

Capítulo 2 Energías Alternas

Existen muchas maneras de producir energía eléctrica, algunas más dañinas para el ambiente que otras. En este capítulo se mostrarán algunas de las maneras en las que se puede generar energía eléctrica de una manera limpia, segura y fácilmente controlable.

2.1 Planta eólica

2.1.1 Principio de funcionamiento

Es la energía obtenida del viento, o sea, la energía cinética transportada por las corrientes de aire, que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento. De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales.

Los continentes absorben una menor cantidad de luz solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se expande, y se hace por lo tanto más liviana y se eleva. El aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

2.1.2 Antecedentes

Antiguamente la energía eólica se aprovechaba por medio de molinos y velas para el transporte en barcos. Una referencia es un molino de viento que fue usado para hacer funcionar un órgano en el siglo I. Los primeros molinos de uso práctico fueron construidos en Sistán, Afganistán, en el siglo VII. Estos fueron molinos de eje vertical con hojas rectangulares. Aparatos hechos de 6 a 8 velas de molino cubiertos con telas fueron usados para moler maíz o extraer agua.

En Europa, los primeros molinos aparecieron en el siglo XII en Francia e Inglaterra y se distribuyeron por el continente. Eran unas estructuras de madera, conocidas como torres de molino, que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para levantar sus aspas al viento. El molino de torre se desarrolló en Francia a lo largo del siglo XIV. Consistía en una torre de piedra coronada por una estructura rotativa de madera que soportaba el eje del molino y la maquinaria superior del mismo. Estos primeros ejemplares tenían una serie de características comunes. De la parte superior del molino sobresalía un eje horizontal. De este eje partían de cuatro a ocho aspas, con una longitud entre 3 y 9 metros. Las vigas de madera se cubrían con telas o planchas de madera. La energía generada por el giro del eje se transmitía, a través de un sistema de engranajes, a la maquinaria del molino emplazada en la base de la estructura. Los molinos de eje horizontal fueron usados extensamente en

Europa Occidental para moler trigo desde el año de 1180 en adelante. Los molinos más famosos son los utilizados en Holanda, los cuales eran usados para bombear agua y evitar inundaciones.

2.1.3 Aerogeneradores

Actualmente se aprovecha y tiene una gran perspectiva a futuro para la generación de energía eléctrica. Esta energía eléctrica es aplicable para muchas gamas de nuestras actividades diarias. Por ejemplo: el uso de motores, iluminación, bombeo, aparatos electrónicos, entre otras cosas más.

Para aprovechar la energía de los vientos se utilizan actualmente “aerogeneradores” o “turbina de viento”. Básicamente estas máquinas se conforman de diferentes partes tanto mecánicas como eléctricas.

Las partes principales de un aerogenerador mostradas en la Figura 2-1 son:

- **Góndola:** Carcasa que protege las partes fundamentales del aerogenerador.
- **Palas del rotor:** Transmiten la potencia del viento hacia el buje.
- **Buje:** Es la parte que une las palas del rotor con el eje de baja velocidad.
- **Eje de baja velocidad:** Conecta el buje del rotor al multiplicador. Su velocidad de giro es muy lenta.
- **Multiplicador:** Permite que el eje de alta velocidad gire mucho más rápido que el eje de baja velocidad.
- **Eje de alta velocidad:** Gira a gran velocidad y permite el funcionamiento del generador eléctrico.
- **Generador eléctrico:** Es una de las partes más importantes de un aerogenerador. Transforma la energía mecánica en energía eléctrica
- **Controlador electrónico:** Es un ordenador que monitoriza las condiciones del viento y controla el mecanismo de orientación.
- **Unidad de refrigeración:** Mecanismo que sirve para enfriar el generador eléctrico.
- **Torre:** Es la parte del aerogenerador que soporta la góndola y el rotor.
- **Mecanismo de orientación:** Está activado por el controlador electrónico, la orientación del aerogenerador cambia según las condiciones del viento.

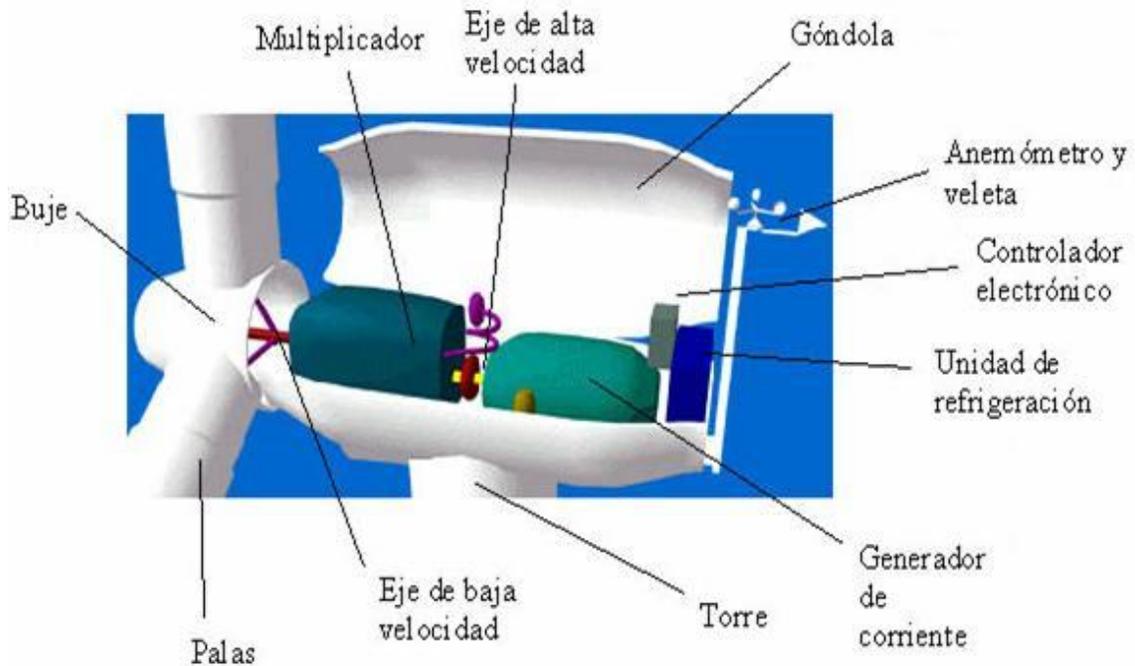


Figura 2-1 Partes principales de un aerogenerador

2.2 Planta maremotriz

Este tipo de planta aprovecha las mareas altas (pleamar) y mareas bajas (bajamar) para generar energía eléctrica. Esto se debe a la atracción gravitatoria del Sol y la Luna sobre las masas de agua de los mares. Éste tipo de energía es renovable, ya que depende de los ciclos lunares, además de ser una energía limpia ya que no se produce contaminante alguno. En la Figura 2-2 y Figura 2-3 se observa un esquema del aprovechamiento de éste tipo de energía.

