

Aplicaciones de calor nuclear: Panorama mundial

por Juergen Kupitz y Milan Podest

Durante mucho tiempo, la energía nucleoelectrica ha desempeñado un papel importante en la generación segura y fiable de electricidad, y hoy tiene grandes posibilidades de contribuir al suministro general de energía que se necesite en el futuro.

En la actualidad, la mayor parte de la energía primaria del mundo la consumen las diversas ramas de la industria en forma de calor o se emplea en la calefacción de los hogares. Los países industrializados consumen cerca del 70% de su energía primaria en forma de calor y sólo el 30% como energía eléctrica.

Los reactores nucleares pudieran suministrar energía en forma de calor y con ello contribuir a la necesaria sustitución de los combustibles fósiles, los cuales se prevé que escasearán, aumentarán de precio y no es seguro que a largo plazo se mantengan disponibles.

En general, el consumo de calor puede dividirse en dos niveles de temperatura:

- Calor en régimen de baja temperatura, que incluye agua caliente o vapor de baja calidad para la calefacción de distritos, desalación y otros fines.
- Calor industrial en régimen de alta temperatura, que incluye vapor para usos industriales (producción de aluminio, productos químicos) o calor en régimen de alta temperatura para la conversión de combustibles fósiles, producción de hidrógeno, etcétera.

Varios tipos de reactores pueden producir estos niveles diferentes de temperatura. Los reactores refrigerados por agua (agua ligera y agua pesada) pueden producir agua caliente o vapor de hasta unos 300°C. Los reactores refrigerados por gas helio o dióxido de carbono pueden producir vapor industrial de hasta 540°C, y el reactor de alta temperatura refrigerado por gas y moderado por grafito (RATR) puede producir calor industrial de hasta 950°C.*

Situación de las aplicaciones de baja temperatura

En la práctica se ha demostrado que la calefacción nuclear de baja temperatura es técnicamente viable y su introducción comercial podría fundamentarse, bien en reactores de potencia cogeneradores de electricidad y vapor, o en centrales especializadas generadoras de calor de baja temperatura.

Los Sres. Kupitz y Podest son funcionarios de la División de Energía Nucleoelectrica del OIEA.

* Para una descripción detallada del estado actual de los conocimientos respecto de los reactores nucleares de calor y las aplicaciones del calor industrial, véase el acta de la Reunión y el Curso práctico sobre las aplicaciones del calor nuclear de la Comisión Técnica, celebrados en Cracovia del 5 al 9 de diciembre de 1983 y publicada por el OIEA en septiembre de 1984.

Los estudios económicos sobre el empleo del calor producido por los reactores de agua ligera (RAL) han demostrado que, en principio, las centrales nucleoelectricas se adaptan a la generación de calor de bajos niveles térmicos para su empleo en la calefacción de distritos y la industria. Sin embargo, existe la desventaja de que, por razones de seguridad, estas centrales nucleoelectricas tienen que emplazarse a una distancia conveniente de las zonas densamente pobladas, lo que aumenta los costos de distribución.

En Checoslovaquia y Finlandia se ha perfeccionado el método de suministrar calefacción a los distritos aprovechando el calor proveniente de las centrales nucleoelectricas (existentes, en construcción o planificadas) equipadas con reactores soviéticos de agua a presión WWER-440 ó WWER-1000. En Hungría, la República Democrática Alemana y Yugoslavia se están haciendo planes para utilizar el calor procedente de los reactores de agua a presión. En la Unión Soviética se han logrado buenos resultados utilizando para la calefacción del distrito el calor proveniente de la central cogeneradora de Bilibino, que se encuentra en servicio desde hace casi 10 años.

Según se expresó con anterioridad, el emplazamiento de las centrales nucleoelectricas a mayor distancia de los centros de población, motivado por los requisitos de seguridad, puede afectar desfavorablemente la eficiencia económica del suministro de calor. A este respecto, algunos proyectos demuestran que las distancias de transmisión de unos 30 a 40 kilómetros son bastante satisfactorias. No obstante, en Finlandia se estudió la posibilidad de que el futuro reactor WWER-1000 de Loviisa suministre calor mediante una línea de transmisión de 80 kilómetros y se determinó que aun así podía competir en eficiencia económica con una central alimentada con carbón.

