

Introducción

Las observaciones del siglo XIX llevaron a la conclusión de que aunque la energía puede transformarse no se puede crear ni destruir. Este concepto, conocido como principio de conservación de la energía, constituye uno de los principios básicos de la mecánica clásica. Al igual que el principio de conservación de la materia, sólo se cumple en fenómenos que implican velocidades bajas en comparación con la velocidad de la luz. Cuando las velocidades se empiezan a aproximar a la de la luz, como ocurre en las reacciones nucleares, la materia puede transformarse en energía y viceversa. En la física moderna se unifican ambos conceptos, la conservación de la energía y de la masa.

Existen diferentes tipos de energía tales como la energía:

- Eólica, que es la energía del viento.
- Geotérmica, que es la energía de la tierra.
- Química, que es la energía de las pilas, los alimentos y combustibles.
- Hidroeléctrica, que es la energía del agua.
- Cinética, que es la energía de los movimientos de un cuerpo.
- Nuclear, que es la energía del núcleo del átomo.
- Calórica, que es la energía del calor.
- Luminosa, que es la energía de la luz.
- Mecánica, que es la energía de los motores.
- Potencial, que es la que almacena energía.
- Elástica, que es la energía de los resortes y elásticos.
- Solar, que es la energía del sol.
- De enlace, que es la energía que separan completamente los neutrones y protones que constituyen el núcleo de un átomo.
- Renovable, que es la energía que no se agotarían con el paso del tiempo.
- Ionización, que es la energía de la cantidad de energía que se necesita para separar el electrón menos fuertemente unido de un átomo neutro gaseoso en su estado fundamental (estado energético más bajo).

Energía cinética, energía que un objeto posee debido a su movimiento. La energía cinética depende de la masa y la velocidad del objeto según la ecuación

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

Donde m es la masa del objeto y v^2 la velocidad del mismo elevada al cuadrado. El valor de E también puede derivarse de la ecuación

$$E = (ma)d$$

Donde a es la aceleración de la masa m y d es la distancia a lo largo de la cual se acelera. Las relaciones entre la energía cinética y la energía potencial, y entre los conceptos de fuerza, distancia, aceleración y energía, pueden ilustrarse elevando un objeto y dejándolo caer.

Cuando el objeto se levanta desde una superficie se le aplica una fuerza vertical. Al actuar esa fuerza a lo largo de una distancia, se transfiere energía al objeto. La energía asociada a un objeto situado a determinada altura sobre una superficie se denomina energía potencial. Si se deja caer el objeto, la energía potencial se convierte en energía cinética. Véase Mecánica.

Energía de enlace, en física nuclear, la energía total necesaria para separar completamente los neutrones y protones que constituyen el núcleo de un átomo. La misma cantidad de energía se libera cuando estas partículas se combinan para formar un núcleo, con una ligera pérdida de masa. Según la relación de equivalencia de Einstein, la energía de enlace es igual a la diferencia de masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz. Los átomos más estables son los que tienen una mayor energía de enlace media (o promedio) por partícula nuclear.

Energía eólica, energía producida por el viento. La primera utilización de la capacidad energética del viento la constituye la navegación a vela. En ella, la fuerza del viento se utiliza para impulsar un barco. Barcos con velas aparecían ya en los grabados egipcios más antiguos (3000 a.C.). Los egipcios, los fenicios y más tarde los romanos tenían que utilizar también los remos para contrarrestar una característica esencial de la energía eólica, su discontinuidad. Efectivamente, el viento cambia de intensidad y de dirección de manera impredecible, por lo que había que utilizar los remos en los periodos de calma o cuando no sopla en la dirección deseada. Hoy, cuando se utilizan molinos para generar electricidad, se usan los acumuladores para producir electricidad durante un tiempo cuando el viento no sopla.

Otra característica de la energía producida por el viento es su infinita disponibilidad en función lineal a la superficie expuesta a su incidencia. En los barcos, a mayor superficie vélica mayor velocidad. En los parques eólicos, cuantos más molinos haya, más potencia en bornes de la central. En los veleros, el aumento de superficie vélica tiene limitaciones mecánicas (se rompe el mástil o vuelca el barco). En los parques eólicos las únicas limitaciones al aumento del número de molinos son las urbanísticas.

Energía, capacidad de un sistema físico para realizar trabajo. La materia posee energía como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella. La radiación electromagnética posee energía que depende de su frecuencia y, por tanto, de su longitud de onda. Esta energía se comunica a la materia cuando absorbe radiación y se recibe de la materia cuando emite radiación. La energía asociada al movimiento se conoce como energía cinética, mientras que la relacionada con la posición es la energía potencial. Por ejemplo, un péndulo que oscila tiene una energía potencial máxima en los extremos de su recorrido; en todas las posiciones intermedias tiene energía cinética y potencial en proporciones diversas. La energía se manifiesta en varias formas, entre ellas la energía mecánica, térmica, química, eléctrica, radiante o atómica. Todas las formas de energía pueden convertirse en otras formas mediante los procesos adecuados. En el proceso de transformación puede perderse o ganarse una forma de energía, pero la suma total permanece constante.

Un peso suspendido de una cuerda tiene energía potencial debido a su posición, puesto que puede realizar trabajo al caer. Una batería eléctrica tiene energía potencial en forma química. Un trozo de magnesio también tiene energía potencial en forma química, que se transforma en calor y luz si se inflama. Al disparar un fusil, la energía potencial de la pólvora se transforma en la energía cinética del proyectil. La energía cinética del rotor de una dinamo o alternador se convierte en energía eléctrica mediante la inducción electromagnética. Esta energía eléctrica puede a su vez almacenarse como energía potencial de las cargas eléctricas en un condensador o una batería, disiparse en forma de calor o emplearse para realizar trabajo en un dispositivo eléctrico. Todas las formas de energía tienden a transformarse en calor, que es la forma más degradada de la energía. En los dispositivos mecánicos la energía no empleada para realizar trabajo útil se disipa como calor de rozamiento, y las pérdidas de los circuitos eléctricos se producen fundamentalmente en forma de calor.

Energía hidráulica, energía que se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas. La hidroelectricidad es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos, aunque el coste de mantenimiento de una central térmica, debido al combustible, sea más caro que el de una central hidroeléctrica. Sin embargo, el peso de las consideraciones

medioambientales centra la atención en estas fuentes de energía renovables.

Desarrollo de la energía hidroeléctrica

La primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

La tecnología de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante el siglo XX. Las centrales dependen de un gran embalse de agua contenido por una presa. El caudal de agua se controla y se puede mantener casi constante. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas y turbinas para adecuar el flujo de agua con respecto a la demanda de electricidad. El agua que entra en la turbina sale por los canales de descarga. Los generadores están situados justo encima de las turbinas y conectados con árboles verticales. El diseño de las turbinas depende del caudal de agua; las turbinas Francis se utilizan para caudales grandes y saltos medios y bajos, y las turbinas Pelton para grandes saltos y pequeños caudales.

Además de las centrales situadas en presas de contención, que dependen del embalse de grandes cantidades de agua, existen algunas centrales que se basan en la caída natural del agua, cuando el caudal es uniforme. Estas instalaciones se llaman de agua fluente. Una de ellas es la de las Cataratas del Niágara, situada en la frontera entre Estados Unidos y Canadá.

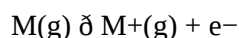
A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de hidroelectricidad eran Canadá y Estados Unidos. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas. En todo el mundo, la hidroelectricidad representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los países en los que constituye fuente de electricidad más importante son Noruega (99%), Zaire (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay; se inauguró en 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo. Como referencia, la presa Grand Coulee, en Estados Unidos, genera unos 6.500 Mw y es una de las más grandes.

