

Energía nuclear para producir calor

*La generación simultánea de electricidad y calor
es una aplicación prometedora*

Como ha señalado el Consejo Mundial de la Energía, en los años venideros tendrá que aumentar el suministro de energía, sobre todo en el sector de la producción de electricidad, para satisfacer las necesidades de la creciente población mundial. Por otra parte, los problemas ambientales, incluido el efecto de invernadero vinculado a las emisiones de dióxido de carbono y otros gases provenientes del quemado de combustibles fósiles, plantean un grave peligro en opinión del Grupo Intergubernamental sobre Cambios Climáticos y otros organismos.

Esos problemas pueden resolverse con la energía nuclear, la que ya se ha convertido en una valiosa fuente de energía con importantes ventajas para el medio ambiente, y que en la actualidad representa un 17% de la producción mundial de electricidad.

Con todo, sólo se aprovecha parte del potencial de esta tecnología que puede contribuir aún más a garantizar el suministro de energía produciendo a la vez electricidad y calor para fines residenciales, industriales y de otro tipo.

Características del uso de la energía

Alrededor del 30% de la energía primaria total producida a nivel mundial se utiliza para generar electricidad. La mayor parte del 70% restante se emplea en el transporte o se transforma en agua caliente, vapor y calor. Esto denota la gran magnitud del mercado no eléctrico, en particular de agua caliente y vapor.

La energía nuclear ya se utiliza en más de 24 países para producir electricidad. Actualmente se explotan unas 423 centrales nucleares con una capacidad total aproximada de 324 gigavatios eléctricos (GWe) y se construyen más de 80 centrales con una capacidad total de aproximadamente 80 GWe. De ellas, sólo unas cuantas se utilizan para

suministrar agua caliente y vapor. La capacidad total de estas plantas es de menos de 5 gigavatios térmicos (GWt) y funcionan en unos pocos países, principalmente en el Canadá y la URSS.

Son múltiples las razones que explican la disparidad entre la producción de electricidad y la de calor a partir de la energía nuclear, entre ellas, la fragmentación del mercado de la cogeneración, el tamaño de las redes eléctricas, el bajo costo de otras fuentes de energía para producir calor y el alto costo del transporte y la distribución.

En las aplicaciones relacionadas con el calor, los requisitos concretos de temperatura varían mucho (véase el gráfico de la próxima página), y van desde temperaturas bajas, cercanas a la temperatura ambiente, para producir agua caliente y vapor para la agroindustria, suministrar calefacción urbana y desalinizar el agua de mar, hasta 1000°Celsius para proporcionar vapor y calor industrial a la industria química e inyectar vapor a alta presión a fin de mejorar la recuperación del petróleo, tratar los esquistos bituminosos y las arenas alquitranadas, refinar petróleo y producir olefina, y refinar carbón y lignito. El proceso de separación del agua para producir hidrógeno se sitúa en este último extremo. En las aplicaciones que requieren hasta unos 550° Celsius, el calor puede obtenerse del vapor, pero si la temperatura ha de ser superior, hay que servirse directamente del calor industrial, en que el vapor alcanza presiones muy superiores a 550°. El límite máximo de 1000° para el calor industrial de origen nuclear se ha fijado atendiendo a la capacidad de resistencia a largo plazo de los materiales metálicos del reactor.

Desde luego, hay procesos industriales, como en la producción de acero, que requieren temperaturas superiores a 1000°. En esos procesos sólo puede utilizarse energía nuclear, por medio de portadores energéticos secundarios, como la electricidad, el hidrógeno y el gas sintético.

