



## IPET 132 PARAVACHASCA

### **Asignatura: Operación y Mantenimiento de Equipos Electromecánicos**

#### **Sexto Año A Especialidad Electromecánica**

Profesor: Diego Ferrari

Email: [ad-ferrari@hotmail.com](mailto:ad-ferrari@hotmail.com)

Telefono: 3547524100

**Objetivo del trabajo Práctico: ENERGIA NUCLEAR.** Fisión nuclear. Reacción en cadena. Instalaciones nucleares. Centrales nucleares. Tipos de centrales. Centrales CANDU.

\*Fecha límite de presentación: **5 de noviembre de 2020**

#### **Criterios de evaluación:**

Participación en las instancias y medios de consulta (clases virtuales, whatsapp).  
Presentación en tiempo y forma de las actividades propuestas.

#### **Recomendaciones del profesor:**

Asiste a las clases virtuales anunciadas desde el grupo de whatsapp.

No dejes de consultar por los medios disponibles a tu docente sobre las dudas que pudieran surgir durante la resolución de la presente actividad.

Trata de tomar la fotografía de tu trabajo en un lugar iluminado. No olvides poner tu nombre, apellido y curso en cada hoja del trabajo. Puedes presentar tu actividad también resuelta en formato digital (word o pdf).

Recuerda ir anexando los resúmenes enviados por el docente a tu carpeta, en la medida que puedas ir imprimiéndolos.

Organiza tu biblioteca técnica de consulta con estos apuntes, trabajos y notas de clases (tanto en formato papel como digital). Seguramente ante futuros trabajos en el campo práctico esa información te resultará de utilidad.

### **Introducción**

#### **Energía Nuclear**

La energía nuclear es la energía contenida en el núcleo de los átomos. La energía nuclear se utiliza en múltiples aplicaciones, pero la aplicación más conocida es la generación de electricidad.

La energía nuclear es la energía que se libera como consecuencia de la reacción que se produce cuando se dividen los núcleos atómicos pesados. Ésta es también denominada Fisión Nuclear. Como resultado de este proceso se generan grandes cantidades de calor que son aprovechadas para producir vapor a presión, lo que permite obtener energía mecánica para poner en funcionamiento generadores de energía eléctrica.

La energía nuclear tiene la ventaja de producir un bajo impacto ambiental, lo que la convierte en una fuente sustentable, ya que produce ínfimas cantidades de gases que provocan el llamado efecto invernadero.

El uranio es uno de los combustibles que permiten que se lleve a cabo este proceso, y es también el más utilizado en la mayoría de los reactores nucleares, por ser uno de los minerales más abundantes en la naturaleza.

La energía nuclear no es sólo el resultado de un proceso físico-químico, sino que constituye una de las formas de desarrollo científico-tecnológico más avanzadas, ya que además de producir energía eléctrica, contribuye con el avance de otras disciplinas y ciencias como la ingeniería, la metalurgia, la siderurgia, la mecánica y la medicina, entre otras, impactando favorablemente en el desarrollo de los sectores de salud, agrícola e industrial.

## GENERACIÓN ELÉCTRICA POR TIPO DE TECNOLOGÍA

TANTO LA ENERGÍA NUCLEAR COMO LAS RENOVABLES SON LAS ÚNICAS QUE NO PRODUCEN GASES DE EFECTO INVERNADERO.



