.

En una memoria italiana (C. Bondesan y colaboradores) se detalla un proceso de producción de pequeñas esferas de dióxido de uranio sinterizado que consiste en moldear dichas esferas en una matriz y en prensarlas por un método especial. En otra memoria del mismo país, E. Brutto y sus colaboradores estudian un método de ensayo de dichas esferas por choque térmico. En un trabajo relativo al comportamiento térmico de los elementos combustibles de óxido de uranio, H. Andriessen y J. M. Leblanc (Bélgica) explican que el poder calorífico de un elemento combustible queda limitado por la conductividad térmica efectiva de ese elemento y por la temperatura máxima admisible en su centro. Comunican los resultados de los experimentos que realizaron con el propósito de: a) determinar de qué manera varía, en función de la temperatura, la conductividad térmica efectiva de los elementos combustibles de óxido de uranio densificado mediante diferentes procedimientos (vibración, compresión, etc.) y b) evaluar la influencia que ejercen las modificaciones estructurales del material (sinterización, aumento del tamaño de los granos, fusión, etc.) sobre su conductividad térmica.

En varias otras memorias, se trata la cuestión de la conductividad térmica de los combustibles de óxido de uranio y R. Caillat y colaboradores (Francia) han presentado un informe sobre determinaciones de la conductividad térmica del óxido de uranio efectuadas en el interior del reactor francés EL-3.

Al examinar algunos de los recientes adelantos de la tecnología del dióxido de uranio, J. A. L. Robertson (Canadá) señala que los reactores de potencia con combustible de dióxido de uranio funcionan regularmente desde hace varios años y que ahora se da por supuesto que esta forma de combustible permite alcanzar un rendimiento satisfactorio. El objeto de los estudios tecnológicos en curso no consiste ya en demostrar que su empleo es factible, sino en reducir el costo del combustible, aminorando el costo del proceso de elaboración y mejorando el rendimiento. Refiriéndose a los tres factores que limitan el rendimiento, a saber, la distribución de temperaturas, el escape de productos de fisión y la tensión que la dilatación térmica del combustible impone a las vainas, observa dicho autor que últimamente se ha adelantado mucho en el conocimiento de estos tres fenómenos.

En lo que respecta a la distribución de temperaturas, el Sr. Robertson recuerda que recientemente se ha descubierto que determinados monocristales de dióxido de uranio poseen elevada conductividad térmica a altas temperaturas (en lugar de disminuir la conductividad con el aumento de temperaturas). Nuevas investigaciones efectuadas en Chalk River, Canadá, han contribuido a explicar los factores que influyen en ese aumento de la conductividad. De manera análoga, han progresado los conocimientos acerca de los otros dos factores: el escape de productos de fisión gaseosos del combustible y el alargamiento de



En estas tres fotografías, que ilustran la memoria de H. Lloyd, se observa cómo se redondean gradualmente por rotación los granulos de dióxido de uranio. Fotografía superior: los granulos antes de la rotación; en el centro, los granulos a las cuatro horas; fotografía inferior, después de nueve horas de rotación

las vainas a consecuencia de la dilatación térmica del combustible. Manifiesta el mencionado autor que la posibilidad de realizar mediciones en el reactor permitirá determinar si las nuevas formas de combustible pueden ofrecer alguna ventaja económica. Mien-

tras tanto, el continuo perfeccionamiento de las barras combustibles de dióxido de uranio sinterizado en geometrías simples dará lugar a una reñida competencia.

Un importante recurso tecnológico, cuya eficacia se pone a prueba actualmente en varios países, es la combinación de materiales cerámicos y materiales metálicos. Los productos, llamados cermets, están constituidos por partículas no metálicas dispersas en una matriz metálica. La finalidad perseguida con esta combinación es resolver el problema de la baja conductividad de los óxidos de uranio a alta temperatura, aprovechando las favorables características de conductividad de la matriz metálica.

Las técnicas de elaboración de los combustibles de cermets se ha desarrollado considerablemente y en varios reactores americanos se utiliza con éxito el dióxido de uranio disperso en placas de acero inoxidable. Al examinar este tipo de elementos combustibles, H. Lloyd (Reino Unido), señala que en la mayoría de los casos el contenido de dióxido de uranio en los elementos combustibles en forma de placas ha sido relativamente pequeño y da cuenta de experimentos realizados a fin de estudiar la posibilidad de producir cermets con mayor proporción de dióxido de uranio. Asegura que los resultados han sido alentadores porque demuestran que es posible elaborar placas de cermets de UO_2 -acero inoxidable con 30 a 50 por ciento (en volumen) de UO_2 .