Centrales nucleares generadoras de calor

Otro método para suministrar calor nuclear, sobre todo para la calefacción de los distritos, consiste en utilizar centrales nucleares especializadas en la generación de calor. Por una parte, con el objetivo de lograr eficacia y economía, es necesario emplazar estas unidades nucleares lo más cerca posible de las zonas pobladas. Por supuesto, es necesario también tomar todas las medidas de seguridad factibles. El llamado sistema de seguridad intrínseca del reactor resulta de especial interés en estos casos. El objetivo más importante de diseño a este fin es impedir técnicamente que el núcleo se funda a consecuencia del régimen de explotación a que esté sometido el reactor.

Atendiendo a estos principios, en la URSS se concibió la central de calor nuclear AST-500, que en la actualidad se encuentra en construcción en las ciudades de Gorki y Voronezh. Son unidades más bien grandes y corresponden a las demandas de calor de algunas regiones de la URSS. El estudio soviético sobre las necesidades de calor para la economía del país en su conjunto prevé que la demanda se cubra con un total de 600 instalaciones nucleares de 1000 megavattios (MW) cada una. En dos ciudades de Checoslovaquia se prevé la puesta en marcha para 1995 de instalaciones generadoras de calor nuclear AST-300, derivadas de la AST-500 de fabricación soviética, para la calefacción urbana.

En Suecia, como resultado de los estudios (Asea) realizados sobre energía atómica, se diseñó el reactor Secure, que opera con densidad, temperatura y presión de baja potencia. Sus características esenciales de seguridad son la interrupción segura del reactor y la refrigeración fiable del núcleo. El principio de garantizar estas funciones por medios implícitos se designa con el nombre de principio PIUS* (Seguridad Máxima Implícita del Proceso).

En Francia se analiza en la actualidad el empleo del CAS-300 (RAP) para el suministro de calor, aunque hasta el momento no se ha tomado decisión alguna para su aplicación práctica.

En el Canadá, la Atomic Energy of Canada Limited (AECL) ha creado un reactor nuclear pequeño tipo piscina (de 2 a 20 MW térmicos) para la calefacción de edificaciones, denominado Slowpoke-3, que se basa en el

diseño del reactor experimental Slowpoke-2. En ciudades canadienses se han instalado seis reactores Slowpoke-2 que podrán operar sin asistencia pero vigilados a distancia. La baja temperatura redundará en mayor sencillez, seguridad y bajo costo, en tanto que lo reducido del tamaño facilita su adaptación al extenso, pero disperso, mercado de la calefacción.