En algunos países se han instalado centrales pequeñas, con capacidad para generar entre un kilovatio y un megavatio. En muchas regiones de China, por ejemplo, estas pequeñas presas son la principal fuente de electricidad. Otras naciones en vías de desarrollo están utilizando este sistema con buenos resultados.

Energía de ionización, cantidad de energía que se necesita para separar el electrón menos fuertemente unido de un átomo neutro gaseoso en su estado fundamental (estado energético más bajo). La entidad en que se transforma el átomo al perder un electrón es un ion gaseoso monopositivo.

Esta definición corresponde a la primera energía de ionización. Se denomina segunda energía de ionización a la que se necesita para extraer de un ion gaseoso monopositivo el electrón menos fuertemente unido. Las sucesivas energías de ionización se definen de manera semejante.

Estas energías se determinan por interpretación de los espectros de emisión o de absorción, y a través de experiencias directas en las que se mide la variación de energía que tiene lugar en el proceso:



Donde M representa un átomo de cualquier elemento.

Las energías de ionización varían de la misma forma a lo largo de cada periodo y de cada grupo de la tabla periódica. Dentro de cada periodo, los metales alcalinos tienen la mínima energía de ionización, y los gases

nobles la máxima. Dentro de cada grupo, la energía de ionización disminuye a medida que aumenta el tamaño de los átomos, es decir, al descender en el grupo.

Energía nuclear, energía liberada durante la fisión o fusión de núcleos atómicos. Las cantidades de energía que pueden obtenerse mediante procesos nucleares superan con mucho a las que pueden lograrse mediante procesos químicos, que sólo implican las regiones externas del átomo.

La energía de cualquier sistema, ya sea físico, químico o nuclear, se manifiesta por su capacidad de realizar trabajo o liberar calor o radiación. La energía total de un sistema siempre se conserva, pero puede transferirse a otro sistema o convertirse de una forma a otra.

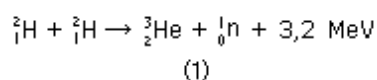
Hasta el siglo XIX, el principal combustible era la leña, cuya energía procede de la energía solar acumulada por las plantas. Desde la Revolución Industrial, los seres humanos dependen de los combustibles fósiles carbón o petróleo, que también constituyen energía solar almacenada. Cuando se quema un combustible fósil como el carbón, los átomos de hidrógeno y carbono que lo constituyen se combinan con los átomos de oxígeno del aire; se produce agua y dióxido de carbono y se libera calor, unos 1,6 kilovatios hora por kilogramo de carbón, o unos 10 electrovoltios (eV) por átomo de carbono. Esta cantidad de energía es típica de las reacciones químicas que corresponden a cambios en la estructura electrónica de los átomos. Parte de la energía liberada como calor mantiene el combustible adyacente a una temperatura suficientemente alta para que la reacción continúe.

El átomo

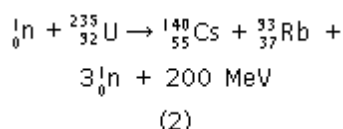
El átomo está formado por un pequeño núcleo, cargado positivamente, rodeado de electrones. El núcleo, que contiene la mayor parte de la masa del átomo, está compuesto a su vez de neutrones y protones, unidos por fuerzas nucleares muy intensas, mucho mayores que las fuerzas eléctricas que ligan los electrones al núcleo. El número másico A de un núcleo expresa el número de nucleones (neutrones y protones) que contiene; el número atómico Z es el número de protones, partículas con carga positiva. Los núcleos se designan como δX ; por ejemplo, la expresión δU representa el uranio 235. Véase Isótopo.

La energía de enlace de un núcleo mide la intensidad con que las fuerzas nucleares mantienen ligados a los protones y neutrones. La energía de enlace por nucleón, es decir, la energía necesaria para separar del núcleo un neutrón o un protón, depende del número másico. La curva de las energías de enlace (ver tabla *Energía de enlace nuclear*) implica que si dos núcleos ligeros, que ocupan posiciones muy bajas en la tabla, se fusionan para formar un núcleo de mayor peso (o si un núcleo pesado, que ocupa posiciones muy altas en la tabla, se divide en dos de menor peso), los núcleos resultantes están ligados con más fuerza, por lo que se libera energía.

La fusión de dos núcleos ligeros libera millones de electrovoltios (MeV), como ocurre cuando dos núcleos de hidrógeno pesado o deuterones (δH) se combinan según la reacción



para producir un núcleo de helio 3, un neutrón libre (δn) y 3,2 MeV, o $5,1 \times 10^{-13}$ julios (J). También se libera energía nuclear cuando se induce la fisión de un núcleo pesado como el δU mediante la absorción de un neutrón, como en la reacción



que produce cesio 140, rubidio 93, tres neutrones y 200 MeV, o $3,2 \times 10^{-11}$ J. Una reacción de fisión nuclear libera una energía 10 millones de veces mayor que una reacción química típica. Véase Física nuclear.

Energía nuclear de fisión

Las dos características fundamentales de la fisión nuclear en cuanto a la producción práctica de energía nuclear resultan evidentes en la ecuación (2) expuesta anteriormente. En primer lugar, la energía liberada por la fisión es muy grande. La fisión de 1 kg de uranio 235 libera 18,7 millones de kilovatios hora en forma de calor. En segundo lugar, el proceso de fisión iniciado por la absorción de un neutrón en el uranio 235 libera un promedio de 2,5 neutrones en los núcleos fisionados. Estos neutrones provocan rápidamente la fisión de varios núcleos más, con lo que liberan otros cuatro o más neutrones adicionales e inician una serie de fisiones nucleares automantenidas, una reacción en cadena que lleva a la liberación continuada de energía nuclear.

El uranio presente en la naturaleza sólo contiene un 0,71% de uranio 235; el resto corresponde al isótopo no fisionable uranio 238. Una masa de uranio natural, por muy grande que sea, no puede mantener una reacción en cadena, porque sólo el uranio 235 es fácil de fisionar. Es muy improbable que un neutrón producido por fisión, con una energía inicial elevada de aproximadamente 1 MeV, inicie otra fisión, pero esta probabilidad puede aumentarse cientos de veces si se frena el neutrón a través de una serie de colisiones elásticas con núcleos ligeros como hidrógeno, deuterio o carbono. En ello se basa el diseño de los reactores de fisión empleados para producir energía.

En diciembre de 1942, en la Universidad de Chicago (EEUU), el físico italiano Enrico Fermi logró producir la primera reacción nuclear en cadena. Para ello empleó un conjunto de bloques de uranio natural distribuidos dentro de una gran masa de grafito puro (una forma de carbono). En la 'pila' o reactor nuclear de Fermi, el 'moderador' de grafito frenaba los neutrones y hacía posible la reacción en cadena.

Reactores de energía nuclear

Los primeros reactores nucleares a gran escala se construyeron en 1944 en Hanford, en el estado de Washington (EEUU), para la producción de material para armas nucleares. El combustible era uranio natural; el moderador, grafito. Estas plantas producían plutonio mediante la absorción de neutrones por parte del uranio 238; el calor generado no se aprovechaba.

Reactores de agua ligera y pesada

En todo el mundo se han construido diferentes tipos de reactores (caracterizados por el combustible, moderador y refrigerante empleados) para la producción de energía eléctrica. Por ejemplo, en Estados Unidos, con pocas excepciones, los reactores para la producción de energía emplean como combustible nuclear óxido de uranio isotópicamente enriquecido, con un 3% de uranio 235. Como moderador y refrigerante se emplea agua normal muy purificada. Un reactor de este tipo se denomina reactor de agua ligera (RAL).