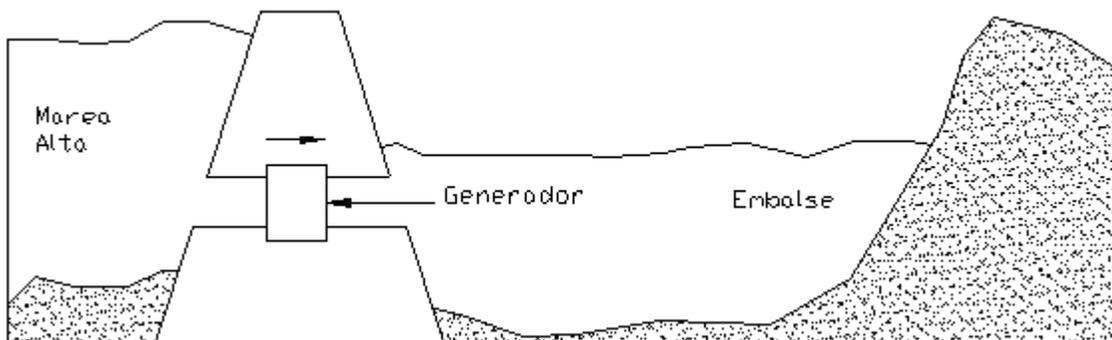


Figura 2-2 Planta maremotriz en pleamar

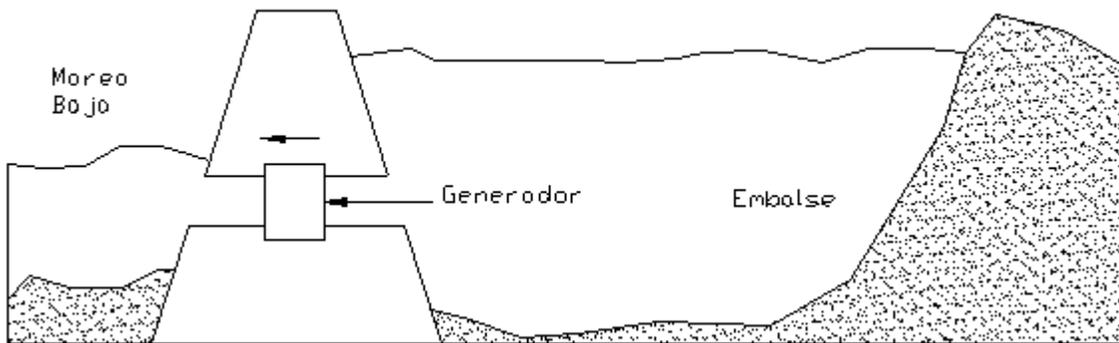


Figura 2-3 Planta maremotriz en bajamar

Se construye un dique por el que se deja pasar agua a un embalse. El embalse se llena durante la marea alta, mientras esto sucede el agua mueve a un generador. Sucede durante la etapa de llenado del embalse. Para la etapa de vaciado sucede lo mismo, pero en esta ocasión al generador se le hacen ajustes para que gire en el mismo sentido que en la etapa de llenado.

2.3 Planta fotovoltaica

La materia está compuesta por átomos, los cuales a su vez están formados por dos partes bien diferenciadas: el núcleo, dotado de carga eléctrica positiva y los electrones, que giran alrededor del núcleo en diferentes bandas de energía, con carga negativa que compensa a la del núcleo. Este conjunto, en condiciones normales, se mantiene estable y es eléctricamente neutro.

A los electrones de la última capa se les ha dado el nombre de electrones de valencia y tienen la característica de poder relacionarse con otros similares, formando una red cristalina. En base al comportamiento de los electrones de esta última capa, se puede hacer una división de los materiales eléctricos en: conductores, semiconductores y aislantes.

Cuando un fotón choca contra un átomo de silicio pueden suceder tres situaciones:

- El fotón atraviesa el silicio y sigue su camino. Esto ocurre cuando la energía del fotón es menor que la energía que liga a los electrones de la última capa con su núcleo.
- El fotón es reflejado por la superficie de silicio. En este caso, la energía del fotón es mayor que la del enlace.
- El fotón es absorbido por el silicio. Esto ocurre cuando la energía del fotón es similar a la energía que liga a los electrones de valencia con el núcleo.

En este último caso, el fotón cede su energía al electrón y puede romper el enlace que le vincula al núcleo, quedando libre para circular por el semiconductor. El lugar dejado por el electrón se llama hueco y tiene carga positiva (igual a la del electrón pero de distinto signo). Estos huecos también se desplazan, ya que el electrón liberado es susceptible de caer en un

huevo próximo. Este fenómeno de que un electrón ocupe la posición dejada por otro, se conoce con el nombre de recombinación.

Cuando la luz solar bombardea con fotones la superficie de un semiconductor, los pares de electrones-huecos creados se desplazan hacia zonas no iluminadas donde se recombinan y estabilizan al perder actividad. Sin embargo al moverse ambos en la misma dirección, no se produce corriente eléctrica. Para que se produzca una corriente eléctrica es necesario que los electrones-huecos se muevan en direcciones opuestas. Esto se puede conseguir creando un campo eléctrico en el interior del semiconductor. En la Figura 2-4 se muestra el esquema de una celda fotovoltaica.