Posibilidades de los reactores

El primer proceso que tiene lugar en el núcleo del reactor de todas las centrales nucleares es la

por H. Barnert,
V. Krett y
J. Kupitz

El Sr. Barnert trabaja en el Centro de Investigaciones de Juelich GmbH (Alemania), y los Sres. Krett y Kupitz son funcionarios de la División de Energía Nucleoeléctrica del OIEA.

conversión de energía nuclear en calor. Aunque en principio pueden emplearse todos los reactores nucleares para producir calor industrial, en la práctica dos criterios resultan decisivos: la temperatura del calor producido (del refrigerante primario) y la presión del vapor producido (en algunos casos).

por metal líquido (LMFBR) producen calor hasta 540°. Los reactores refrigerados por gas alcanzan temperaturas aun superiores: unos 650° los reactores avanzados refrigerados por gas y moderados por grafito (AGR), y 950° los reactores de alta temperatura refrigerados por gas y moderados por grafito (HTGR). (Véase el gráfico).

Otro aspecto importante que debe tenerse en cuenta, además de la temperatura máxima del refrigerante primario, es la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del refrigerante.

La presión del vapor producido es importante en la recuperación de petróleo mejorada: cuanto más profundo sea el yacimiento, tanto mayor tendrá que ser la presión del vapor inyectado. Aquí llevan ventaja los tipos de reactores con refrigerantes primarios distintos del agua (OCHWR, LMFBR, AGR y HTGR), en los cuales es fácil producir vapor de inyección a mayor presión (por ejemplo a 10 MPa) para yacimientos petrolíferos de unos de 500 metros de profundidad. Los reactores refrigerados por agua no podrían alcanzar tales presiones sin la compresión adicional del vapor.

Termodinámica de la generación de electricidad y calor

Como ya se ha indicado, el primer proceso que tiene lugar en un reactor nuclear es la conversión de energía nuclear en calor.

Ese calor puede utilizarse en una modalidad de funcionamiento «dedicada» a fines de calefacción directos, y en tal caso no se produce electricidad.

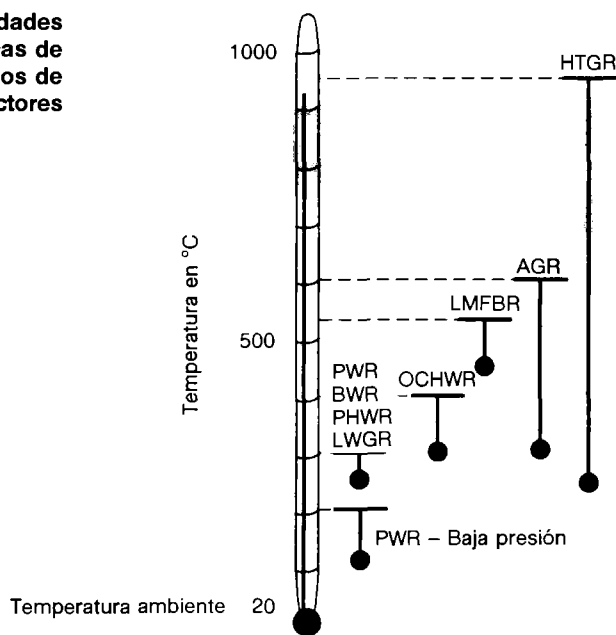
La otra modalidad es la cogeneración de calor y electricidad. La cogeneración paralela se logra extrayendo parte del vapor de la parte secundaria del generador de vapor antes de que entre en la turbina. La cogeneración en serie se logra extrayendo todo el vapor o parte de él en algún momento durante la expansión del vapor en la turbina cuando éste alcanza la temperatura necesaria para la aplicación prevista. Durante este ciclo, el vapor extraído se emplea también en la producción de electricidad. La cogeneración en serie es idónea para procesos industriales asociados con la calefacción urbana, la desalinización y la agricultura.

Ejemplos de aplicaciones actuales

Hoy algunos países explotan centrales nucleares para producir agua caliente y vapor, con una capacidad total equivalente a menos de 5 GWt.

