

4 | Principios de Generación

- Conceptos básicos del generador
- Fuentes de energía
- Conversión de energía
- Plantas Generadoras
 - Hidro
 - Carbón
 - Turbina de Combustión y Ciclo Combinado
 - Viento
 - Solar
 - Nuclear
 - Otro

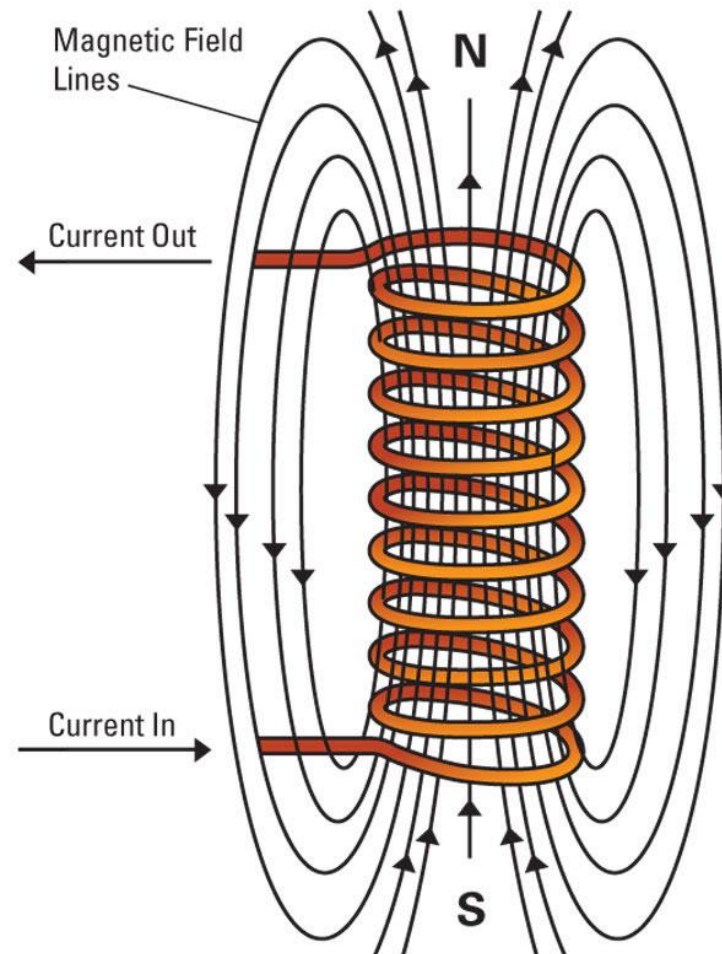
Esquema del curso

1. Introducción al WECC
2. Fundamentos de la Electricidad
3. Descripción general del sistema de energía
- 4. Principios de Generación**
5. Descripción general de la subestación
6. Transformadores
7. Transmisión de potencia
8. Protección del sistema
9. Principios de funcionamiento del sistema