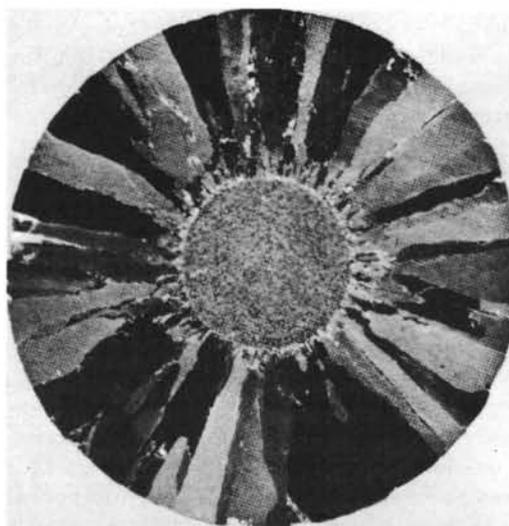
En otra memoria presentada por J. Williams, del Reino Unido, se examina la posibilidad de utilizar combustibles de óxido disperso, a base de dióxido de plutonio, dióxido de uranio y dióxido de torio como sustancias fisionables y fases fértiles, juntamente con los óxidos de berilio, aluminio y magnesio como materiales para la matriz. El autor analiza la posible utilidad de estos cermets como combustibles para altas temperaturas teniendo en cuenta su estabilidad y el método de elaboración. Señala también que se dispone de una variedad de técnicas para la preparación de las partículas fisionables/fértiles, para revestirlas y para incorporarlas a matrices de elevada densidad.

En una memoria presentada por seis científicos soviéticos (S. T. Konobeyevsky y colaboradores) se describen ciertos procesos en la dispersión del dióxido de uranio en una matriz metálica. Los autores presentan algunos datos acerca del efecto de un elevado grado de combustión sobre la estructura y los parámetros cristalográficos del dióxido de uranio y acerca de las interacciones entre dicho dióxido y el aluminio, durante la irradiación. En otra monografía soviética, los autores (V. E. Ivanov y colaboradores) exponen algunas propiedades de las aleaciones de cermets a base de uranio.

Dos científicos franceses (J. Doumerc y R. Hauser) analizan otra posible solución, que consistiría en utilizar elementos combustibles compuestos por un nú-

cleo de óxido de torio y un anillo de óxido de uranio. Señalan que el factor que limita en la práctica el empleo de combustibles a base de pastillas de óxido de uranio son las elevadas temperaturas que reinan en esos elementos y los abruptos gradientes de temperatura a que éstas dan lugar. Describen un estudio encaminado a determinar el incremento de potencia que se puede alcanzar concentrando en la periferia del combustible el material fisionable, es decir, la fuente térmica. El material fértil que constituye la parte central apenas interviene en la producción de energía, y esto sólo al final de la vida útil del combustible; además, puede tolerar temperaturas ligeramente superiores a las que admite el material fisionable.

← 2-1/2 cm →



Vista transversal de un cilindro de dióxido de uranio. (Reproducción de la fotografía que ilustra la memoria de G. E. Benedict y otros)

En una memoria redactada por cinco científicos estadounidenses (G. B. Benedict y colaboradores) se da cuenta de los trabajos realizados en los laboratorios de Hanford sobre las técnicas de producción de combustibles nucleares que poseen propiedades únicas en su género. Declaran los autores que, empleando soluciones de cloruros fundidos como medio de reacción, ha sido posible producir dióxidos cristalinos de uranio y de plutonio y soluciones sólidas de varias mezclas de óxidos, a temperaturas relativamente bajas. Los trabajos exploratorios efectuados indican que estos procedimientos pueden también ser de utilidad en la preparación de otros combustibles no metálicos.

CARBUROS Y OTROS MATERIALES

Como ya se indicó, los combustibles de carburo ofrecen al parecer muy buenas perspectivas, especialmente en su aplicación a los reactores de neutrones rápidos. En la Conferencia se presentaron va-

rias memorias sobre la producción de los carburos de uranio y de plutonio y la preparación de elementos combustibles con los mismos.