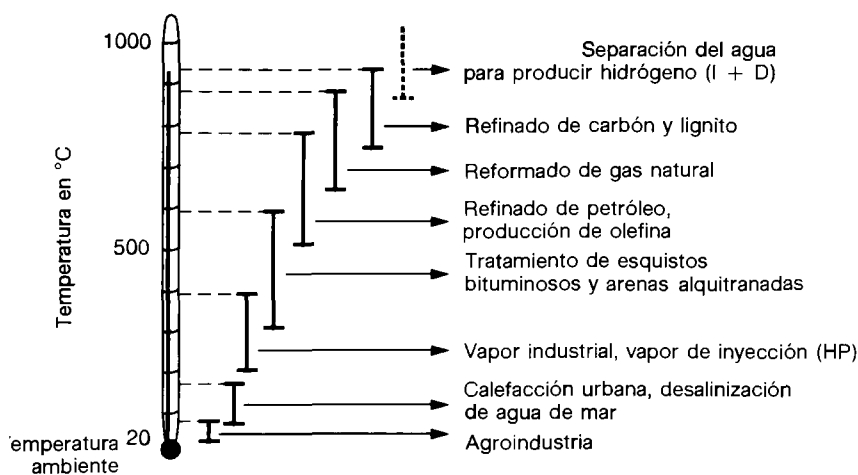
En estos países, especialmente en la Unión Soviética, se ha acumulado mucha experiencia en la cogeneración de electricidad y calor. En esta expe-

Posibilidades caloríficas de distintos tipos de reactores



En lo que respecta al primer factor, los reactores refrigerados por agua suministran calor hasta 300° Celsius. Entre estos tipos de reactores se incluyen los reactores de agua a presión (PWR), los reactores de agua en ebullición (BWR), los reactores de agua pesada a presión (PHWR) y los reactores refrigerados por agua ligera y moderados por grafito (LWGR). Los reactores de refrigeración orgánica y moderados por agua pesada (OCHWR) alcanzan temperaturas de unos 400°, mientras que los reactores reproductores rápidos refrigerados

Niveles de temperatura de consumo de calor en procesos industriales típicos



riencia han participado los reactores de Beloyarsky, Kursk, Novo Voronezh, Rovno y Kol'skaya en la Unión Soviética; la Universidad Tsinghua en China; Bruce Nuclear Power Development en el Canadá; Bohunice en Checoslovaquia; Goesgen y Beznau en Suiza y Stade en Alemania.

A continuación se ofrece un breve análisis técnico de algunas de estas aplicaciones.

Reactor de calor en China. En el Instituto de Tecnología de la Energía Nuclear (INET) de la Universidad Tsinghua, en Beijing, comenzó a funcionar en el invierno de 1989-1990 un reactor nuclear suministrador de calor con una capacidad de 5 MWt. El reactor, empleado para suministrar calefacción al INET, ha aportado una experiencia operacional muy positiva. Sus principios de diseño son similares a los de cualquier PWR. La presión de diseño del circuito primario es de 1,5 MPa (aproximadamente 10 veces menor que la de un PWR ordinario) y las temperaturas en el primer lazo son de 186/146 grados Celsius. En el lazo intermedio son de 160/110° a 1,7 MPa, y en la red de calor, de 90/60°.

Cogeneración paralela de vapor y calor industriales en el Canadá. Uno de los lugares donde se hace mayor uso del vapor industrial es la Bruce Nuclear Power Development Facility en Ontario, Canadá. Los PHWR Candu emplazados en el lugar son capaces de producir más de 6000 MWe de electricidad, así como vapor y calor industriales para su uso por la Ontario Hydro y una estación energética industrial colindante.

La central nuclear Bruce A consta de cuatro unidades de 825 MWe que generan electricidad, además de suministrar vapor a una planta transformadora de vapor. Dicha planta genera 720 MWt de calor y vapor industrial para plantas de producción de agua pesada, 70 MWt para el centro energético de Bruce y 3 MWt para servicios secundarios.

El ciclo es característico de la cogeneración paralela. El calor nuclear generado en el reactor se transfiere al generador de vapor por la vía del primer lazo de transferencia de calor. El vapor se extrae de la sección secundaria del generador de vapor, a la vez que se suministra a la turbina, y luego se envía directamente a la planta transformadora de vapor. El vapor extraído no se emplea para producir electricidad.