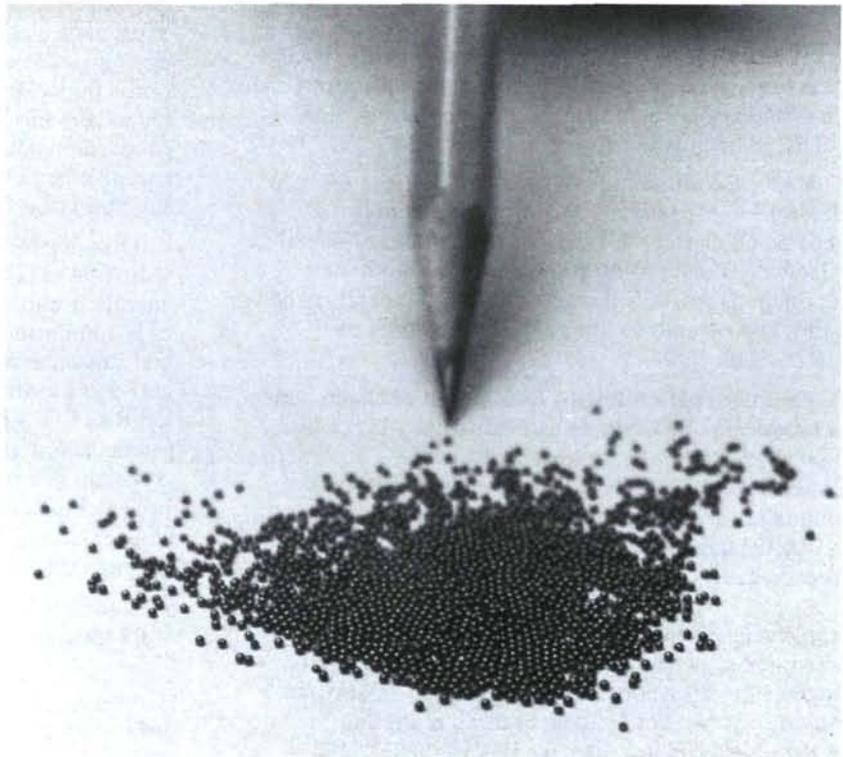
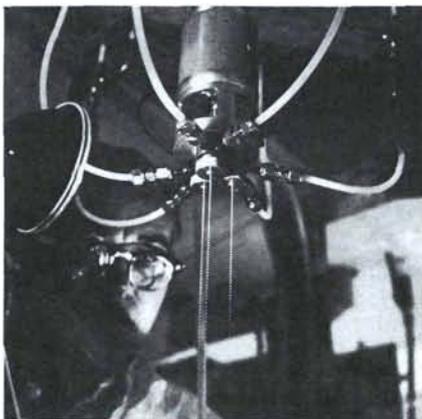
Un ejemplo típico de las aplicaciones del calor nuclear a los procesos industriales lo constituye el Bruce Bulk Steam System del Canadá. Durante más de diez años, los reactores nucleares Candu han suministrado vapor de mediana presión a una instalación cercana de agua pesada. En 1988, habrá ocho reactores de potencia Candu en explotación en ese lugar, cada uno de ellos con la capacidad de suministrar 800 MWe de electricidad, más un 13% adicional de su capacidad nominal para producir vapor de uso industrial.

En la República Federal de Alemania, la central nucleoelectrica Stade de Nordwestdeutsche Kraftwerke AG ha suministrado, desde finales de 1963, 60 toneladas de vapor por hora a una presión de 8 bares y una temperatura de 270°C. Aproximadamente, el 95% del vapor —que se transporta por tuberías a una distancia de unos 1,5 kilómetros— regresa en forma de condensado. Esta forma de suministrar el vapor es más económica que el proceso convencional que emplea gasoil.

Un ejemplo singular del empleo de un reactor rápido para la cogeneración es el BN-350 emplazado en Shevchenko, URSS. La generación eléctrica de este reactor es de 120 MW, en tanto que la mayor parte del calor del reactor se extrae del tercer circuito y se usa en una central de desalación de agua de mar que produce 50 000 metros cúbicos diarios de agua destilada.

* PIUS (Process Inherent Ultimate Safety.)

Con el propósito de ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles para el suministro de calor y electricidad, se están desarrollando reactores de alta temperatura refrigerados por gas (RATRIG) para producir electricidad y calor para uso industrial de hasta 950°C a partir de pequeñas partículas de combustible de uranio/torio revestidas, tales como las que se muestran aquí en primer plano y en producción. (Fotos cortesía de G.A. Technologies, Inc.)



Situación de las aplicaciones de alta temperatura

Dos técnicas fundamentalmente diferentes componen las aplicaciones del calor nuclear de alta temperatura: el uso de vapor de temperaturas de hasta 540°C y el uso directo del calor transferido mediante un intercambiador de calor a temperaturas de hasta 950°C.

Aplicaciones del vapor para usos industriales. Los reactores refrigerados por gas con refrigerantes primarios a temperaturas de 650°C (RARG) a 750°C (RATR) o superiores pueden producir vapor para usos industriales comparable al de los generadores de vapor alimentados con combustibles fósiles, por ejemplo, de 540°C y 180 bares. Este vapor de alta calidad satisface plenamente las necesidades de diversos complejos industriales y químicos. Entre las posibles esferas de aplicación del vapor nuclear para usos industriales se encuentran:

- La producción de aluminio
- La fabricación del acero
- La industria química
- La recuperación de petróleo
- La recuperación de esquisto bituminoso
- La recuperación de arena impregnada de brea
- La gasificación del carbón mediante el proceso de gasificación Lurgi o Exxon.