En el reactor de agua a presión (RAP), una versión del sistema RAL, el refrigerante es agua a una presión de unas 150 atmósferas. El agua se bombea a través del núcleo del reactor, donde se calienta hasta unos 325 °C. El agua sobrecalentada se bombea a su vez hasta un generador de vapor, donde a través de intercambiadores de calor calienta un circuito secundario de agua, que se convierte en vapor. Este vapor propulsa uno o más generadores de turbinas que producen energía eléctrica, se condensa, y es bombeado de nuevo al generador de vapor. El circuito secundario está aislado del agua del núcleo del reactor, por lo que no es radiactivo. Para condensar el vapor se emplea un tercer circuito de agua, procedente de un lago, un río o una torre de refrigeración. La vasija presurizada de un reactor típico tiene unos 15 m de altura y 5 m de diámetro, con paredes de 25 cm de espesor. El núcleo alberga unas 80 toneladas de óxido de uranio, contenidas en tubos delgados resistentes a la corrosión y agrupados en un haz de combustible.

En el reactor de agua en ebullición (RAE), otro tipo de RAL, el agua de refrigeración se mantiene a una presión algo menor, por lo que hierve dentro del núcleo. El vapor producido en la vasija presurizada del reactor se dirige directamente al generador de turbinas, se condensa y se bombea de vuelta al reactor. Aunque el vapor es radiactivo, no existe un intercambiador de calor entre el reactor y la turbina, con el fin de aumentar la eficiencia. Igual que en el RAP, el agua de refrigeración del condensador procede de una fuente independiente, como un lago o un río.

El nivel de potencia de un reactor en funcionamiento se mide constantemente con una serie de instrumentos térmicos, nucleares y de flujo. La producción de energía se controla insertando o retirando del núcleo un grupo de barras de control que absorben neutrones. La posición de estas barras determina el nivel de potencia en el que la reacción en cadena se limita a automantenerse.

Durante el funcionamiento, e incluso después de su desconexión, un reactor grande de 1.000 megavatios (MW) contiene una radiactividad de miles de millones de curios. La radiación emitida por el reactor durante su funcionamiento y por los productos de la fisión después de la desconexión se absorbe mediante blindajes de hormigón de gran espesor situados alrededor del reactor y del sistema primario de refrigeración. Otros sistemas de seguridad son los sistemas de emergencia para refrigeración de este último, que impiden el sobrecalentamiento del núcleo en caso de que no funcionen los sistemas de refrigeración principales. En la mayoría de los países también existe un gran edificio de contención de acero y hormigón para impedir la salida al exterior de elementos radiactivos que pudieran escapar en caso de una fuga.

Aunque al principio de la década de 1980 había 100 centrales nucleares en funcionamiento o en construcción en Estados Unidos, tras el accidente de Three Mile Island (ver más adelante) la preocupación por la seguridad y los factores económicos se combinaron para bloquear el crecimiento de la energía nuclear. Desde 1979, no se han encargado nuevas centrales nucleares en Estados Unidos y no se ha permitido el funcionamiento de algunas centrales ya terminadas. En 1990, alrededor del 20% de la energía eléctrica generada en Estados Unidos procedía de centrales nucleares, mientras que este porcentaje es casi del 75% en Francia.

En el periodo inicial del desarrollo de la energía nuclear, en los primeros años de la década de 1950, sólo disponían de uranio enriquecido Estados Unidos y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Por ello, los programas de energía nuclear de Canadá, Francia y Gran Bretaña se centraron en reactores de uranio natural, donde no puede emplearse como moderador agua normal porque absorbe demasiados neutrones. Esta limitación llevó a los ingenieros canadienses a desarrollar un reactor enfriado y moderado por óxido de deuterio (D₂O), también llamado agua pesada. El sistema de reactores canadienses de deuterio-uranio (CANDU), empleado en 20 reactores, ha funcionado satisfactoriamente, y se han construido centrales similares en la India, Argentina y otros países.

En Gran Bretaña y Francia, los primeros reactores de generación de energía a gran escala utilizaban como combustible barras de metal de uranio natural, moderadas por grafito y refrigeradas por dióxido de carbono (CO₂) gaseoso a presión. En Gran Bretaña, este diseño inicial fue sustituido por un sistema que emplea como combustible uranio enriquecido. Más tarde se introdujo un diseño mejorado de reactor, el llamado reactor avanzado refrigerado por gas (RAG). En la actualidad, la energía nuclear representa casi una cuarta parte de la generación de electricidad en el Reino Unido. En Francia, el tipo inicial de reactor se reemplazó por el RAP de diseño estadounidense cuando las plantas francesas de enriquecimiento isotópico empezaron a proporcionar uranio enriquecido. Rusia y los otros Estados de la antigua URSS tienen un amplio programa nuclear, con sistemas moderados por grafito y RAP. A principios de la década de 1990, estaban en construcción en todo el mundo más de 120 nuevas centrales nucleares.

En España, la tecnología adoptada en los reactores de las centrales nucleares es del tipo de agua ligera; sólo la central de Vandellòs tiene reactor de grafito refrigerado con CO₂.

Reactores de propulsión

Para la propulsión de grandes buques de superficie, como el portaaviones estadounidense *Nimitz*, se emplean reactores nucleares similares al RAP. La tecnología básica del sistema RAP fue desarrollada por primera vez en el programa estadounidense de reactores navales dirigido por el almirante Hyman George Rickover. Los reactores para propulsión de submarinos suelen ser más pequeños y emplean uranio muy enriquecido para que el núcleo pueda ser más compacto. Estados Unidos, Gran Bretaña, Rusia y Francia disponen de submarinos nucleares equipados con este tipo de reactores.

Estados Unidos, Alemania y Japón utilizaron durante periodos limitados tres cargueros oceánicos experimentales con propulsión nuclear. Aunque tuvieron éxito desde el punto de vista técnico, las condiciones económicas y las estrictas normas portuarias obligaron a suspender dichos proyectos. Los soviéticos construyeron el primer rompehielos nuclear, el *Lenin*, para emplearlo en la limpieza de los pasos navegables del Ártico.

Reactores de investigación

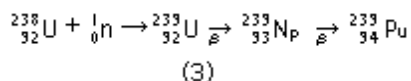
En muchos países se han construido diversos reactores nucleares de pequeño tamaño para su empleo en formación, investigación o producción de isótopos radiactivos. Estos reactores suelen funcionar con niveles de potencia del orden de 1 MW, y es más fácil conectarlos y desconectarlos que los reactores más grandes utilizados para la producción de energía.

Una variedad muy empleada es el llamado reactor de piscina. El núcleo está formado por material parcial o totalmente enriquecido en uranio 235, contenido en placas de aleación de aluminio y sumergido en una gran piscina de agua que sirve al mismo tiempo de refrigerante y de moderador. Pueden colocarse sustancias directamente en el núcleo del reactor o cerca de éste para ser irradiadas con neutrones. Con este reactor pueden producirse diversos isótopos radiactivos para su empleo en medicina, investigación e industria (véase Isótopo trazador). También pueden extraerse neutrones del núcleo del reactor mediante tubos de haces, para utilizarlos en experimentos.

Reactores autorregenerativos

Existen yacimientos de uranio, la materia prima en la que se basa la energía nuclear, en diversas regiones del mundo. No se conoce con exactitud sus reservas totales, pero podrían ser limitadas a no ser que se empleen fuentes de muy baja concentración, como granitos y esquistos. Un sistema ordinario de energía nuclear tiene un periodo de vida relativamente breve debido a su muy baja eficiencia en el uso del uranio: sólo aprovecha aproximadamente el 1% del contenido energético del uranio.

La característica fundamental de un 'reactor autorregenerativo' es que produce más combustible del que consume. Lo consigue fomentando la absorción de los neutrones sobrantes por un llamado material fértil. Existen varios sistemas de reactor autorregenerativo técnicamente factibles. El que más interés ha suscitado en todo el mundo emplea uranio 238 como material fértil. Cuando el uranio 238 absorbe neutrones en el reactor, se convierte en un nuevo material fisionable, el plutonio, a través de un proceso nuclear conocido como desintegración β^- (beta). La secuencia de las reacciones nucleares es la siguiente:



En la desintegración beta, un neutrón del núcleo se desintegra para dar lugar a un protón y una partícula beta.