Conceptos básicos del generador

Magnetismo e Inducción

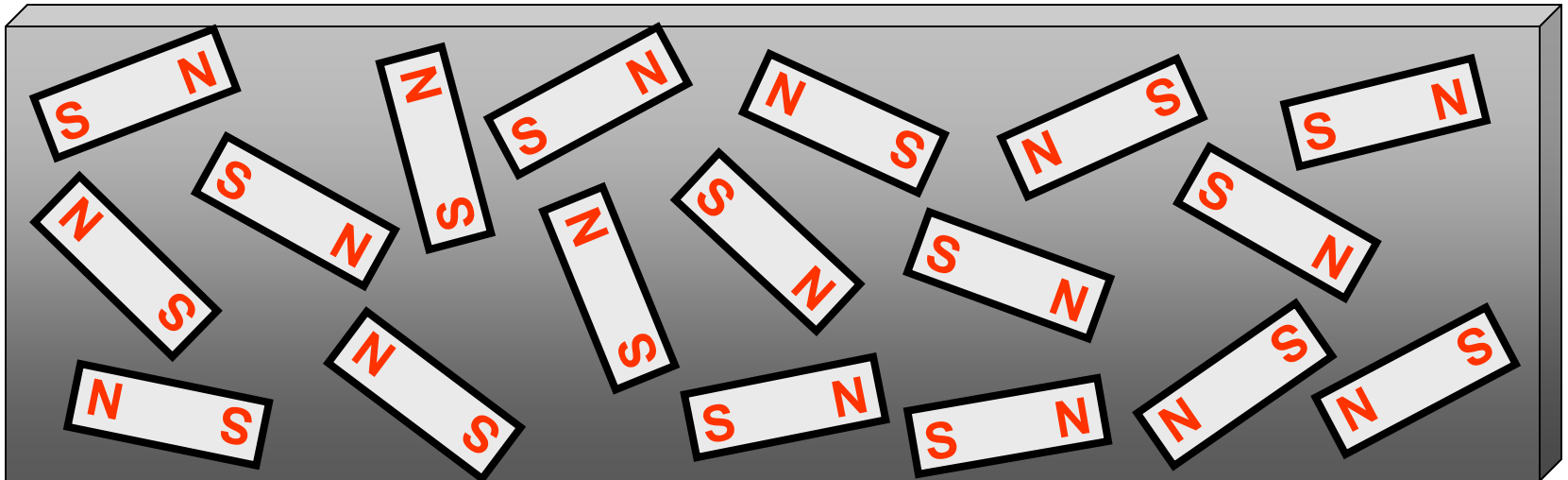
Magnetismo



Magnetismo e Inducción

Dominios magnéticos aleatorios

BARRA O VARILLA DE HIERRO