Es posible obtener carburos de uranio reduciendo el dióxido de uranio con carbono. La tendencia del dióxido de uranio a actuar como oxidante supone una dificultad, pero según una memoria presentada por G. H. B. Lovell (Sudáfrica), el problema puede resolverse empleando el óxido uranoso-uránico estable (U_3O_8) en lugar del dióxido de uranio. Este autor examina dos métodos de preparación del carburo a partir del óxido de uranio estable (U_3O_8) y afirma que su aplicación ha permitido obtener muestras satisfactorias de monocarburo y dicarburo de uranio, así como cermets de monocarburo de uranio y uranio metálico.

En un informe acerca de los estudios sobre el carburo de uranio realizados en la Junta de Energía Nuclear de España, H. Bergua y A. Fornes señalan que el carburo de uranio se obtiene a partir de uranio metálico en pequeñas cantidades o a partir del dióxido de uranio en grandes cantidades. En el proceso del uranio metálico, se empieza por reducir el mismo a polvo finamente dividido que se mezcla seguidamente con polvo de grafito, se prensa en pastillas y se sinteriza o bien se carga directamente en un horno de fusión por arco. En la preparación a partir del dióxido de uranio, el contenido de oxígeno en el dióxido se reduce por reacción mediante carbono.

J. Vangeel (Bélgica) describe métodos de estabilización del monocarburo de uranio y producción de carburo de fase única y explica cómo la fusión de los carburos de uranio en presencia de oxígeno y de nitrógeno permite obtener un carbonitruro de uranio de fase única.

Refiriéndose a las propiedades de sinterización del carburo en polvo, L. E. Russell (Reino Unido) señala que la oxidación del carburo finamente pulverizado inhibe la sinterización; presenta los resultados de experimentos que han aclarado en parte el mecanismo de dicha inhibición. En otra memoria, el mismo autor examina algunos aspectos de la estructura y propiedades de las aleaciones de carburo de uranio y carburo de plutonio. En otra memoria del Reino Unido sobre el mismo tema (R. Ainsley y otros) se comunican los resultados de estudios sobre la preparación de carburos de uranio por reducción directa de los óxidos con carbono en el vacío a temperaturas comprendidas entre 1 300 y 1 800°C. Agregan los autores que los carburos obtenidos han sido sinterizados en diversas atmósferas gaseosas y en el vacío.

En una memoria sobre los daños provocados por las radiaciones en el carburo de uranio, B. G. Childs y J. C. Ruckman (Reino Unido) exponen los resultados del estudio del comportamiento del carburo de uranio fundido sometido a irradiación, como continuación a la memoria presentada al Simposio sobre daños provocados por las radiaciones en los sólidos y en los

materiales para reactores, que el Organismo Internacional de Energía Atómica patrocinó el año pasado.

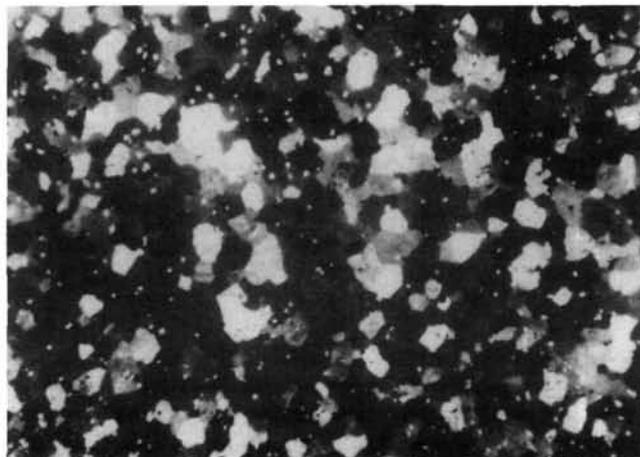
La posibilidad de emplear carburo de uranio en calidad de combustible nuclear ha estimulado el desarrollo de diversos procedimientos para densificarlo. En una memoria original de A. Porneuf y R. Hauser (Francia), se describen los estudios y proyectos realizados con miras al desarrollo industrial de un procedimiento de elaboración de barras de carburo de uranio por fusión al arco y colada.

R. Liebmann y otros dos autores de la República Federal de Alemania dan cuenta del perfeccionamiento de los elementos combustibles destinados al reactor de alta temperatura refrigerado por gas de la Brown-Boveri/Krupp Reaktorbau GmbH. Se investigaron y desarrollaron dos conceptos de elementos combustibles. En el primero, el relleno combustible consiste en una mezcla de carburo de uranio y grafito, mientras que en el segundo está constituido por una solución sólida de monocarburo de uranio y monocarburo de zirconio. En otra memoria, se comunican datos sobre la liberación de productos de fisión en los dos tipos de elementos combustibles.