Cuando el plutonio 239 absorbe un neutrón, puede producirse su fisión, y se libera un promedio de unos 2,8 neutrones. En un reactor en funcionamiento, uno de esos neutrones se necesita para producir la siguiente fisión y mantener en marcha la reacción en cadena. Una media o promedio de 0,5 neutrones se pierden por absorción en la estructura del reactor o el refrigerante. Los restantes 1,3 neutrones pueden ser absorbidos por

el uranio 238 para producir más plutonio a través de las reacciones indicadas en la ecuación (3).

El sistema autorregenerativo a cuyo desarrollo se ha dedicado más esfuerzo es el llamado reactor autorregenerativo rápido de metal líquido (RARML). Para maximizar la producción de plutonio 239, la velocidad de los neutrones que causan la fisión debe mantenerse alta, con una energía igual o muy poco menor que la que tenían al ser liberados. El reactor no puede contener ningún material moderador, como el agua, que pueda frenar los neutrones. El líquido refrigerante preferido es un metal fundido como el sodio líquido. El sodio tiene muy buenas propiedades de transferencia de calor, funde a unos 100 °C y no hierve hasta unos 900 °C. Sus principales desventajas son su reactividad química con el aire y el agua y el elevado nivel de radiactividad que se induce en el sodio dentro del reactor.

En Estados Unidos, el desarrollo del sistema RARML comenzó antes de 1950, con la construcción del primer reactor autorregenerativo experimental, el llamado EBR-1. Un programa estadounidense más amplio en el río Clinch fue cancelado en 1983, y sólo se ha continuado el trabajo experimental. En Gran Bretaña, Francia, Rusia y otros Estados de la antigua URSS funcionan reactores autorregenerativos, y en Alemania y Japón prosiguen los trabajos experimentales.

En uno de los diseños para una central RARML de gran tamaño, el núcleo del reactor está formado por miles de tubos delgados de acero inoxidable que contienen un combustible compuesto por una mezcla de óxido de plutonio y uranio: un 15 o un 20% de plutonio 239 y el resto uranio. El núcleo está rodeado por una zona llamada capa fértil, que contiene barras similares llenas exclusivamente de óxido de uranio. Todo el conjunto de núcleo y capa fértil mide unos 3 m de alto por unos 5 m de diámetro, y está montado en una gran vasija que contiene sodio líquido que sale del reactor a unos 500 °C. Esta vasija también contiene las bombas y los intercambiadores de calor que ayudan a eliminar calor del núcleo. El vapor se genera en un circuito secundario de sodio, separado del circuito de refrigeración del reactor (radiactivo) por los intercambiadores de calor intermedios de la vasija del reactor. Todo el sistema del reactor nuclear está situado dentro de un gran edificio de contención de acero y hormigón.

La primera central a gran escala de este tipo empleada para la generación de electricidad, la llamada Super-Phénix, comenzó a funcionar en Francia en 1984. En las costas del mar Caspio se ha construido una central de escala media, la BN-600, para producción de energía y desalinización de agua. En Escocia existe un prototipo de gran tamaño con 250 megavatios.

El RARML produce aproximadamente un 20% más de combustible del que consume. En un reactor grande, a lo largo de 20 años se produce suficiente combustible para cargar otro reactor de energía similar. En el sistema RARML se aprovecha aproximadamente el 75% de la energía contenida en el uranio natural, frente al 1% del RAL.

Combustibles y residuos nucleares

Los combustibles peligrosos empleados en los reactores nucleares presentan problemas para su manejo, sobre todo en el caso de los combustibles agotados, que deben ser almacenados o eliminados de alguna forma.

El ciclo del combustible nuclear

Cualquier central de producción de energía eléctrica es sólo parte de un ciclo energético global. El ciclo del combustible de uranio empleado en los sistemas RAL es actualmente el más importante en la producción mundial de energía nuclear, y conlleva muchas etapas. El uranio, con un contenido de aproximadamente el 0,7% de uranio 235, se obtiene en minas subterráneas o a cielo abierto. El mineral se concentra mediante trituración y se transporta a una planta de conversión, donde el uranio se transforma en el gas hexafluoruro de uranio (UF₆). En una planta de enriquecimiento isotópico por difusión, el gas se hace pasar a presión por una barrera porosa. Las moléculas que contienen uranio 235, más ligeras, atraviesan la barrera con más facilidad

que las que contienen uranio 238. Este proceso enriquece el uranio hasta alcanzar un 3% de uranio 235. Los residuos, o uranio agotado, contienen aproximadamente el 0,3% de uranio 235. El producto enriquecido se lleva a una planta de fabricación de combustible, donde el gas UF₆ se convierte en óxido de uranio en polvo y posteriormente en bloques de cerámica que se cargan en barras de combustible resistentes a la corrosión. Estas barras se agrupan en elementos de combustible y se transportan a la central nuclear.

Un reactor de agua a presión típico de 1.000 MW tiene unos 200 elementos de combustible, de los que una tercera parte se sustituye cada año debido al agotamiento del uranio 235 y a la acumulación de productos de fisión que absorben neutrones. Al final de su vida, el combustible es enormemente radiactivo debido a los productos de fisión que contiene, por lo que sigue desprendiendo una cantidad de energía considerable. El combustible extraído se coloca en piscinas de almacenamiento llenas de agua situadas en las instalaciones de la central, donde permanece un año o más.

Al final del periodo de enfriamiento, los elementos de combustible agotados se envían en contenedores blindados a una instalación de almacenamiento permanente o a una planta de reprocesamiento químico, donde se recuperan el uranio no empleado y el plutonio 239 producido en el reactor, y se concentran los residuos radiactivos.

El combustible agotado todavía contiene casi todo el uranio 238 original, aproximadamente un tercio del uranio 235 y parte del plutonio 239 producido en el reactor. Cuando el combustible agotado se almacena de forma permanente, se desperdicia todo este contenido potencial de energía. Cuando el combustible se reprocesa, el uranio se recicla en la planta de difusión, y el plutonio 239 recuperado puede sustituir parcialmente al uranio 235 en los nuevos elementos de combustible.

En el ciclo de combustible del RARML, el plutonio generado en el reactor siempre se recicla para emplearlo como nuevo combustible. Los materiales utilizados en la planta de fabricación de elementos de combustible son uranio 238 reciclado, uranio agotado procedente de la planta de separación isotópica y parte del plutonio 239 recuperado. No es necesario extraer uranio adicional en las minas, puesto que las existencias actuales de las plantas de separación podrían suministrar durante siglos a los reactores autorregenerativos. Como estos reactores producen más plutonio 239 del que necesitan para renovar su propio combustible, aproximadamente el 20% del plutonio recuperado se almacena para su uso posterior en el arranque de nuevos reactores autorregenerativos.

El paso final en cualquiera de los ciclos de combustible es el almacenamiento a largo plazo de los residuos altamente radiactivos, que continúan presentando peligro para los seres vivos durante miles de años. Varias tecnologías parecen satisfactorias para el almacenamiento seguro de los residuos, pero no se han construido instalaciones a gran escala para demostrar el proceso. Los elementos de combustible pueden almacenarse en depósitos blindados y vigilados hasta que se tome una decisión definitiva sobre su destino, o pueden ser transformados en compuestos estables, fijados en material cerámico o vidrio, encapsulados en bidones de acero inoxidable y enterrados a gran profundidad en formaciones geológicas muy estables.

Seguridad nuclear

La preocupación de la opinión pública en torno a la aceptabilidad de la energía nuclear procedente de la fisión se debe a dos características básicas del sistema. La primera es el elevado nivel de radiactividad que existe en diferentes fases del ciclo nuclear, incluida la eliminación de residuos. La segunda es el hecho de que los combustibles nucleares uranio 235 y plutonio 239 son los materiales con que se fabrican las armas nucleares. Véase Lluvia radiactiva.