Estos procesos, basados en la tecnología existente, proporcionaron en poco tiempo vapor para uso industrial con el empleo de combustibles fósiles. La mayoría de estos procesos de alto consumo energético requieren grandes cantidades de vapor y energía eléctrica, lo que hace de la cogeneración una solución económica para satisfacer las necesidades.

Los reactores refrigerados por gas se adaptan a la cogeneración, ya que producen vapor de alta calidad que se puede emplear directamente en procesos industriales o se puede expandir en turbinas para generar energía eléctrica y vapor de uso industrial.

En el Reino Unido, se encuentran en servicio o en etapa avanzada de construcción varias unidades RARG para la generación de electricidad. En los Estados Unidos de América y la República Federal de Alemania, el RTRG comienza a aparecer en el mercado.

En los Estados Unidos de América, está en servicio desde 1976 el prototipo Fort St. Vrain para la generación de electricidad, y en la República Federal de Alemania comenzará su primer ensayo de potencia a principios de 1985 el reactor de alta temperatura de torio, que es también una central generadora de electricidad.

En ambos países, los RATRG se han diseñado para la producción de vapor de uso industrial y la cogeneración de electricidad. En los Estados Unidos de América, por ejemplo, se han realizado diversos estudios que apuntan hacia las grandes posibilidades de mercado para la cogeneración de vapor para uso industrial y electricidad.

Aplicaciones del calor para uso industrial. Los avances ocurridos en el desarrollo de los RATRG han dado origen a investigaciones en varios países —tales como Austria, los Estados Unidos, Francia, el Japón, la República Federal Alemana y la Unión Soviética—

Comparación del efecto en el medio ambiente de las centrales eléctricas y las instalaciones de gasificación alimentadas con carbón

Proceso	Calor de desecho (%)	CO ₂ (%)	SO ₂ (%)	NO _x (%)	Polvo (%)
Central eléctrica alimentada por carbón	100	100	100	100	100
Gasificación autotérmica	53	57	20	25	20
Vapor nuclear para uso industrial	63	31	0	0	0
Calor nuclear para uso industrial	37	31	0	0	0

sobre el uso de la energía térmica en régimen de alta temperatura de estos reactores para la gasificación del lignito y la antracita.

La gasificación directa del carbón requiere calor de uso industrial a temperaturas de 800 a 950°C. La gasificación nuclear del carbón disminuye el consumo de carbón en un factor de 1,6 a 1,7, en comparación con los métodos convencionales, eleva la eficiencia de la producción, reduce el costo de los productos finales y mejora notablemente los efectos sobre el medio ambiente. Según se muestra en el cuadro adjunto, es posible evitar por completo la contaminación con dióxido de azufre, óxido de nitrógeno y ceniza.

Hay varios procesos posibles para la conversión del carbón. Se están construyendo o se encuentran ya en servicio instalaciones semitécnicas y pilotos para la gasificación del carbón, con una capacidad de producción de hasta 200 toneladas de carbón diarias.*

De estos procesos se obtiene gas natural sucedáneo, que puede suministrarse directamente a las redes de gas existentes, o gas de síntesis, una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno. El gas de síntesis es una materia prima importante en diversos procesos industriales, como la reducción directa de mineral de hierro, la producción de amoníaco y de portadores líquidos secundarios de energía que pueden utilizarse para sustituir la gasolina.

Otra posible aplicación del calor nuclear de uso industrial es la transportación a grandes distancias de la energía por medio de gases. El principio fundamental es la combinación de una reacción química endotérmica (reformación de vapor de metano en monóxido de carbono e hidrógeno) que se produce en el emplazamiento del RATRG, y la reacción inversa exotérmica (metanación) en el emplazamiento de una zona de consumo de energía y calor. En consecuencia, la energía procedente del RATRG se envía posteriormente al consumidor en forma de energía asociada a un proceso químico ulterior.