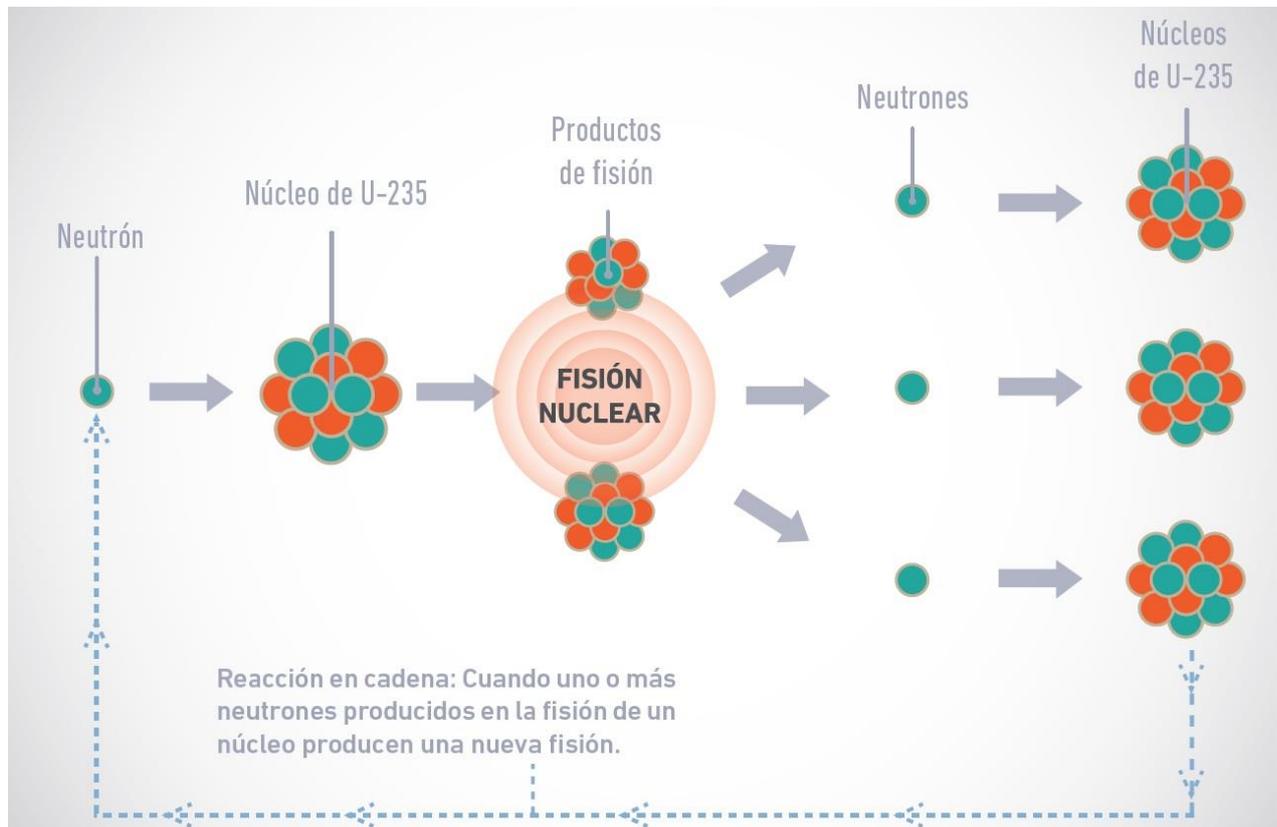
### Fusión o fisión nuclear:

La energía nuclear se puede utilizar para producir electricidad. Pero primero la energía debe ser liberada. Ésta energía se puede obtener de dos formas: fusión nuclear y fisión nuclear. En la fusión nuclear, la energía se libera cuando los núcleos de los átomos se combinan o se fusionan entre sí para formar un núcleo más grande. Así es como el sol produce energía. En la fisión nuclear, los núcleos se separan para formar núcleos más pequeños, liberando energía. Las centrales nucleares utilizan la fisión nuclear para producir electricidad. Cuando se produce una de estas dos reacciones nucleares (la fisión nuclear o la fusión nuclear) los átomos experimentan una ligera pérdida de masa. Esta masa que se pierde se convierte en una gran cantidad de energía calorífica y de radiación, como descubrió **Albert Einstein** con su famosa ecuación  $E=mc^2$ . La **energía calorífica producida** se utiliza para **producir vapor y generar electricidad**. Aunque la producción de energía eléctrica es la utilidad más habitual que se le da a la energía nuclear, también se puede aplicar en muchos otros sectores, como en aplicaciones médicas o medioambientales.