En la década de 1950 se pensó que la energía nuclear podía ofrecer un futuro de energía barata y abundante. La industria energética confiaba en que la energía nuclear sustituyera a los combustibles fósiles, cada vez más escasos, y disminuyera el coste de la electricidad. Los grupos preocupados por la conservación de los recursos

naturales preveían una reducción de la contaminación atmosférica y de la minería a cielo abierto. La opinión pública era en general favorable a esta nueva fuente de energía, y esperaba que el uso de la energía nuclear pasara del terreno militar al civil. Sin embargo, después de esta euforia inicial, crecieron las reservas en torno a la energía nuclear a medida que se estudiaban más profundamente las cuestiones de seguridad nuclear y proliferación de armamento. En todos los países del mundo existen grupos opuestos a la energía nuclear, y las normas estatales se han hecho complejas y estrictas. Suecia, por ejemplo, pretende limitar su programa a unos 10 reactores. Austria ha cancelado su programa. En cambio, Gran Bretaña, Francia, Alemania y Japón siguen avanzando en este terreno.

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) es el organismo encargado de velar en España por la seguridad nuclear y la protección radiológica. Informa sobre la concesión o retirada de autorizaciones, inspecciona la construcción, puesta en marcha y explotación de instalaciones nucleares o radiactivas, participa en la confección de planes de emergencia y promueve la realización de trabajos de investigación.

Riesgos radiológicos

Los materiales radiactivos emiten radiación ionizante penetrante que puede dañar los tejidos vivos. La unidad que suele emplearse para medir la dosis de radiación equivalente en los seres humanos es el milisievert. La dosis de radiación equivalente mide la cantidad de radiación absorbida por el organismo, corregida según la naturaleza de la radiación puesto que los diferentes tipos de radiación son más o menos nocivos. En el caso del Reino Unido, por ejemplo, cada individuo está expuesto a unos 2,5 milisieverts anuales por la radiación de fondo procedente de fuentes naturales. Los trabajadores de la industria nuclear están expuestos a unos 4,5 milisieverts (aproximadamente igual que las tripulaciones aéreas, sometidas a una exposición adicional a los rayos cósmicos). La exposición de un individuo a 5 sieverts suele causar la muerte. Una gran población expuesta a bajos niveles de radiación experimenta aproximadamente un caso de cáncer adicional por cada 10 sieverts de dosis equivalente total. Por ejemplo, si una población de 10.000 personas está expuesta a una dosis de 10 milisieverts por individuo, la dosis total será de 100 sieverts, por lo que habrá 10 casos de cáncer debidos a la radiación (además de los cánceres producidos por otras causas). Véase Efectos biológicos de la radiación.

En la mayoría de las fases del ciclo de combustible nuclear pueden existir riesgos radiológicos. El gas radón, radiactivo, es un contaminante frecuente en las minas subterráneas de uranio. Las operaciones de extracción y trituración del mineral producen grandes cantidades de material que contiene bajas concentraciones de uranio. Estos residuos tienen que ser conservados en fosas impermeables y cubiertos por una capa de tierra de gran espesor para evitar su liberación indiscriminada en la biosfera.

Las plantas de enriquecimiento de uranio y de fabricación de combustible contienen grandes cantidades de hexafluoruro de uranio (UF₆), un gas corrosivo. Sin embargo, el riesgo radiológico es menor, y las precauciones habituales que se toman con las sustancias químicas peligrosas bastan para garantizar la seguridad.

Sistemas de seguridad de los reactores

Se ha dedicado una enorme atención a la seguridad de los reactores. En un reactor en funcionamiento, la mayor fuente de radiactividad, con diferencia, son los elementos de combustible. Una serie de barreras impide que los productos de fisión pasen a la biosfera durante el funcionamiento normal. El combustible está en el interior de tubos resistentes a la corrosión. Las gruesas paredes de acero del sistema de refrigeración primario del RAP forman una segunda barrera. El propio agua de refrigeración absorbe parte de los isótopos biológicamente importantes, como el yodo. El edificio de acero y hormigón supone una tercera barrera.

Durante el funcionamiento de una central nuclear, es inevitable que se liberen algunos materiales radiactivos. La exposición total de las personas que viven en sus proximidades suele representar un porcentaje muy bajo

de la radiación natural de fondo. Sin embargo, las principales preocupaciones se centran en la liberación de productos radiactivos causada por accidentes en los que se ve afectado el combustible y fallan los dispositivos de seguridad. El principal peligro para la integridad del combustible es un accidente de pérdida de refrigerante, en el que el combustible resulta dañado o incluso se funde. Los productos de fisión pasan al refrigerante, y si se rompe el sistema de refrigeración, los productos de fisión penetran en el edificio del reactor.

Los sistemas de los reactores emplean una compleja instrumentación para vigilar constantemente su situación y controlar los sistemas de seguridad empleados para desconectar el reactor en circunstancias anómalas. El diseño de los RAP incluye sistemas de seguridad de refuerzo que inyectan boro en el refrigerante para absorber neutrones y detener la reacción en cadena, con lo que la desconexión está aún más garantizada. En los reactores de agua ligera, el refrigerante está sometido a una presión elevada. En caso de que se produjera una rotura importante en una tubería, gran parte del refrigerante se convertiría en vapor, y el núcleo dejaría de estar refrigerado. Para evitar una pérdida total de refrigeración del núcleo, los reactores están dotados con sistemas de emergencia para refrigeración del núcleo, que empiezan a funcionar automáticamente en cuanto se pierde presión en el circuito primario de refrigeración. En caso de que se produzca una fuga de vapor al edificio de contención desde una tubería rota del circuito primario de refrigeración, se ponen en marcha refrigeradores por aspersión para condensar el vapor y evitar un peligroso aumento de la presión en el edificio.

Accidentes en centrales nucleares

A pesar de las numerosas medidas de seguridad, en 1979 llegó a producirse un accidente en el RAP de Three Mile Island, cerca de Harrisburg (Pennsylvania, EEUU). Un error de mantenimiento y una válvula defectuosa llevaron a una pérdida de refrigerante. Cuando comenzó el accidente, el sistema de seguridad desconectó el reactor, y el sistema de emergencia para enfriamiento del núcleo empezó a funcionar poco tiempo después según lo prescrito. Pero entonces, como resultado de un error humano, el sistema de refrigeración de emergencia se desconectó, lo que provocó graves daños en el núcleo e hizo que se liberaran productos de fisión volátiles procedentes de la vasija del reactor. Aunque sólo una pequeña cantidad de gas radiactivo salió del edificio de contención (lo que llevó a un ligero aumento de los niveles de exposición en los seres humanos), los daños materiales en la instalación fueron muy grandes, de unos 1.000 millones de dólares o más, y la tensión psicológica a la que se vio sometida la población, especialmente las personas que vivían cerca de la central nuclear, llegó a ser muy grave en algunos casos.

La investigación oficial sobre el accidente citó como causas principales del mismo un error de manejo y un diseño inadecuado de la sala de control, y no un simple fallo del equipo. Esto llevó a la entrada en vigor de leyes que exigían a la Comisión de Regulación Nuclear de Estados Unidos que adoptara normas mucho más estrictas para el diseño y la construcción de centrales nucleares, y obligaban a las compañías eléctricas a ayudar a las administraciones de los estados y los condados a preparar planes de emergencia para proteger a la población en caso de que se produjera otro accidente semejante.