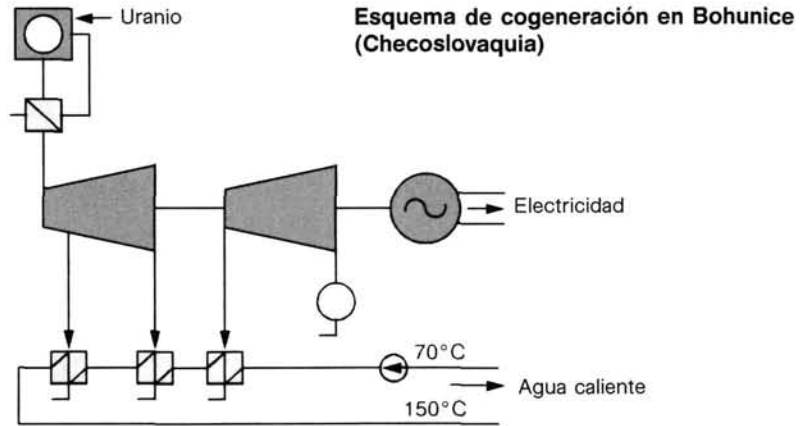
Cogeneración en serie de agua caliente con fines de calefacción urbana en Checoslovaquia. La central nuclear de Bohunice está compuesta por dos unidades VVER-440/230 y dos unidades VVER-440/213 de diseño soviético, todas en servicio. Cada una consta del reactor, con una potencia térmica de 1375 MWt, seis generadores de vapor horizontales y dos turbinas de condensación. Las unidades generan simultáneamente electricidad y calor de baja temperatura con fines de calefacción, industriales y agrícolas en la zona próxima a Tmava.

En el ciclo de cogeneración en serie, se calienta el agua a temperaturas de 70° y 150° Celsius; las turbinas son capaces de suministrar 60 MWt de calor. (Véase el diagrama de circulación simplificado.)

Cogeneración en serie para desalinizar agua de mar en la URSS. La explotación de los recursos naturales de las regiones áridas de Kazajstán occidental, en la URSS, fue posible una vez que fueron resueltos los problemas del suministro de agua y electricidad. En este esfuerzo desempeñó un papel importante el complejo Shevchenko, que comprende un reactor reproductor rápido tipo BN-350, tres estaciones termoeléctricas y una planta de desalinización con equipo de destilación térmica. El complejo constituye la primera, y por el momento la única, central de demostración del mundo en que se emplea un reactor nuclear para desalinizar agua de mar.

En dicho proceso, los generadores de vapor BN-350 y una unidad de calderas suministran vapor a varias turbinas. El vapor que sale de la unidad BN-350 a 4,5 MPa y 450°Celsius se envía a las turbinas de contrapresión y a la turbina de condensación. El vapor de las turbinas de contrapresión se suministra a las unidades de desalinización y a las empresas industriales de la ciudad.

El complejo Shevchenko es el mayor centro de desalinización térmica comercial de la URSS. En él funcionan 12 unidades de desalinización con una capacidad total de 140 000 metros cúbicos diarios de producto destilado.



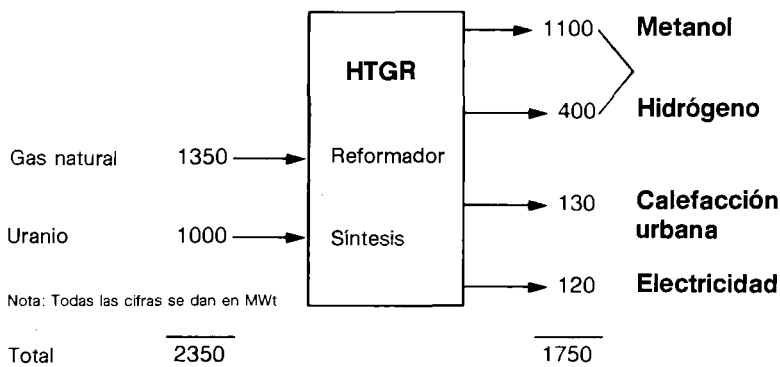
Aspectos económicos de la cogeneración nuclear

La generación de electricidad nuclear, así como la infraestructura para el transporte y la distribución de agua caliente y vapor, son tecnologías que requieren gran densidad de capital. Si bien las centrales nucleares han demostrado ser económicamente competitivas en lo que se refiere a la ge-

neración de electricidad, en las modalidades de cogeneración y producción de calor intervienen otros factores relacionados con los costos.