### Fisión nuclear

La fisión nuclear es la reacción en la que el núcleo de un átomo pesado, al capturar un neutrón incidente, **se divide** en dos o más núcleos de átomos más ligeros, llamados productos de fisión, **emitiendo** en el proceso neutrones, rayos gamma y **grandes cantidades de energía**. El núcleo que captura el neutrón incidente se vuelve inestable y, como consecuencia, se produce su

escisión en fragmentos más ligeros dando lugar a una situación de mayor estabilidad. Además de estos productos, en la reacción de fisión se producen varios **neutrones** que al incidir sobre otros núcleos fisionables **desencadenan** más reacciones de fisión que a su vez generan más neutrones. Este efecto multiplicador se conoce como **reacción en cadena**. Para que se produzca una reacción de fisión en cadena es necesario que se cumplan ciertas condiciones de geometría del material fisionable y se supere un umbral determinado de cantidad del mismo, conocido como masa crítica. La fisión puede llegar a producirse de forma espontánea, pero es necesaria la existencia de un neutrón que incida con la energía adecuada.



### Tipos de instalaciones nucleares

Se consideran instalaciones nucleares:

- Las centrales nucleares, es decir, instalaciones fijas cuya función principal es la producción de energía mediante un reactor nuclear.
- Los reactores nucleares, son las estructuras que permiten la disposición del combustible nuclear de tal modo que dentro de ellos pueda tener lugar un proceso automantenido de fisión nuclear, sin necesidad de una fuente adicional de neutrones.
- Las fábricas que utilizan sustancias nucleares para producir combustibles nucleares u otras fábricas de tratamiento de sustancias nucleares, como las instalaciones de tratamiento o reprocesado de combustibles nucleares irradiados.
- Las instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares, excepto los lugares en que dichas sustancias se almacenen incidentalmente durante su transporte.
- Los dispositivos e instalaciones que utilicen reacciones nucleares de fusión o fisión para producir energía o con vistas a la producción o desarrollo de nuevas fuentes energéticas.

### Qué es una central nuclear

**Una central nuclear es una instalación industrial en la que se genera electricidad a partir de la energía térmica producida mediante reacciones de fisión en la vasija de un reactor nuclear.** El componente central de una central es el reactor, que es la instalación donde se aloja

el combustible nuclear y que cuenta con sistemas que permiten iniciar, mantener y detener, de modo controlado, reacciones nucleares de fisión que liberan grandes cantidades de energía térmica. La energía térmica liberada se utiliza para calentar agua hasta convertirla en vapor a alta presión y temperatura. Este vapor hace girar una turbina que está conectada a un generador que transforma la energía mecánica del giro de la turbina en energía eléctrica, lista para su utilización industrial.

### **Cómo funciona**

La fisión nuclear crea calor:

El trabajo principal de un reactor es albergar y controlar la fisión nuclear, un proceso en que los átomos se dividen y liberan energía.

Los reactores utilizan uranio como combustible nuclear. El uranio se procesa en pequeñas bolitas de cerámica y se apilan en tubos metálicos sellados llamados barras de combustible.

Normalmente más de 200 de estas varillas se agrupan para formar un conjunto de combustible.

Un núcleo de reactor normalmente está formado por un par de cientos de conjuntos, dependiendo del nivel de potencia.