También se presentaron trabajos sobre algunos otros materiales que pueden emplearse en tecnología nuclear. Algunos de ellos se refieren al berilio, que puede servir de moderador y también de reflector neutrónico. La elaboración de polvos de óxido de berilio fue el tema de la memoria presentada por J. S. O'Neill y D. T. Livey (Reino Unido); en una monografía de tres autores franceses (R. Beaugé y colaboradores) se estudian los efectos de la irradiación neutrónica sobre las propiedades físicas y las características mecánicas de las briquetas de óxido de berilio utilizadas como reflectores neutrónicos.

Según un trabajo presentado por seis autores soviéticos (V. E. Ivanov y colaboradores) sobre los cermets de magnesio y aleaciones de magnesio y be-

Microestructura de una solución sólida de carburo de zirconio y de carburo de uranio, prensada en caliente. (Reproducción de la fotografía que ilustra la memoria de R. B. Kotelnikov y otros)



rilio, la elevada resistencia térmica de estos materiales permiten darles múltiples aplicaciones en tecnología nuclear. Los autores exponen algunos resul-

tados de sus estudios sobre la preparación de cermetes y de aleaciones superrefractarias mediante procedimientos pulvimetalúrgicos.

EL CONTRATO DE INVESTIGACION Nº 200

El Organismo Internacional de Energía Atómica ha adjudicado un contrato de investigación al Departamento de Anatomía e Histología de la Universidad de Lovanium, en Leopoldville (Congo), a fin de facilitar la realización de estudios osteopáticos mediante técnicas nucleares. El Organismo proporcionará el equipo y los radioisótopos necesarios para la ejecución de estos trabajos.

Con éste, alcanza a 200 el número de contratos de investigación acordados por el Organismo a institutos científicos y laboratorios de unos 50 países. Estas adjudicaciones representan en cierta medida una nueva forma de colaboración y estímulo de las investigaciones científicas bajo auspicios internacionales. Al patrocinar y prestar apoyo a los proyectos de investigación, el Organismo contribuye, por un lado, a resolver problemas científicos de carácter general y, por el otro, alienta la labor de los centros de investigación recientemente establecidos en los países menos desarrollados. Además, se conceden contratos para estudiar problemas relacionados con las propias funciones del Organismo.

Cada uno de los contratos de investigación está destinado a cumplir uno o más de los tres objetivos siguientes. Algunos contratos se relacionan con estudios cuyos resultados podrán aprovechar todos los Miembros del Organismo o buena parte de ellos; colman algunas de las lagunas existentes en los programas científicos nacionales o abordan problemas cuyas soluciones se facilita especialmente mediante la coordinación de las investigaciones en la esfera internacional. Pertenecen generalmente a esta categoría los problemas de radiobiología o de protección radiológica y, como ejemplo de coordinación en este terreno, cabe mencionar los contratos de investigación concedidos a instituciones de diferentes países para estudiar los problemas de la fertilización en el cultivo del arroz (véase el Boletín del Organismo, Vol. 5, Nº 3). A su vez, otros contratos de investigación



Para el programa coordinado de investigaciones sobre el arroz se compara la eficacia de diversas clases de fosfatos fertilizantes, cultivando arroz en el invernáculo del Organismo en 10 tierras distintas y aplicando las técnicas de marcado con fósforo-32. Enviaron las muestras de tierra los investigadores que colaboran con el Organismo en África, Asia y Europa

tienden, por lo menos parcialmente, a ayudar a instituciones científicas de los países menos adelantados a crear o ampliar sus servicios de investigación y a perfeccionar los procedimientos que aplican. Se han adjudicado contratos de este tipo a diversos países para realizar investigaciones en materias tales como las aplicaciones de los radioisótopos en medicina y en agricultura. En tercer lugar, algunos de los proyectos de investigación se formulan teniendo concretamente en cuenta las propias funciones del Organismo, especialmente aquellas que se relacionan con la seguridad y protección de la salud y la aplicación de salvaguardias. Por ejemplo, se han adjudicado varios contratos de investigación para realizar estudios sobre el tratamiento y la evacuación de desechos radiactivos, cuyos resultados servirán para redactar reglamentos o códigos de procedimientos de carácter