Para el cálculo puede aplicarse la regla empírica según la cual el costo del calor cogenerado es igual al costo de la electricidad dividido por el coeficiente de rendimiento de la central, lo que depende del tipo de reactor de que se trate y otros parámetros.*

Calor nuclear para el reformado de gas natural



A modo de ejemplo, aplicando esa regla se han calculado los costos de cogeneración, para un reactor modular de alta temperatura refrigerado por gas (MHTGR) en Alemania. En este caso, el costo de la electricidad equivale a 5 centavos de dólar por kilovatio-hora eléctrico; el costo del vapor, a 1,7 centavos de dólar por kilovatio-hora térmico y el costo del agua caliente, a 0,5 centavos de dólar por kilovatio-hora térmico. Estos son los costos nivelados para los cuarenta años de vida de un MHTGR.

Integración de la energía nuclear y la energía fósil

Más del 80% de la energía empleada en el mundo proviene de fuentes fósiles, como son el carbón, el petróleo y el gas. Es sabido que el quemado de estos combustibles causa graves problemas al medio ambiente debido a las emisiones de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono.

Para resolver estos problemas se ha propuesto la integración de los sistemas energéticos. Un

ejemplo típico de integración sería la aplicación de calor nuclear en el reformado de gas natural. (Véase el diagrama.) Con gas natural y uranio se produciría gas sintético, metanol, hidrógeno, calor y electricidad mediante lo que se conoce como proceso de reformado HTGR. Durante el proceso, el gas natural se descompone principalmente en hidrógeno y monóxido de carbono. Los productos principales son metanol, un hidrocarburo líquido, e hidrógeno. Los subproductos son el calor y la electricidad.

Otro ejemplo de esta vía de solución integrada se observa en la industria del petróleo, donde se han realizado varios estudios sobre el empleo de la energía nuclear como fuente de calor para la explotación de aceite pesado. Estos estudios han demostrado que en condiciones favorables del mercado del petróleo, la opción nuclear ofrece más ventajas ambientales que los métodos convencionales.

Un tercer ejemplo es la integración del carbón y la energía nuclear en la industria siderúrgica. Desde el punto de vista tecnológico, esta es la integración más ambiciosa, ya que requiere la gasificación de carbón de antracita calentado con helio a alta temperatura proveniente de un HTGR. Los productos intermedios son gas sintético y coque, que se utiliza para reducir el mineral de hierro. Los productos finales son metanol y hierro en lingotes.

Potencial prometedor

Hay muchos factores que alientan el uso de la capacidad de la mayoría de las centrales nucleares para suministrar vapor y calor con fines residenciales e industriales.

En algunos países, la cogeneración y la producción de calor por medio de reactores nucleares constituye ya un medio eficaz de satisfacer distintos tipos de necesidades energéticas. La posibilidad de aplicar más ampliamente esta tecnología parece alentadora y en el plano internacional está resurgiendo el interés por ella a medida que los problemas del medio ambiente y de otro tipo suscitan preocupaciones sobre el quemado de combustibles fósiles.

Como parte de su labor, en 1990 el OIEA convocó una reunión de expertos para que examinara la situación de la cogeneración basada en la energía nuclear y de los sistemas de suministro de calor. También se ha preparado para su publicación un documento técnico sobre las aplicaciones nucleares del suministro de vapor y agua caliente con vistas a ampliar el intercambio de experiencias en este campo.

Es posible que, con el aumento de las necesidades energéticas, esta tecnología, entre otras, merezca un análisis aún más detenido.

* El coeficiente de rendimiento se define concretamente como $c = H_b / \Delta E$, donde H_b es el calor producido y ΔE es la diferencia entre la electricidad generada en la modalidad de producción de electricidad solamente y en la modalidad de cogeneración.