Desde 1981, las cargas financieras impuestas por estas exigencias han hecho tan difícil la construcción y el funcionamiento de nuevas centrales nucleares que las compañías eléctricas de los estados de Washington, Ohio, New Hampshire e Indiana se vieron obligadas a abandonar centrales parcialmente terminadas después de gastar en ellas miles de millones de dólares. En 1988, se calculaba que el coste acumulado para la economía estadounidense por el cierre de esas centrales, sumado a la finalización de centrales con unos costes muy superiores a los inicialmente previstos, ascendía nada menos que a 100.000 millones de dólares.

El 26 de abril de 1986, otro grave accidente alarmó al mundo. Uno de los cuatro reactores nucleares soviéticos de Chernobil, a unos 130 km al norte de Kíev (en Ucrania), explotó y ardió. Según el informe oficial emitido en agosto, el accidente se debió a que los operadores del reactor realizaron unas pruebas no autorizadas. El reactor quedó fuera de control; se produjeron dos explosiones, la tapa del reactor saltó por los aires y el núcleo se inflamó y ardió a una temperatura de 1.500 °C. Las personas más próximas al reactor recibieron una

radiación unas 50 veces superior a la de Three Mile Island, y una nube de lluvia radiactiva se dirigió hacia el Oeste. La nube radiactiva se extendió por Escandinavia y el norte de Europa, según descubrieron observadores suecos el 28 de abril. A diferencia de la mayoría de los reactores de los países occidentales, el reactor de Chernobil carecía de edificio de contención. Una estructura semejante podría haber impedido que el material saliera del reactor. Murieron más de 30 personas y unas 135.000 fueron evacuadas en un radio de 1.600 kilómetros. La central fue sellada con hormigón; en 1988, sin embargo, los otros tres reactores de Chernobil ya estaban funcionando de nuevo.

En la central de Vandellòs I, situada en la provincia de Tarragona (España), y con un reactor de tipo grafito-gas, se produjo, el 19 de octubre de 1989, un accidente que se inició por un incendio en un edificio convencional de la central, que generó una serie sucesiva de fallos de sistemas. Pese a todo, se consiguió llevar la central a la situación de parada segura. No se produjo eliminación de CO₂ del circuito de refrigeración, ni se produjo daño alguno a las personas que intervinieron en el control de la central.

Reprocesamiento del combustible

La fase de reprocesamiento del combustible plantea diversos riesgos radiológicos. Uno de ellos es la emisión accidental de productos de fisión en caso de que se produzca una fuga en las instalaciones químicas y los edificios que las albergan. Otro podría ser la emisión rutinaria de niveles bajos de gases radiactivos inertes como el xenón o el criptón. Una planta de reprocesamiento llamada THORP (acrónimo inglés de Planta Térmica de Reprocesamiento de Óxido) ha empezado a funcionar en Sellafield, en la región de Cumbria (Gran Bretaña). Esta planta reprocesará combustible agotado de centrales británicas y extranjeras. En Francia también se lleva a cabo este proceso, y Japón está desarrollando sus propias plantas de reprocesamiento.

Una gran preocupación en relación con el reprocesamiento químico es la separación de plutonio 239, un material utilizado en la fabricación de armas nucleares. En Estados Unidos por ejemplo, no se reprocesa en la actualidad ningún combustible por temor al uso ilegal de este producto. El empleo de medios no tanto técnicos como políticos parece ser la mejor forma de controlar los peligros de su desviación subrepticia o su producción secreta para fabricar armas. La mejora de las medidas de seguridad en los puntos sensibles del ciclo del combustible y el aumento de la inspección internacional por parte de la Agencia Internacional de la Energía Atómica (AIEA) parecen las medidas más apropiadas para controlar los peligros de la desviación del plutonio.

Almacenamiento de residuos

El último paso del ciclo del combustible nuclear, el almacenamiento de residuos, sigue siendo uno de los más polémicos. La cuestión principal no es tanto el peligro actual como el peligro para las generaciones futuras. Muchos residuos nucleares mantienen su radiactividad durante miles de años, más allá de la duración de cualquier institución humana. La tecnología para almacenar los residuos de forma que no planteen ningún riesgo inmediato es relativamente simple. La dificultad estriba por una parte en tener una confianza suficiente en que las generaciones futuras estén bien protegidas y por otra en la decisión política sobre la forma y el lugar para almacenar estos residuos. La mejor solución parece estar en un almacenamiento permanente, pero con posibilidad de recuperación, en formaciones geológicas a gran profundidad. En 1988, el gobierno de Estados Unidos eligió un lugar en el desierto de Nevada con una gruesa sección de rocas volcánicas porosas como el primer depósito subterráneo permanente de residuos nucleares del país. En el Reino Unido no se ha escogido ningún lugar, aunque las investigaciones geológicas se centran en Sellafield.

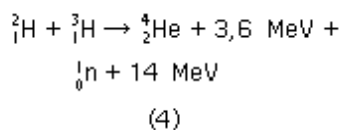
Fusión nuclear

La liberación de energía nuclear puede producirse en el extremo bajo de la curva de energías de enlace (ver tabla adjunta) a través de la fusión de dos núcleos ligeros en uno más pesado. La energía irradiada por el Sol se debe a reacciones de fusión de esta clase que se producen en su interior a gran profundidad. A las enormes

presiones y temperaturas que existen allí, los núcleos de hidrógeno se combinan a través de una serie de reacciones que equivalen a la ecuación (1) y producen casi toda la energía liberada por el Sol. En estrellas más masivas que el Sol, otras reacciones llevan al mismo resultado.

La fusión nuclear artificial se consiguió por primera vez a principios de la década de 1930, bombardeando un blanco que contenía deuterio (el isótopo de hidrógeno de masa 2) con deuterones (núcleos de deuterio) de alta energía mediante un ciclotrón (véase Aceleradores de partículas). Para acelerar el haz de deuterones se necesitaba una gran cantidad de energía, de la que la mayoría aparecía como calor en el blanco. Eso hacía que no se produjera una energía útil neta. En la década de 1950 se produjo la primera liberación a gran escala de energía de fusión, aunque incontrolada, en las pruebas de armas termonucleares realizadas por Estados Unidos, la URSS, Gran Bretaña y Francia. Una liberación tan breve e incontrolada no puede emplearse para la producción de energía eléctrica. Véase Armas nucleares.

En las reacciones de fisión estudiadas anteriormente, el neutrón, que no tiene carga eléctrica, puede acercarse fácilmente a un núcleo fisionable (por ejemplo, uranio 235) y reaccionar con él. En una reacción de fusión típica, en cambio, cada uno de los dos núcleos que reaccionan tiene una carga eléctrica positiva, y antes de que puedan unirse hay que superar la repulsión natural que ejercen entre sí, llamada repulsión de Coulomb. Esto ocurre cuando la temperatura del gas es suficientemente alta, entre 50 y 100 millones de grados centígrados. En un gas formado por los isótopos pesados del hidrógeno, deuterio y tritio, a esa temperatura se produce la reacción de fusión



que libera unos 17,6 MeV por cada fusión. La energía aparece en un primer momento como energía cinética del núcleo de helio 4 y el neutrón, pero pronto se convierte en calor en el gas y los materiales próximos.

Si la densidad del gas es suficiente a esas temperaturas basta una densidad de sólo 10–5 atmósferas, casi un vacío el núcleo de helio 4 puede transferir su energía al gas hidrógeno circundante, con lo que mantiene la temperatura elevada y permite que se produzca una reacción de fusión en cadena. En esas condiciones se dice que se ha producido la 'ignición nuclear'.

Los problemas básicos para alcanzar las condiciones para la fusión nuclear útil son: 1) calentar el gas a temperaturas tan altas; 2) confinar una cantidad suficiente de núcleos durante un tiempo lo bastante largo para permitir la liberación de una energía mayor que la necesaria para calentar y confinar el gas. Un problema importante que surge después es la captura de esta energía y su conversión en electricidad.

A temperaturas superiores a los 100.000 °C, todos los átomos de hidrógeno están ionizados. El gas está formado por un conjunto eléctricamente neutro de núcleos con carga positiva y electrones libres con carga negativa. Este estado de la materia se denomina plasma.