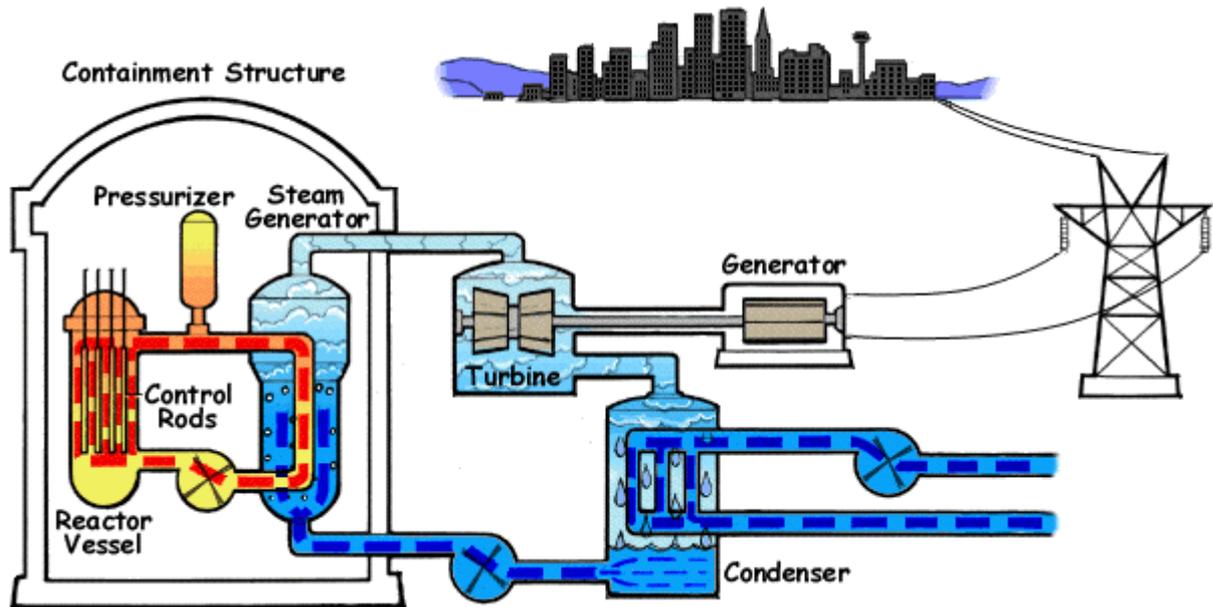
Dentro del recipiente del reactor las barras de combustible se sumergen en agua que actúa como refrigerante y moderador. El moderador ayuda a reducir la velocidad de los neutrones producidos por la fisión para sostener la reacción en cadena. Las barras de control pueden insertarse en el núcleo del reactor para reducir la velocidad de reacción o retirarse para aumentarla.

El calor creado por la fisión convierte el agua en vapor, que hace girar una turbina para producir electricidad sin carbono.



El principio de funcionamiento de una central nuclear es análogo al de una central térmica convencional (de carbón, fuel o gas) y consiste en transformar la energía térmica liberada por un combustible en energía mecánica, y ésta en energía eléctrica. El calor producido en el reactor de la central calienta agua hasta generar vapor a alta presión y temperatura. Posteriormente, este vapor acciona una turbina acoplada a un generador eléctrico, que transforma la energía mecánica del giro de la turbina en energía eléctrica. Aunque este principio básico de funcionamiento es

relativamente sencillo, la tecnología aplicada es de una gran complejidad debido a los fenómenos físicos que se ponen en juego, las grandes potencias alcanzadas, los requisitos técnicos y las estrictas medidas de seguridad necesarias para garantizar, en todo momento, tanto la seguridad de los trabajadores y de la población como la protección del medio ambiente.



## El reactor

Existen varios tipos de reactores:

- **Reactores de agua ligera** en los que el refrigerante y el moderador son agua
- **CANDU (de Canada Deuterium Uranium)** que utiliza agua pesada para moderar y refrigerar.
- **FRB (de Fast Breeder Reactor)** que en lugar de utilizar neutrones térmicos para llevar a cabo la reacción de fisión, utiliza neutrones rápidos
- **AGR (de Advance Gas-cooled reactor)** en los que el refrigerante es dióxido de carbono y el moderador es grafito
- **RBMK (de Reactor Bolshoy Moshchnosty Kanalny)** que utiliza agua para refrigerar y grafito para moderar.