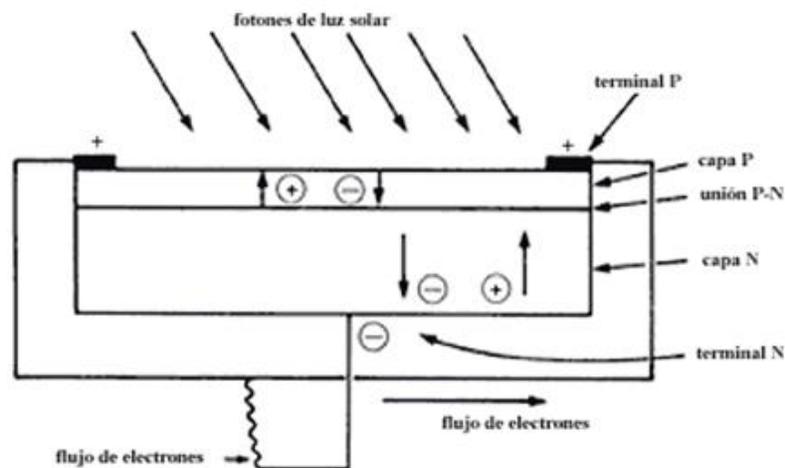


Figura 2-4 Esquema básico de una celda fotovoltaica

Existen varias formas de crear un campo eléctrico en el interior de un semiconductor; casi todas ellas se basan en el potencial de contacto y la afinidad que ciertos materiales tienen por los electrones. En las celdas solares, lo que se suele hacer es unir dos regiones del silicio que han sido tratadas químicamente de forma diferente.

Una de las regiones, la región N ha sido dopada, impurificada con fósforo. El fósforo tiene 5 electrones de valencia, uno más que el silicio, de modo que esta región muestra una afinidad por los electrones menor que el silicio.

La región P, ha sido dopada con boro. El boro tiene sólo tres electrones de valencia, por lo que su afinidad para captar electrones es mayor que la del silicio puro.

Si unimos estas dos regiones, la unión P-N así formada presenta una diferencia de potencial que hace que los electrones liberados vayan hacia la zona N y los huecos hacia la zona P, produciéndose una corriente eléctrica.

En este momento, los paneles resultan muy costosos y su eficiencia es de sólo 10 a 20% contra 24% de los canales parabólicos termosolares, pero la culpa es más de la historia que de la física. Luego del auge solar de mediados de los años ochenta, muchos de los mejores ingenieros

emigraron a la industria de la computación y electrónica, donde utilizaban la misma materia prima: silicio y otros semiconductores.

A partir de la premisa de que distintos semiconductores capturan diferentes colores del espectro de luz solar, en el 2008 los investigadores del NREL (Laboratorio Nacional de Energía Renovable en EU) utilizaron varias capas de fosforo de galio-indio y arseniuro de galio-indio, compuestos que, en combinación con una lente concentradora de luz solar, produjeron una celda fotovoltaica con eficiencia de 40.8% (récord mundial que aún no se ha superado).³

2.4 Celda de combustible de hidrógeno

Una celda de combustible es un tipo de celda electroquímica que convierte un combustible en corriente eléctrica. La generación de energía eléctrica se debe a las reacciones entre el combustible y una sustancia adicional llamada oxidante. Dichas reacciones son desencadenadas por la presencia de un electrolito dentro de la celda. Los reactivos fluyen hacia dentro de la celda mientras que los productos de la reacción fluyen hacia afuera; el electrolito se mantiene dentro de la celda. Una celda de combustible puede operar de manera indefinida mientras exista un abastecimiento adecuado de reactivos.

La diferencia fundamental con las baterías electroquímicas convencionales radica en que en este caso el reactivo proviene de una fuente externa a la celda, formando un sistema termodinámico abierto; mientras que en el caso de las baterías convencionales, éstas almacenan la energía eléctrica en forma química y por lo tanto forman un sistema termodinámico cerrado.

Existen diversas combinaciones de combustible y oxidante que pueden utilizarse para construir una celda de combustible; sin embargo, la más utilizada es la combinación de hidrógeno como combustible y oxígeno como oxidante. Una celda que utiliza esta combinación es conocida como celda de combustible de hidrógeno.

³ *Conectados con el Sol*. Johnson, George. 3, s.l. : National Geographic en español, 2009, Vol. 25.

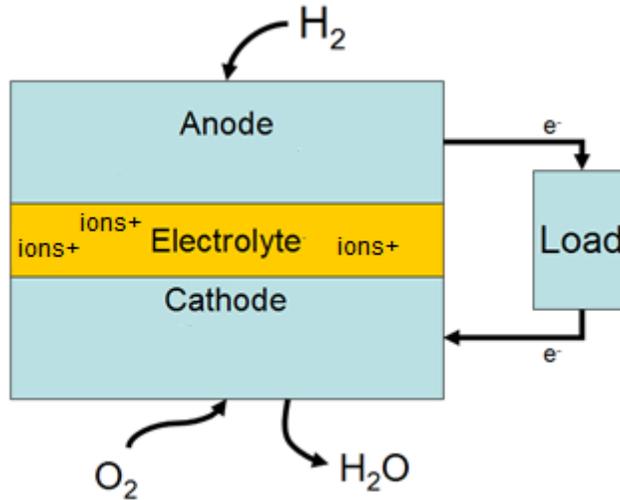


Figura 2-5 Celda de combustible de hidrógeno

La operación de la celda de hidrógeno se explica a continuación. Como se muestra en la Figura 2-5, existen tres partes o segmentos básicos de la celda, los cuales se encuentran adyacentes entre sí de manera que ocurren dos reacciones químicas, una en cada unión de dichos segmentos. En el ánodo, un catalizador oxida el hidrógeno disociándolo en iones cargados positivamente y electrones con carga negativa. El electrolito es necesario para transportar los iones, pero simultáneamente no es un conductor eléctrico, lo que impide que los electrones circulen por él y sean forzados a circular por un circuito eléctrico externo. El resultado de ambas reacciones es que el combustible suministrado se consume y como productos de la reacción se obtiene agua y una corriente eléctrica. Ésta corriente puede ser utilizada como energía para dispositivos eléctricos. Los iones atraviesan el electrolito hacia el cátodo y una vez allí se combinan nuevamente con los electrones y reaccionan con un tercer compuesto (el oxidante, en este caso oxígeno) para formar agua.