Los materiales ordinarios no pueden contener un plasma lo suficientemente caliente para que se produzca la fusión. El plasma se enfriaría muy rápidamente, y las paredes del recipiente se destruirían por las altas temperaturas. Sin embargo, como el plasma está formado por núcleos y electrones cargados, que se mueven en espiral alrededor de líneas de campo magnético intensas, el plasma puede contenerse en una zona de campo magnético de la forma apropiada.

Para que un dispositivo de fusión resulte útil, la energía producida debe ser mayor que la energía necesaria para confinar y calentar el plasma. Para que esta condición se cumpla, el producto del tiempo de confinamiento, δ , y la densidad del plasma, n , debe superar el valor 10¹⁴. La relación $\delta n > 10^{14}$ se denomina

criterio de Lawson.

Desde 1950 se han llevado a cabo numerosos proyectos para la confinación magnética de plasma en Estados Unidos, la antigua Unión Soviética, Gran Bretaña, Japón y otros países. Se han observado reacciones termonucleares, pero el número de Lawson fue pocas veces superior a 10^{12} . Sin embargo, uno de los dispositivos el tokamak, sugerido originalmente en la URSS por Ígor Tamm y Andréi Sajárov comenzó a arrojar resultados prometedores a principios de la década de 1960.

La cámara de confinamiento de un tokamak tiene forma toroidal, con un diámetro interior de aproximadamente 1 m y un diámetro exterior de alrededor de 3 m. En esta cámara se establece un campo magnético toroidal de unos 5 teslas mediante grandes electroimanes. La intensidad de este campo es unas 100.000 veces mayor que la del campo magnético de la Tierra en la superficie del planeta. Las bobinas que rodean la cámara inducen en el plasma una corriente longitudinal de varios millones de amperios. Las líneas de campo magnético resultantes son espirales dentro de la cámara, que confinan el plasma.

Después de que en varios laboratorios funcionaran con éxito tokamaks pequeños, a principios de la década de 1980 se construyeron dos dispositivos de gran tamaño, uno en la Universidad de Princeton, en Estados Unidos, y otro en la URSS. En el tokamak, el plasma alcanza una temperatura elevada por el calentamiento resistivo producido por la inmensa corriente toroidal, y en los nuevos aparatos grandes, un calentamiento adicional mediante la inyección de haces neutrales debería producir condiciones de ignición.

Otra posible vía para obtener energía de la fusión es el confinamiento inercial. En esta técnica, el combustible (tritio o deuterio) está contenido en una pequeña bolita que se bombardea desde distintas direcciones con un haz láser de pulsos. Esto provoca la implosión de la bolita y desencadena una reacción termonuclear que causa la ignición del combustible. Los avances en la investigación de la fusión son prometedores, pero probablemente hagan falta décadas para desarrollar sistemas prácticos que produzcan más energía de la que consumen. Además, las investigaciones son sumamente costosas.

Sin embargo, en los primeros años de la década de 1990 se realizaron algunos avances. En 1991, se generó por primera vez en la historia una potencia significativa (unos 1,7 MW) a partir de la fusión nuclear controlada, en el laboratorio de la Cámara Toroidal Conjunta Europea (JET, siglas en inglés), en Gran Bretaña. En diciembre de 1993, los investigadores de la Universidad de Princeton emplearon el Reactor Experimental de Fusión Tokamak para producir una reacción de fusión controlada que generó 5,6 megavatios. No obstante, tanto el JET como el Reactor Experimental de Fusión Tokamak consumieron más energía de la que produjeron durante su funcionamiento.

Si la energía de fusión llega a ser practicable, ofrecería las siguientes ventajas: 1) una fuente ilimitada de combustible, el deuterio procedente de los océanos; 2) imposibilidad de un accidente en el reactor, ya que la cantidad de combustible en el sistema es muy pequeña, y 3) residuos mucho menos radiactivos y más sencillos de manejar que los procedentes de sistemas de fisión.

Energía potencial, energía almacenada que posee un sistema como resultado de las posiciones relativas de sus componentes. Por ejemplo, si se mantiene una pelota a una cierta distancia del suelo, el sistema formado por la pelota y la Tierra tiene una determinada energía potencial; si se eleva más la pelota, la energía potencial del sistema aumenta. Otros ejemplos de sistemas con energía potencial son una cinta elástica estirada o dos imanes que se mantienen apretados de forma que se toquen los polos iguales.

Para proporcionar energía potencial a un sistema es necesario realizar un trabajo. Se requiere esfuerzo para levantar una pelota del suelo, estirar una cinta elástica o juntar dos imanes por sus polos iguales. De hecho, la cantidad de energía potencial que posee un sistema es igual al trabajo realizado sobre el sistema para situarlo en cierta configuración. La energía potencial también puede transformarse en otras formas de energía. Por ejemplo, cuando se suelta una pelota situada a una cierta altura, la energía potencial se transforma en energía

cinética.

La energía potencial se manifiesta de diferentes formas. Por ejemplo, los objetos eléctricamente cargados tienen energía potencial como resultado de su posición en un campo eléctrico. Un explosivo tiene energía potencial química que se transforma en calor, luz y energía cinética al ser detonado. Los núcleos de los átomos tienen una energía potencial que se transforma en otras formas de energía en las centrales nucleares

Energía renovable, también llamada energía alternativa o blanda, este término engloba una serie de fuentes energéticas que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas fuentes serían una alternativa a otras tradicionales y producirían un impacto ambiental mínimo, pero que en sentido estricto ni son renovables, como es el caso de la geotermia, ni se utilizan de forma blanda. Las energías renovables comprenden: la energía solar, la hidroeléctrica (se genera haciendo pasar una corriente de agua a través de una turbina), la eólica (derivada de la solar, ya que se produce por un calentamiento diferencial del aire y de las irregularidades del relieve terrestre), la geotérmica (producida por el gradiente térmico entre la temperatura del centro de la Tierra y la de la superficie), la hidráulica (derivada de la evaporación del agua) y la procedente de la biomasa (se genera a partir del tratamiento de la materia orgánica).

Energía Elástica, esta energía solo se encuentra en objetos que se pueden expandir y contraer, con facilidad o no. Generalmente se encuentran en elásticos y resortes, esta contracción y expansión genera calor por la simple causa de la fricción.

Energía solar, energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión. Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es $1,37 \times 10^6$ erg/s/cm², o unas 2 cal/min/cm². Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que parece ser que varía un 0,2% en un periodo de 30 años. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

Transformación natural de la energía solar

La recogida natural de energía solar se produce en la atmósfera, los océanos y las plantas de la Tierra. Las interacciones de la energía del Sol, los océanos y la atmósfera, por ejemplo, producen vientos, utilizados durante siglos para hacer girar los molinos. Los sistemas modernos de energía eólica utilizan hélices fuertes, ligeras, resistentes a la intemperie y con diseño aerodinámico que, cuando se unen a generadores, producen electricidad para usos locales y especializados o para alimentar la red eléctrica de una región o comunidad.

Casi el 30% de la energía solar que alcanza el borde exterior de la atmósfera se consume en el ciclo del agua, que produce la lluvia y la energía potencial de las corrientes de montaña y de los ríos. La energía que generan estas aguas en movimiento al pasar por las turbinas modernas se llama energía hidroeléctrica. Gracias al proceso de fotosíntesis, la energía solar contribuye al crecimiento de la vida vegetal (biomasa) que, junto con la madera y los combustibles fósiles que desde el punto de vista geológico derivan de plantas antiguas, puede ser utilizada como combustible. Otros combustibles como el alcohol y el metano también pueden extraerse de la biomasa.