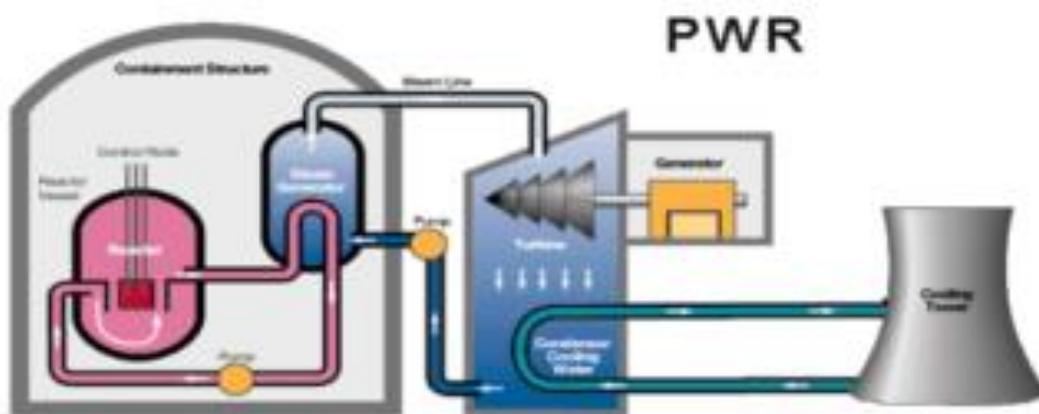
En esta unidad de estudio haremos foco en los **dos primeros tipos** de reactores enunciados.

El reactor es la instalación de la central nuclear en la que se inician, mantienen y controlan las reacciones de fisión nuclear en cadena que producen la energía térmica necesaria para la generación de energía eléctrica.

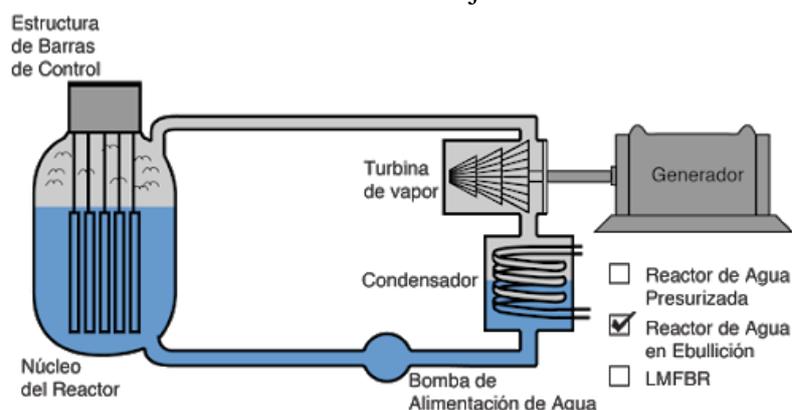
El reactor consta de una vasija de acero en cuyo interior se dispone un conjunto de elementos de combustible nuclear siguiendo un cierto patrón geométrico. Los **núcleos de los átomos** del combustible nuclear son **impactados por neutrones**, lo que provoca su ruptura, dando lugar a la aparición de fragmentos conocidos como **productos de fisión y de más neutrones** que, a su vez, impactarán de nuevo sobre otros átomos de combustible. En este proceso, conocido como reacción en cadena, se desprende gran cantidad de **energía térmica** que se utiliza para la **producción de vapor de agua**. En la mayoría de reactores, para facilitar el proceso de reacción en cadena es necesaria, asimismo, la presencia dentro del reactor de un **elemento moderador** de