Los elementos más importantes de la celda de combustible son:

- El electrolito utilizado, el cual define el tipo de celda de combustible.
- El combustible usado, en este caso el hidrógeno.

El catalizador del ánodo; el cual disocia el combustible en iones y electrones, por lo general está hecho de platino.

El catalizador del cátodo, convierte los iones en otras sustancias (agua para el caso de la celda de combustible de hidrógeno).

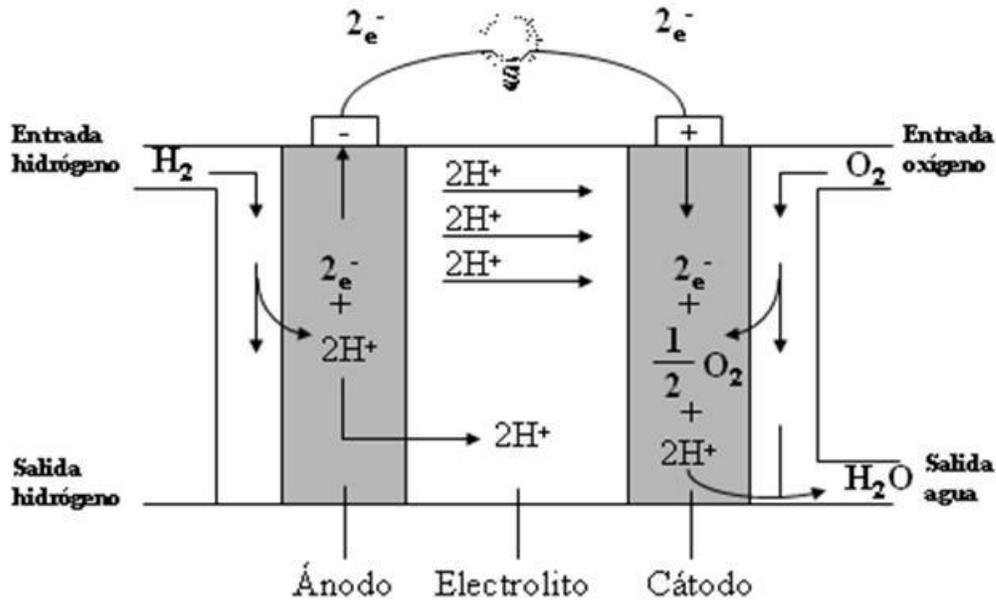


Figura 2-6 Esquema del funcionamiento de una celda de combustible de hidrógeno

Una celda de combustible de hidrógeno típica produce una diferencia de potencial entre sus terminales de alrededor de 0.6 V a 0.7 V a plena carga. Dichas celdas pueden combinarse en serie o en paralelo para aumentar el voltaje suministrado entre sus terminales o la capacidad máxima de corriente. También es posible aumentar el área de las celdas de combustible para aumentar la corriente que cada celda puede producir.

La eficiencia de una celda de hidrógeno depende en general de la cantidad de potencia que se encuentra suministrando. A mayor energía se demanda más corriente, lo cual incrementa las pérdidas en la celda y reduce su eficiencia. Como referencia una celda típica trabajando a un voltaje de 0.7 V tiene alrededor de un 50% de eficiencia y en general tienen una mayor eficiencia que otras formas de conversión de energía como los motores de combustión interna, lo cual ha propiciado que esta tecnología se implemente en aplicaciones que por lo común son impulsadas por los motores antes mencionados. El uso de las celdas de combustible en la actualidad está orientado principalmente a la generación de energía para distintos vehículos, especialmente automóviles y vehículos de transporte público como autobuses. También existen algunos esquemas de micro generación eléctrica para casas y pequeños negocios usando esta tecnología, los cuales utilizan las celdas para generar una cantidad constante de potencia eléctrica (la cual es vendida a la red cuando esta no es consumida en su totalidad) y a su vez se produce agua caliente como resultado del funcionamiento de la celda, lo cual puede ser aprovechado como calefacción en zonas con climas fríos.

2.5 Planta geotérmica

Es aquella que utiliza vapor natural del subsuelo para mover los generadores eléctricos. Este tipo de energía a través de miles de años se va acumulando el calor de las rocas y en los estratos porosos creándose un flujo de calor desde el interior de la corteza terrestre al exterior.

Debido a las variaciones que existen en la corteza terrestre originan plegamientos que causan zonas de debilidad de la corteza y fracturas que ofrecen vías de escape a materias incandescentes del magma. Cuando estos materiales salen a la superficie forman volcanes.

El agua se acumula en depósitos a diferentes niveles de la corteza, mientras que el magma calienta el agua hasta el punto de ebullición. Rocas fracturadas permiten la transferencia de calor a la superficie. En la parte superior de la corteza, rocas impermeables evitan la fuga del calor.

Las plantas geotérmicas operan al tomar por un tubo el vapor, el cual es llevado a una turbina que a su vez mueve al generador y éste produce energía eléctrica. El vapor de la turbina sale a un condensador donde se lleva al estado líquido. Después es llevado a una torre de enfriamiento donde se baja su temperatura; posteriormente se inyecta el agua de nuevo para recargar los depósitos de agua, como se muestra en la Figura 2-7.

Existen variantes para utilizar la energía térmica para calefacción y aire acondicionado, ya que no sólo se puede aprovechar para generar energía eléctrica.