Mediante la recombinación del monóxido de carbono y el hidrógeno en metano y agua pueden producirse

* Para más detalles, véase la publicación del OIEA *Status of and Prospects for Gas-Cooled Reactors*, Technical Reports Series No. 235 (abril de 1984).

temperaturas de hasta 600°C. En los Estados Unidos, la República Federal de Alemania y la Unión Soviética se desarrolla la mayoría de los trabajos relacionados con este proceso.*

La aplicación del calor industrial en régimen de alta temperatura posibilita también nuevos sistemas energéticos, tales como el "Sistema Energético Integrado Horizontalmente", que se fundamenta en el principio de descomponer antes de la combustión el hidrocarburo que sirve de materia prima. Esto da origen a tres productos básicos: el monóxido de carbono, el hidrógeno y el oxígeno, que pueden combinarse en diferentes proporciones para satisfacer la demanda de energía final del consumidor. La ventaja de este sistema energético es que apenas influye en el medio ambiente, incluso si se emplean como materia prima recursos de combustible fósil de baja calidad.

Como opción a largo plazo, puede producirse hidrógeno mediante la ruptura termoquímica del agua; el calor nuclear de uso industrial en régimen de alta temperatura proporcionará la energía calorífica necesaria. La introducción en gran escala de este proceso, que se estudia y se encuentra en servicio en escala experimental en algunos laboratorios de los Estados Unidos de América, Italia**, el Japón y la República Federal de Alemania, permitiría contar con un volumen casi ilimitado de energía, ya que se dispone de agua y uranio en abundancia.

El satisfactorio funcionamiento del AVR, un RATRG de lecho de gravilla de 45 MW (térmico), en servicio desde 1967 en la zona Kernforschungsanlage (KFA)-Jülich, demuestra la factibilidad de producir calor de uso industrial en régimen de alta temperatura. Los componentes del intercambio de calor necesarios para separar el helio caliente del reactor requieren aún de mayores trabajos de investigación y desarrollo, para que puedan pasar a la aplicación comercial.

En la actualidad, los programas internacionales se centran en la mayor cualificación de los materiales

* Para una descripción de la central modelo EVA II/ADAM II (30 MW), un sistema energético nuclear a larga distancia de ciclo cerrado que se encuentra en servicio en el Centro de Investigación Nuclear (KFA) en Jülich, República Federal de Alemania, véase *Status of and Prospects for Gas-Cooled Reactors*.

** En el Centro de Investigaciones Conjuntas Ispra-Euratom de Varese, Italia.

metálicos refractarios y el diseño, la fabricación y el ensayo de los elementos conductores y de intercambio de calor de los grandes circuitos de experimentación de helio. En esta esfera se han alcanzado notables avances en los últimos años. Se han desarrollado materiales refractarios que pueden soportar tensiones a 950°C. En la República Federal de Alemania los programas de ensayos de materiales han alcanzado una etapa que permite predecir a algunos componentes hasta 70 000 ó 100 000 horas de vida. Los intercambiadores de calor intermedio de helio/helio de 10 MW y los reformadores de vapor de 5 MW se encuentran en una etapa de construcción avanzada y se someterán a ensayos en 1985.

En los resultados de estos ensayos se fundamentarán las decisiones sobre el tipo y tamaño de una futura central prototipo para la generación de calor nuclear para uso industrial. En general, se espera que la tecnología de conversión del carbón esté lista para introducirla en el mercado en el decenio de 1990.

Posibilidades de asumir un papel esencial

Hace diez años, el problema que representaba la escasez de recursos de petróleo y gas baratos constituyó una motivación importante para la introducción de nuevas tecnologías encaminadas a sustituir o ahorrar estos portadores de energía. Posteriormente, la reducción del crecimiento económico y los esfuerzos que se han hecho en la conservación de la energía han provocado una demanda inferior a la prevista. Por tanto, en estos momentos parece haber abundancia de energía y el interés se centra menos en la necesidad de nuevas tecnologías.

Pero no debe pensarse solamente en el presente o en el futuro inmediato. Cuando se produzca un nuevo auge económico, se enfrentará un crecimiento de la demanda y es de prever que se produzca un déficit en el suministro energético. A diferencia de las conjeturas que se realizan respecto de los recursos físicos, es casi imposible pronosticar los acontecimientos que podrían afectar el suministro de energía. Por ende, constituye una tarea importante de todas las naciones la búsqueda de fuentes sustitutivas de energía. En lo que se refiere a la seguridad nacional y mundial del suministro energético del futuro, el calor nuclear puede comenzar a desempeñar un papel fundamental a partir del decenio de 1990.