Asimismo, los océanos representan un tipo natural de recogida de energía solar. Como resultado de su absorción por los océanos y por las corrientes oceánicas, se producen gradientes de temperatura. En algunos

lugares, estas variaciones verticales alcanzan 20 °C en distancias de algunos cientos de metros. Cuando hay grandes masas a distintas temperaturas, los principios termodinámicos predicen que se puede crear un ciclo generador de energía que extrae energía de la masa con mayor temperatura y transferir una cantidad a la masa con temperatura menor. La diferencia entre estas energías se manifiesta como energía mecánica (para mover una turbina, por ejemplo), que puede conectarse a un generador, para producir electricidad. Estos sistemas, llamados sistemas de conversión de energía térmica oceánica (CETO), requieren enormes intercambiadores de energía y otros aparatos en el océano para producir potencias del orden de megavatios. Véase también Océanos y oceanografía.

Recogida directa de energía solar

La recogida directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recoger energía, a veces después de concentrar los rayos del Sol. La energía, una vez recogida, se emplea en procesos térmicos o fotoeléctricos, o fotovoltaicos. En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un gas o un líquido que luego se almacena o se distribuye. En los procesos fotovoltaicos, la energía solar se convierte en energía eléctrica sin ningún dispositivo mecánico intermedio. Los colectores solares pueden ser de dos tipos principales: los de placa plana y los de concentración.

Colectores de placa plana

En los procesos térmicos los colectores de placa plana interceptan la radiación solar en una placa de absorción por la que pasa el llamado fluido portador. Éste, en estado líquido o gaseoso, se calienta al atravesar los canales por transferencia de calor desde la placa de absorción (véase Calor; Transferencia de calor). La energía transferida por el fluido portador, dividida entre la energía solar que incide sobre el colector y expresada en porcentaje, se llama eficiencia instantánea del colector. Los colectores de placa plana tienen, en general, una o más placas cobertoras transparentes para intentar minimizar las pérdidas de calor de la placa de absorción en un esfuerzo para maximizar la eficiencia. Son capaces de calentar fluidos portadores hasta 82 °C y obtener entre el 40 y el 80% de eficiencia.

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y en el hemisferio sur hacia el Norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud. En general, para sistemas que se usan durante todo el año, como los que producen agua caliente, los colectores se inclinan (respecto al plano horizontal) un ángulo igual a los 15° de latitud y se orientan unos 20° latitud S o 20° de latitud N.

Además de los colectores de placa plana, los sistemas típicos de agua caliente y calefacción están constituidos por bombas de circulación, sensores de temperatura, controladores automáticos para activar el bombeo y un dispositivo de almacenamiento. El fluido puede ser tanto el aire como un líquido (agua o agua mezclada con anticongelante), mientras que un lecho de roca o un tanque aislado sirven como medio de almacenamiento de energía.

Colectores de concentración

Para aplicaciones como el aire acondicionado y la generación central de energía y de calor para cubrir las grandes necesidades industriales, los colectores de placa plana no suministran, en términos generales, fluidos con temperaturas bastante elevadas como para ser eficaces. Se pueden usar en una primera fase, y después el fluido se trata con medios convencionales de calentamiento. Como alternativa, se pueden utilizar colectores de concentración más complejos y costosos. Son dispositivos que reflejan y concentran la energía solar incidente sobre un zona receptora pequeña. Como resultado de esta concentración, la intensidad de la energía solar se incrementa y las temperaturas del receptor (llamado 'blanco') pueden acercarse a varios cientos, o incluso miles, de grados Celsius. Los concentradores deben moverse para seguir al Sol si se quiere que actúen con

eficacia; los dispositivos utilizados para ello se llaman heliostatos.

Hornos solares

Los hornos solares son una aplicación importante de los concentradores de alta temperatura. El mayor, situado en Odeillo, en la parte francesa de los Pirineos, tiene 9.600 reflectores con una superficie total de unos 1.900 m² para producir temperaturas de hasta 4.000 °C. Estos hornos son ideales para investigaciones, por ejemplo, en la investigación de materiales, que requieren temperaturas altas en entornos libres de contaminantes.

Receptores centrales

La generación centralizada de electricidad a partir de energía solar está en desarrollo. En el concepto de receptor central, o de torre de potencia, una matriz de reflectores montados sobre heliostatos controlados por computadora reflejan y concentran los rayos del Sol sobre una caldera de agua situada sobre la torre. El vapor generado puede usarse en los ciclos convencionales de las plantas de energía y generar electricidad.

Enfriamiento solar

Se puede producir frío con el uso de energía solar como fuente de calor en un ciclo de enfriamiento por absorción. Uno de los componentes de los sistemas estándar de enfriamiento por absorción, llamado generador, necesita una fuente de calor. Puesto que, en general, se requieren temperaturas superiores a 150 °C para que los dispositivos de absorción trabajen con eficacia, los colectores de concentración son más apropiados que los de placa plana.

Geotermia, ciencia relacionada con el calor interior de la Tierra. Su aplicación práctica principal es la localización de yacimientos naturales de agua caliente, fuente de la energía geotérmica, para su uso en generación de energía eléctrica, en calefacción o en procesos de secado industrial. El calor se produce entre la corteza y el manto superior de la Tierra, sobre todo por desintegración de elementos radiactivos. Esta energía geotérmica se transfiere a la superficie por difusión, por movimientos de convección en el magma (roca fundida) y por circulación de agua en las profundidades. Sus manifestaciones hidrotérmicas superficiales son, entre otras, los manantiales calientes, los géiseres y las fumarolas. Los primeros han sido usados desde la antigüedad con propósitos terapéuticos y recreativos. Los colonos escandinavos en Islandia llevaban agua desde las fuentes calientes cercanas hasta sus viviendas a través de conductos de madera.

El vapor producido por líquidos calientes naturales en sistemas geotérmicos es una alternativa al que se obtiene en plantas de energía por quemado de materia fósil, por fisión nuclear o por otros medios. Las perforaciones modernas en los sistemas geotérmicos alcanzan reservas de agua y de vapor, calentados por magma mucho más profundo, que se encuentran hasta los 3.000 m bajo el nivel del mar. El vapor se purifica en la boca del pozo antes de ser transportado en tubos grandes y aislados hasta las turbinas. La energía térmica puede obtenerse también a partir de géiseres y de grietas.

La energía geotérmica se desarrolló para su aprovechamiento como energía eléctrica en 1904, en Toscana (Italia), donde la producción continúa en la actualidad. Los fluidos geotérmicos se usan también como calefacción en Budapest (Hungría), en algunas zonas de París, en la ciudad de Reykjavík, en otras ciudades islandesas y en varias zonas de Estados Unidos.

En la actualidad, se está probando una técnica nueva consistente en perforar rocas secas y calientes situadas bajo sistemas volcánicos en reposo para luego introducir agua superficial que regresa como vapor muy enfriado. La energía geotérmica tiene un gran potencial: se calcula, basándose en todos los sistemas hidrotérmicos conocidos con temperaturas superiores a los 150 °C, que Estados Unidos podría producir 23.000 MW en 30 años. En otros 18 países, la capacidad geotérmica total fue de 5.800 MW en 1990.

Conclusión

En conclusión yo he aprendido que la energía se da de diferentes maneras, tales como la energía Mecánica, Eólica, Geotérmica, Química, Ionización, Hidroeléctrica, Cinética, Nuclear, Calórica, Luminosa, Mecánica, Potencial, Elástica, Solar, De enlace, Renovable.

Yo por ejemplo no sabía ¿qué era la energía potencial?, Ahora sé que se trata de la energía que tiene un cuerpo en descanso.

Este trabajo me ha servido para descubrir todos los tipos de energía y las formas en que se usan.

Yo lo leí completo, y resumí gran parte de este trabajo.

Es necesario en estos tiempos cuidar la energía que utilizamos, aprovechar al máximo la energía natural como es la del sol, y así ayudaremos a cuidar y proteger la vida.