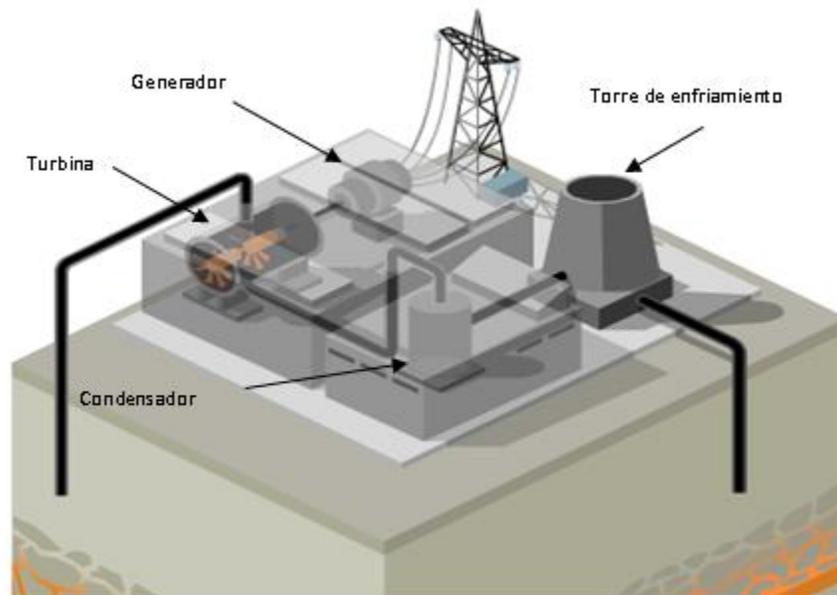


Figura 2-7 Esquema de una planta geotérmica

2.6 Planta hidroeléctrica

Es un organismo destinado a utilizar en forma eléctrica, parte de la energía que existe; potencialmente, en cualquier masa de agua que se encuentre a una altitud mayor que el nivel del mar. Esto se aprovecha ya sea de una caída natural de agua o con la creación de forma artificial el desnivel necesario para sostener la masa de agua a utilizar.

En este tipo de plantas es necesario determinar el valor de la capacidad de la masa de agua y de sus variaciones durante el año. Se requiere llevar un estudio estadístico por periodos largos de tiempo para poder obtener información lo suficientemente confiable para llevar a cabo la obra. Se tiene que tomar tanto la capacidad de almacenamiento como la precipitación atmosférica.

Ya que existe un continuo aumento en la demanda de energía eléctrica y debido a que el flujo natural del agua no necesariamente coincide con la demanda, es necesario almacenar el agua en presas para disponer de ésta en cualquier momento.

2.6.1 Planta hidroeléctrica de vaso o presa de almacenamiento

Su función es la de acumular el agua que fluye a través de un río. El sistema de almacenamiento proporciona elasticidad en el servicio, permitiendo regular en cualquier momento el consumo de agua en base a la demanda de energía. Para obtener tal regulación es conveniente construir más allá de la presa, un almacenamiento que sea capaz de acumular el agua en los periodos de excesos para después poder restituirla durante los periodos faltantes.

Éste tipo de plantas dependen de la contribución que recibe de su fuente acuífera, por lo que se tienen que tomar en cuenta factores de pérdida como infiltración y evaporación.

Las plantas hidroeléctricas se dimensionan frecuentemente para una potencia correspondiente a la condición de mínima disponibilidad de agua con el propósito de garantizar el suministro constante de la energía eléctrica en cualquier periodo del año.

Éste tipo de planta muestra en la Figura 2-8.

2.6.2 Planta hidroeléctrica de agua corriente o fluyente

En este tipo de plantas no existe la posibilidad de regular el flujo de agua, ya que aprovecha de forma natural el curso del río.

La interconexión entre las distintas plantas hidroeléctricas permite obtener cantidades superiores de energía durante los periodos de escasez de agua.

Éste tipo de planta se muestra en la Figura 2-9.

2.6.3 Clasificación de plantas hidroeléctricas de acuerdo al servicio que proporcionan

La clasificación de este tipo de centrales se hace en base a los siguientes elementos:

1. Salto o caída disponible

- a. **Baja:** Alturas menores a 50 m.
- b. **Media:** Alturas entre 50 y 250m.
- c. **Alta:** Mayores a 250m.

2. Capacidad

- a. **Pequeña capacidad:** Gastos de hasta 10 m³/seg.
- b. **Media capacidad:** Gastos entre 10 y 100 m³/seg.
- c. **Gran capacidad:** Gastos mayores de 100 m³/seg.

3. Sistema de utilización del agua

- a. **Agua corriente:** Utilizan la energía hidráulica que se suministra de un depósito o embalse de almacenamiento pero sin tener ninguna posibilidad de regulación en el flujo de agua.
- b. **Depósito de regulación:** Los excesos de agua se pueden utilizar en periodos de tiempo posteriores.
- c. **De recuperación:** El agua utilizada durante el día para la producción se recupera de noche mediante sistemas de bombeo (súper regulación).

4. Por el servicio que desempeñan

- a. **Carga base:** Consiste en el suministro de energía de manera constante. Se utilizan las centrales de agua corriente.
- b. **Carga pico:** consiste en el suministro de la energía en horas típicas del día de mayor demanda.

5. Posición geográfica

Se clasifican de acuerdo a los periodos de su mayor disponibilidad ya que algunos países; debido a su situación geográfica, las estaciones de lluvia no son coincidentes donde se encuentran instaladas las plantas hidroeléctricas y en consecuencia la disponibilidad de energía no es siempre simultánea.

2.6.4 Elementos de la planta hidroeléctrica

- **Obra de toma:** Consiste de un dique transversal o diagonal con o sin vertedor de exceso –que represa el agua y aumenta ligeramente su nivel, obligándola a entrar al canal de derivación o alimentación-.
- **Canal de alimentación o derivación:** Es un conducto cuya longitud puede ser de varios kilómetros que transporta el agua del río al tanque de reposo o vaso de almacenamiento o depósito de carga; según el caso.
- **Tanque de reposo:** Consiste en un depósito para producir la decantación de arena y otros elementos extraños que pueda arrastrar el agua consigo. En lugar del tanque de reposo puede existir un vaso de almacenamiento.

- **Conducto forzado o tubería a presión:** Consiste de uno o más tubos colocados sobre la superficie del terreno o enterrados. Aquí se fuerza el agua hacia el cuarto de máquinas.
- **Central eléctrica o cuarto de máquinas:** En éste lugar se encuentran los generadores eléctricos.
- **Canal de descarga:** Por aquí sale el agua ya utilizada.
- **Pozo piezométrico:** Para contener el límite admisible de sobrepresión en el conducto. (Golpe de ariete).