los neutrones que se producen en las reacciones de fisión. Esto se debe a que estos neutrones tienen una elevada **energía cinética** y es conveniente **reducir su velocidad** para facilitar nuevas reacciones en cadena, lo que se consigue mediante choques elásticos de los neutrones con los átomos del elemento que hace de moderador. El moderador utilizado en las **centrales de agua ligera es agua**, y en las centrales **CANDU** la denominada **agua pesada (óxido de deuterio)**. Por otro lado, para controlar de manera segura las reacciones de fisión que tienen lugar en el reactor nuclear existen mecanismos de accionamiento de una serie de **barras de control que contienen un material que absorbe los neutrones**. Estas **barras de control se pueden insertar total o parcialmente dentro de la vasija del reactor para impedir en mayor o menor medida que los neutrones sigan desencadenando sucesivas reacciones de fisión**. En caso de ser necesario detener todas las reacciones de fisión se insertan inmediatamente todas las barras de control dando lugar a lo que se denomina parada automática, "disparo" o "scram" del reactor. El reactor de una central nuclear está rodeado de un blindaje de hormigón que intercepta las radiaciones ocasionadas en las radiaciones de fisión. Tanto el reactor como los sistemas auxiliares mencionados anteriormente se disponen de un edificio diseñado para limitar las emisiones de radiación en caso de accidente y que se conoce como edificio de "contención". La energía producida por las reacciones de fisión se utiliza para generar el vapor que alimenta la turbina de la central nuclear. Para ello, el agua circula a través del núcleo del reactor aumentando su temperatura. Existen fundamentalmente dos tipos de centrales nucleares en operación cuya diferencia fundamental estriba en si la generación de vapor tiene lugar dentro o fuera del reactor:

- En las centrales con Reactores de Agua a Presión (PWR según sus siglas en inglés), el agua circula en estado líquido a través del reactor a muy alta presión y su transformación en vapor se produce fuera del mismo, en un **intercambiador de calor exterior que se denomina generador de vapor**.