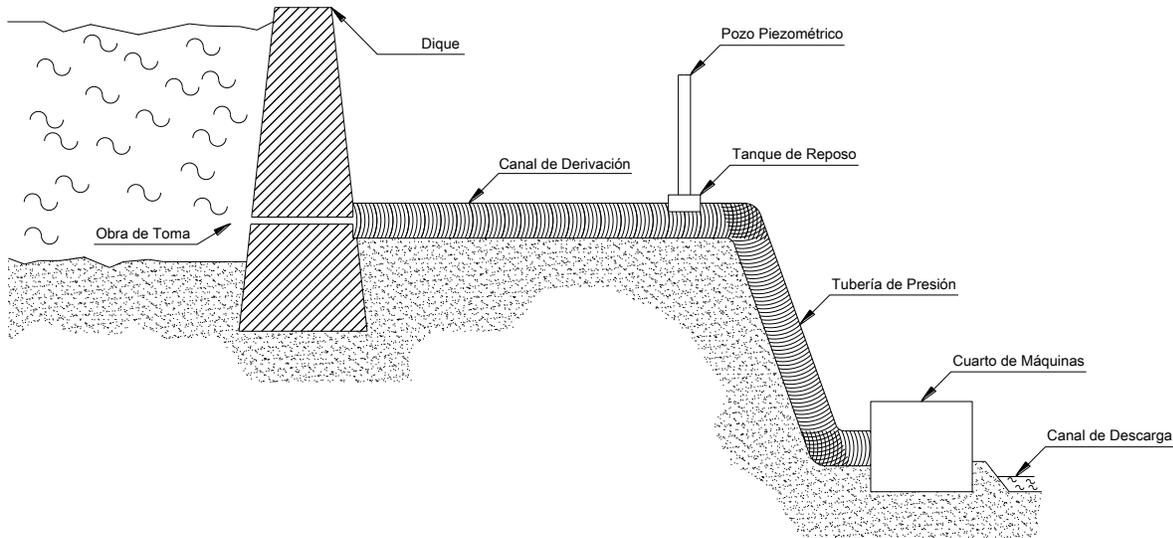


Figura 2-8 Planta hidroeléctrica de presa o vaso de almacenamiento

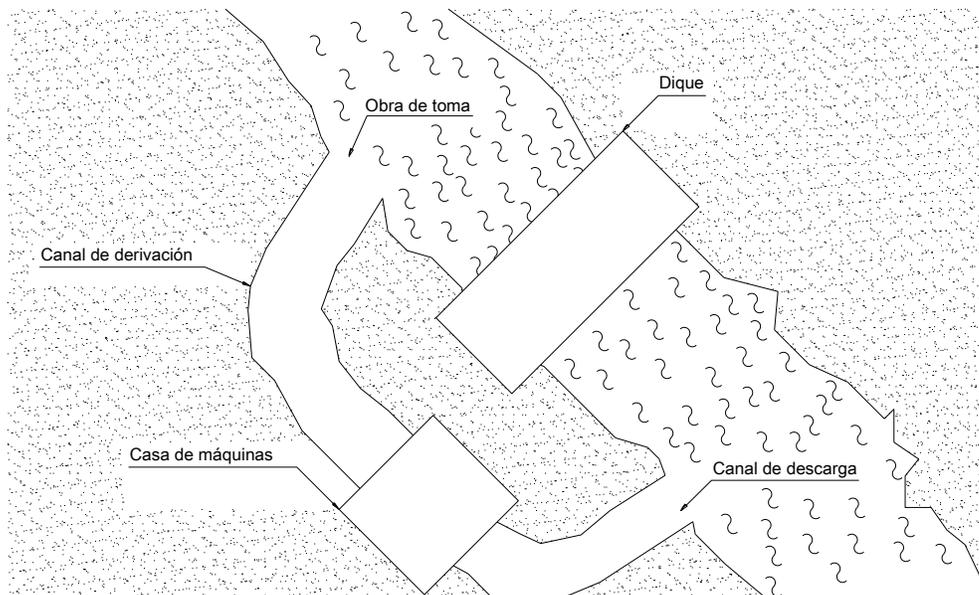


Figura 2-9 Planta hidroeléctrica de agua corriente o fluyente

2.7 Biomasa

El término biomasa se refiere a un tipo de fuente de energía renovable compuesto por material biológico, como restos de madera, residuos de drenaje, desechos animales e industriales y desperdicio orgánico. La fuente más común en la actualidad para la composición de la biomasa son cultivos específicamente dedicados con el fin de utilizar el material de dichos cultivos para la producción de electricidad y/o calor. Otras fuentes comunes son restos forestales, desperdicios de madera y restos de basura orgánicos. No se considera como biomasa los combustibles fósiles.

La producción industrial de biomasa proviene de diversas variedades de cultivo, siendo las más populares la caña de azúcar, el maíz, el sorgo y árboles como el eucalipto.

La biomasa se convierte en otras formas de energía para poder aprovechar su energía de una manera más sencilla:

- **Metano (Biogás)**

Este compuesto es el componente principal del gas natural, lo cual lo hace atractivo para su uso en la generación eléctrica. Es el hidrocarburo con más alta relación de calor producido por unidad de masa y se utiliza directamente en varias ciudades para calefacción y en la cocina. Se obtiene a partir de la biomasa a través del los proceso de digestión anaeróbica.

En el proceso de digestión anaeróbica diversos microorganismos descomponen el material biodegradable contenido en la biomasa en ausencia de oxígeno. El proceso da como resultado la producción de metano, agua y bióxido de carbono.

Para dicho proceso se utilizan taques especiales conocidos como digestores, en los cuales se deposita la biomasa y se comprime conforme se va depositando más material dentro del digestor. El mismo material sirve como una capa que previene la exposición al oxígeno, lo cual permite la reacciones anaeróbicas que eventualmente liberan el metano dentro del digestor. El gas obtenido se acumula dentro del tanque y la salida del mismo es regulada mediante válvulas como se muestra en la Figura 2-10. Se procesa principalmente a partir de basura orgánica y restos de las actividades de agricultura y ganadería. También se le conoce como biogás.

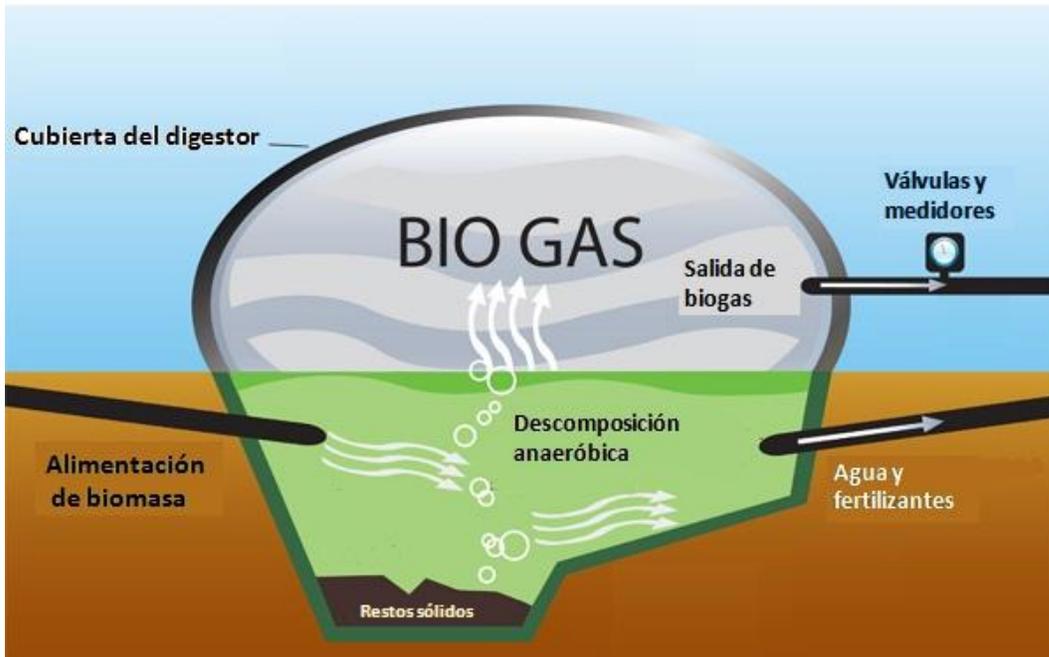


Figura 2-10 Biodigestor

- **Biodiesel**

Es un combustible utilizado principalmente en el sector del transporte. Para su obtención se utilizan en su mayoría aceites vegetales y grasas animales las cuales se someten a un proceso de transesterificación. El biodiesel está pensado para ser utilizado directamente en motores diesel estándar. Puede ser utilizada mezcla con cualquier cantidad de petrodiesel.

- **Etanol**

Es un combustible comercial usado ampliamente hoy en día, sobre todo en Brasil y Estados Unidos, donde su uso principal es en el transporte. Comúnmente se utiliza mezclado con gasolina en motores especialmente diseñados para ello. Se obtiene a partir de la biomasa por el proceso de fermentación, por lo general de caña de azúcar o maíz.

Los restos del procesamiento de la biomasa pueden ser utilizados posteriormente como fertilizantes o como elementos de composta. Una vez obtenido alguno de los combustibles anteriormente descritos u otros que provenga de la biomasa éstos pueden ser utilizados como combustibles para la generación eléctrica de manera idéntica a como se utilizan los hidrocarburos de origen fósil. Una de las ventajas que presenta este tipo de energía es que reduce la dependencia de otros tipos de hidrocarburos y permite aprovechar ciertos tipos de desperdicios.

Sin embargo, el uso de este tipo de energía como combustible también presenta algunos problemas como el costo de transporte de la biomasa debido a que ésta tiene una

disponibilidad variable de acuerdo a la región y a la época del año (ésto debido a que la mayor parte de la biomasa proviene de zonas agrícolas y en algunos países no existen zonas agricultoras extensas), lo cual limita la potencia que pueden entregar las plantas que utilizan esta energía. De igual manera, la combustión de biomasa presenta los mismos problemas de contaminación del aire que otros tipos de combustibles.

En la actualidad existen plantas generadoras a base de biomasa con una capacidad instalada de hasta 140 MW. Dichas plantas por lo general utilizan restos de caña de azúcar como combustible.

2.8 Planta nuclear

Las plantas de generación nuclear basan su funcionamiento en el aprovechamiento del fenómeno de la fisión nuclear para la generación de calor, el cual se utiliza para producir el vapor necesario para mover turbinas y obtener así energía eléctrica como generalmente se hace en las centrales termoeléctricas convencionales

La fisión nuclear consiste en bombardear átomos de material fisionable (comúnmente Uranio 235 o Plutonio 239). Cuando un neutrón colisiona con el núcleo de uno de los átomos del material fisionable se forma, por una diezmillonésima de segundo, un isótopo inestable el cual, inmediatamente se rompe en dos partes iguales, liberando neutrones y energía en forma de rayos gamma.

Una parte significativa de la energía se convierte en calor debido al choque de los fragmentos de la fisión. Los neutrones producidos en la fisión a su vez colisionan con otros núcleos no fisionados dando así lugar a una reacción auto sostenida conocida como reacción en cadena.

La reacción se regula mediante el uso de materiales llamados moderadores, los cuales disipan la energía de los neutrones producidos durante la fisión. Dichos materiales moderadores se esparcen junto con el combustible de la fisión y los neutrones creados a partir de ésta chocan con los núcleos de átomos del material moderador, lo cual no causa una fisión pero si una pérdida de energía por parte del neutrón, debida a la colisión. Además este proceso aumenta la eficiencia de la reacción de fisión.

En la Figura 2-11 se muestra el esquema básico de una planta nuclear.