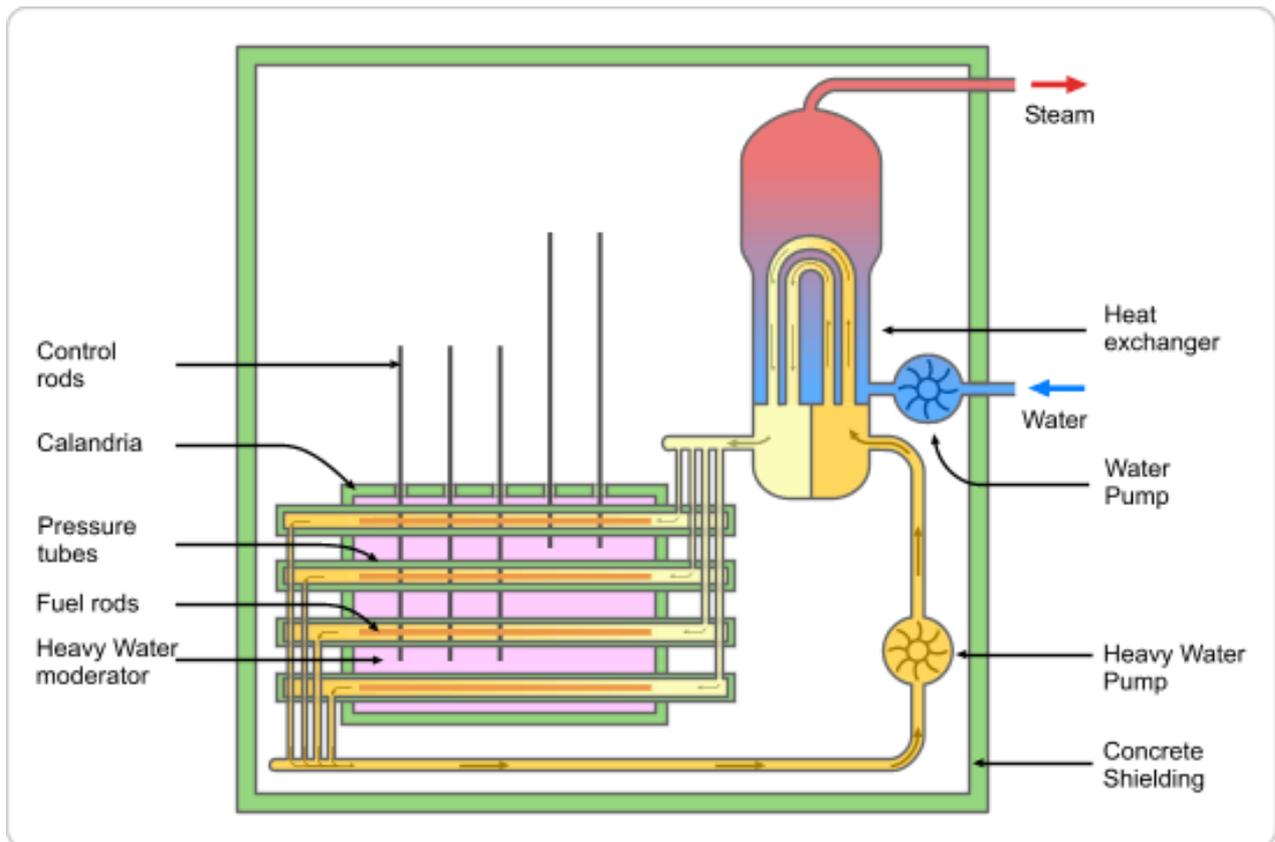


- En las centrales con Reactores de Agua en Ebullición (BWR según sus siglas en inglés), el vapor se produce directamente en el interior de la vasija del reactor.



## Reactor CANDU

El reactor CANDU es un reactor de agua pesada presurizada (PHWR sus siglas en inglés) diseñado a finales de los años 1950 y en los años 1960 por una asociación entre Atomic Energy of Canada Limited (AECL) y la Hydro-Electric Power Commission of Ontario (conocida como Ontario Power Generation), así como varios participantes de la industria privada. El acrónimo "CANDU" es una marca registrada de Atomic Energy of Canada Limited, de la expresión "CANAdá Deuterio Uranio", en referencia a su moderador de neutrones de óxido de deuterio (agua pesada) y su utilización de uranio natural como combustible. Todos los reactores de energía actuales del Canadá son del tipo CANDU, y Canadá comercializa este producto en el extranjero.



Los reactores CANDU tienen algunas características únicas de diseño, que les proporcionan ventajas sobre otros diseños de reactores:

- CANDU utiliza como combustible **óxido de uranio natural no enriquecido** (0,7% de U-235); en consecuencia, **necesita un moderador de neutrones más eficiente** que la mayoría de otros reactores – en este caso el **agua pesada ( $D_2O$ )**, óxido de deuterio. Esto significa que puede funcionar sin necesidad de costosas instalaciones para el enriquecimiento de uranio. La mayoría de países menos desarrollados consideran que esto es atractivo porque no pueden permitirse instalaciones de enriquecimiento, y no pueden asegurarse el acceso al uranio enriquecido. El Tratado de no proliferación nuclear, que implementa un régimen de salvaguarda bajo los auspicios de la Agencia Internacional de la Energía Atómica, regula el acceso a materiales nucleares tales como el uranio enriquecido.
- El moderador es un gran depósito, llamado **calandria**, atravesado por **varios cientos de tubos de presión horizontales, que constituyen los canales para el combustible**, refrigerados por un flujo de agua pesada a gran presión en el circuito de refrigeración primario, alcanzando los 290 °C. La alta presión dentro del depósito evita la ebullición del agua pesada.

En el reactor de agua presurizada el refrigerante primario genera en el circuito secundario una corriente que mueve las turbinas. El diseño del tubo de presión permite que el reactor se pueda repostar continuamente sin necesidad de apagarlo, puesto que los canales de combustible están controlados individualmente.

- El CANDU está diseñado de modo que no requiere grandes recipientes de presión, puesto que los utilizados habitualmente en los reactores de agua ligera son extremadamente caros, y requieren una industria pesada de la que carecen muchos países. En su momento, Canadá tampoco disponía de ella, y diseñó el reactor para no necesitarla. En su lugar, el **reactor presuriza sólo pequeños tubos que contienen el combustible. Estos tubos están contruidos de una aleación de circonio (Zircaloy), que es relativamente transparente a los neutrones.**
- Un ensamblaje de combustible CANDU lo compone un haz de 37 barras de combustible de medio metro de largo (grageas cerámicas (pellets) en tubos de zircaloy) más una estructura de soporte, con 12 haces discurriendo de punta a punta en un canal de combustible. Las barras de control penetran en la calandria verticalmente, y un **sistema secundario de apagado consiste en inyectar una solución de nitrato de gadolinio en el moderador.** El moderador de agua pesada que circula a través del cuerpo de la calandria, también produce algún calor residual.
- Puesto que el conjunto moderador del reactor se mantiene a temperatura y presión relativamente bajas, el equipo para controlar y actuar en el núcleo es bastante menos complejo. Sólo tiene que afrontar la alta radiación y el alto flujo de neutrones. En especial, las barras de control y el equipo de emergencia son más sencillos y más fiables que en otros tipos de reactores.
- **El reactor tiene el tiempo más bajo de apagado que cualquier otro tipo conocido.** Esto parcialmente se debe en gran parte a que el reactor funciona a temperaturas y presión bajas. También se debe al sistema único de manejo del combustible. Los tubos de presión que contienen sus barras pueden abrirse individualmente, y cambiar las barras de combustible sin hacer que el reactor deje de funcionar.
- Otra ventaja es que el combustible utilizado es el **más eficiente de los conocidos.** Esto se debe al uso del agua pesada como regulador. La eficiencia también es mayor debido al mecanismo que permite repostar mientras sigue funcionando, pudiéndose situar los conjuntos de combustible en las partes más convenientes del núcleo del reactor, de acuerdo con sus cambios de reactividad.

Observa atentamente los siguientes videos:

Como funciona la energía nuclear:

<https://www.youtube.com/watch?v=rXWNueIeHQA>

<https://www.youtube.com/watch?v=0yk3RuEgWD4>

Extensión de vida Central Nuclear Embalse:

[https://www.youtube.com/watch?v=XpaS\\_VzRGQI](https://www.youtube.com/watch?v=XpaS_VzRGQI)

Retubado reactor Central Nuclear Embalse:

<https://www.youtube.com/watch?v=3DWMKaItjEQ>

¿Que pasó en Chernóbil?

<https://www.youtube.com/watch?v=PsPJr10FPmE>

¿Por qué en Chernóbil no se puede vivir y en Hiroshima sí?

[https://www.youtube.com/watch?v=PEQE\\_oGPHok](https://www.youtube.com/watch?v=PEQE_oGPHok)

¿Como se desmantela una central nuclear?

<https://www.youtube.com/watch?v=VuukSrg8OGs>

Depósito nuclear subterráneo

<https://www.youtube.com/watch?v=kH0sYHZ1O38>

Atucha II

<https://www.youtube.com/watch?v=jIOWQ9yF8Ok>

Luego de una lectura comprensiva del texto resalta los párrafos con información que consideres importante y responde:

- 1- ¿La energía nuclear utilizada para producir electricidad proviene de la fusión o de la fisión nuclear?
- 2- Explica en que consiste la fisión nuclear.
- 3- Explica que es una reacción en cadena. Acompaña la explicación con un gráfico o esquema.
- 4- ¿Como llegamos desde la energía nuclear a la producción de electricidad a partir de la fisión nuclear? Explica cuales son las partes de un reactor nuclear y su interacción en la transformación de energía. Acompaña con gráfico esquemático.
- 4- Explica cuales son los dos tipos de reactores nucleares de agua ligera más utilizados y cual es la diferencia fundamental entre estos.
- 5- Enumera las ventajas de un reactor nuclear CANDU.

### **Reflexión final:**

Ha sido un año difícil, poblado de dificultades convertidas en desafíos. Haz de cada una de estas un logro a partir de tu esfuerzo y perseverancia. No dejes de estudiar. Vuélvete cada día mas curioso y disciplinado.

El conocimiento técnico te abrirá infinitas puertas. Mira hacia atrás desde este punto que hoy estamos arribando y verás que el difícil camino se ha convertido en un abanico de conocimientos útiles. Cuenta con tus profesores hoy y SIEMPRE.

Prof. Diego Ferrari