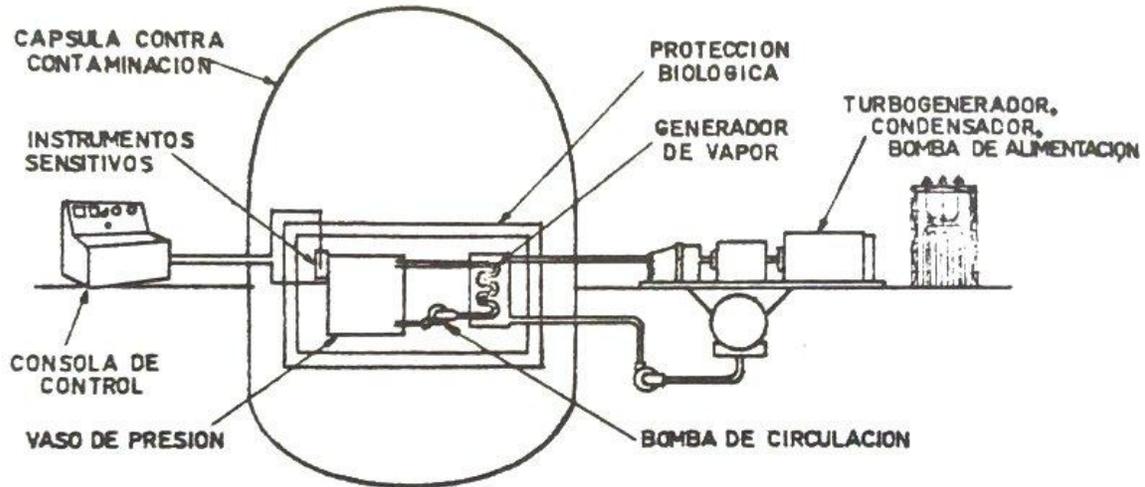


Figura 2-11 Esquema básico de una planta nuclear

2.8.1 Reactor nuclear

El reactor es el equipo utilizado para iniciar, mantener y controlar la reacción de fisión de manera que el calor se genere de forma gradual para su aprovechamiento.

Los componentes principales de un reactor nuclear, mostrados en la Figura 2-12, son:

- **Combustible:** Es un material fisionable el cual sirve para mantener una reacción en cadena sostenida mediante la producción continua de neutrones. Generalmente se utiliza como combustible alguno de los isótopos Uranio 235, Uranio 233 o Plutonio 239.
- **Moderador:** Sirve como regulador de la reacción de fisión, siendo utilizado comúnmente, como tal, el grafito o el agua pesada.
- **Refrigerante:** Este elemento permite la transmisión de calor hacia un convertidor que permite aprovechar la energía térmica además de evitar daños a la estructura del reactor debido a las altas temperaturas.
- **Vaso de presión:** Es una estructura de acero forjado y carbón, altamente reforzada, donde se lleva a cabo la fisión, la cual cuenta con un mecanismo de inserción para el combustible y las varillas de control.
- **Blindaje:** Tiene por objeto absorber las radiaciones producidas por la fisión. Por lo general consiste en una capa de concreto de varios metros de espesor.
- **Barras de control:** La función de estas es absorber neutrones retardando la fusión. Las varillas están hechas de cadmio, acero o boro y al introducirlas o retirarlas se retarda o acelera de forma correspondiente la reacción atómica.

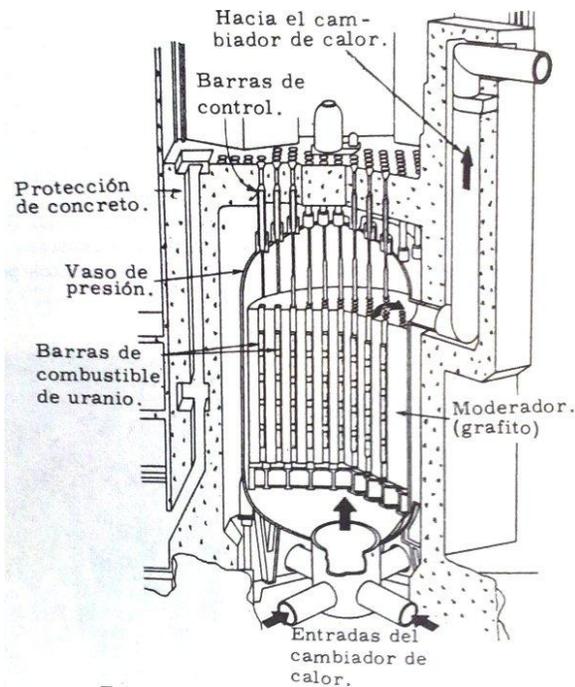


Figura 2-12 Reactor nuclear

2.8.2 Residuos radioactivos

Son residuos que contienen elementos químicos radiactivos que no tienen un propósito práctico. Es frecuentemente el subproducto de un proceso nuclear, como la fisión nuclear. El residuo también puede generarse durante el procesamiento de combustible para los reactores o armas nucleares o en las aplicaciones médicas como la radioterapia o la medicina nuclear.

Se suelen clasificar por motivos de gestión en:

- **Residuos desclasificables (o exentos):** No poseen una radioactividad que pueda resultar peligrosa para la salud de las personas o el medio ambiente, en el presente o para las generaciones futuras. Pueden utilizarse como materiales convencionales.
- **Residuos de baja actividad:** Poseen radiactividad gamma o beta en niveles menores a 0.04 GBq/m^3 ⁴ si son líquidos, 0.00004 GBq/m^3 si son gaseosos, o la tasa de dosis en contacto es inferior a 20 mSv/h ⁵ si son sólidos. Solo se consideran de esta categoría si además su periodo de semidesintegración es inferior a 30 años. Pueden almacenarse en almacenamientos superficiales.
- **Residuos de media actividad:** Poseen radiactividad gamma o beta con niveles superiores a los residuos de baja actividad pero inferiores a 4 GBq/m^3 para líquidos,

⁴ El becquerel (Bq) es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades que mide la actividad radiactiva. Equivale a una desintegración nuclear por segundo.

⁵ El sievert (Sv) es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos. 1 Sv es equivalente a un Jule por kilogramo (J kg^{-1}).

gaseosos con cualquier actividad o sólidos cuya tasa de dosis en contacto supere los 20 mSv/h. Al igual que los residuos de baja actividad, solo pueden considerarse dentro de esta categoría aquellos residuos cuyo periodo de semidesintegración sea inferior a 30 años. Pueden almacenarse en almacenamientos superficiales.

- **Residuos de alta actividad o alta vida media:** Todos aquellos materiales emisores de radiactividad alfa y aquellos materiales emisores beta o gamma que superen los niveles impuestos por los límites de los residuos de media actividad. También todos aquellos cuyo periodo de semidesintegración supere los 30 años, deben almacenarse en almacenamientos geológicos profundos.