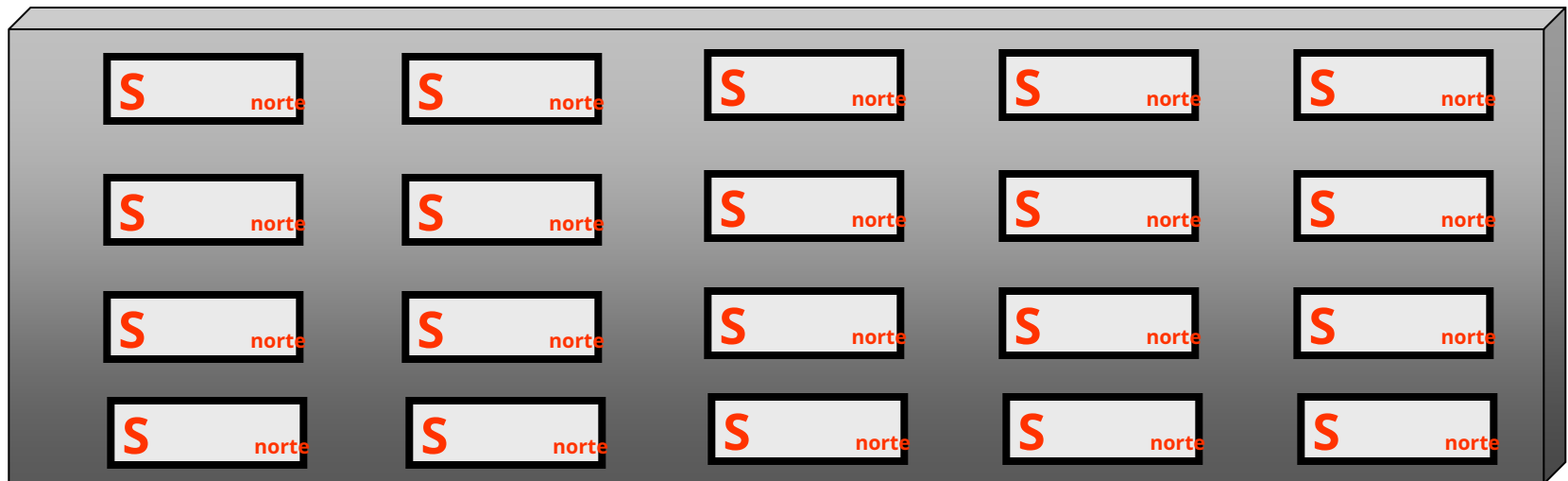


Hierro no magnetizado

Magnetismo e Inducción

Dominios magnéticos alineados

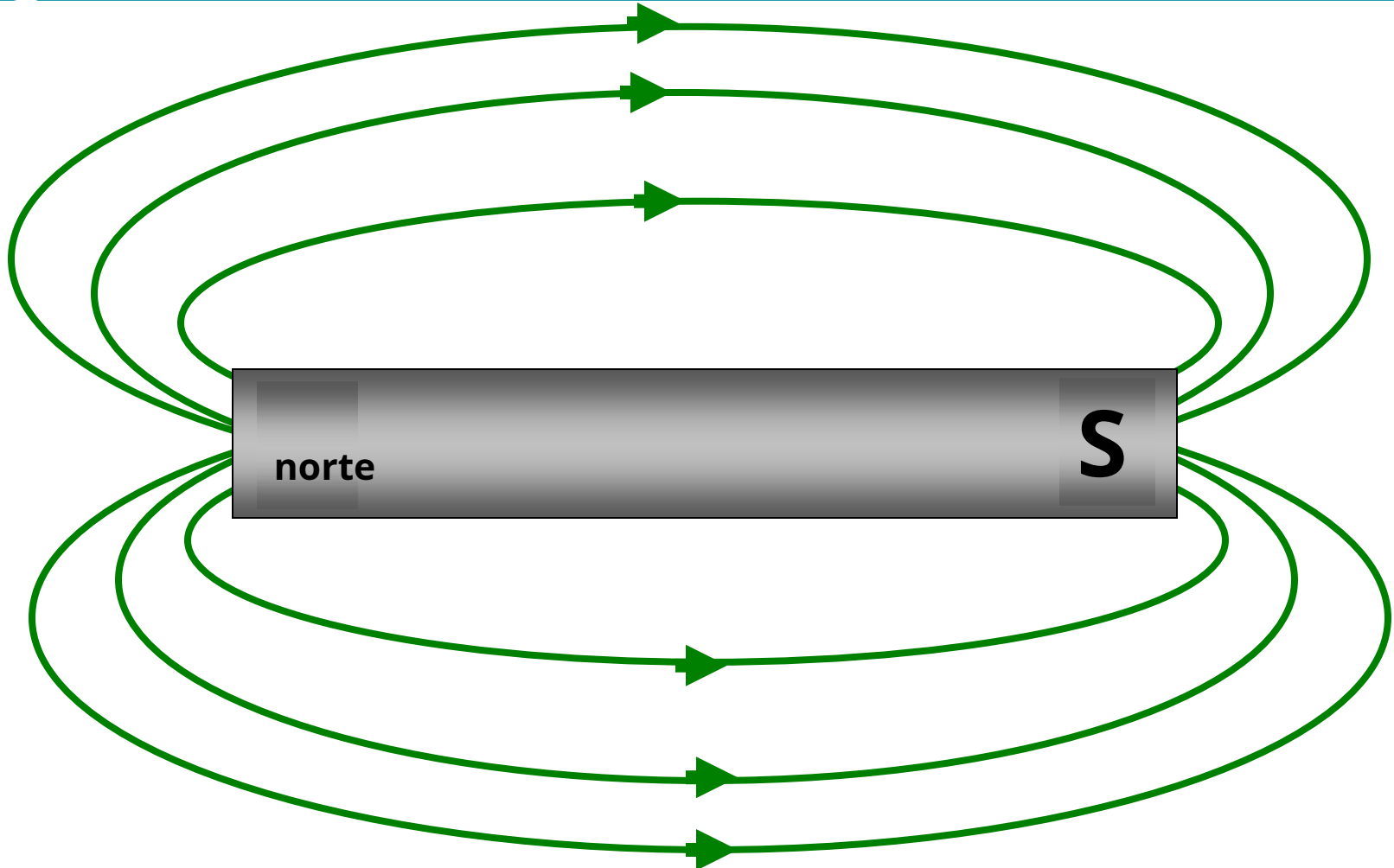
BARRA O VARILLA DE HIERRO



Hierro Magnetizado

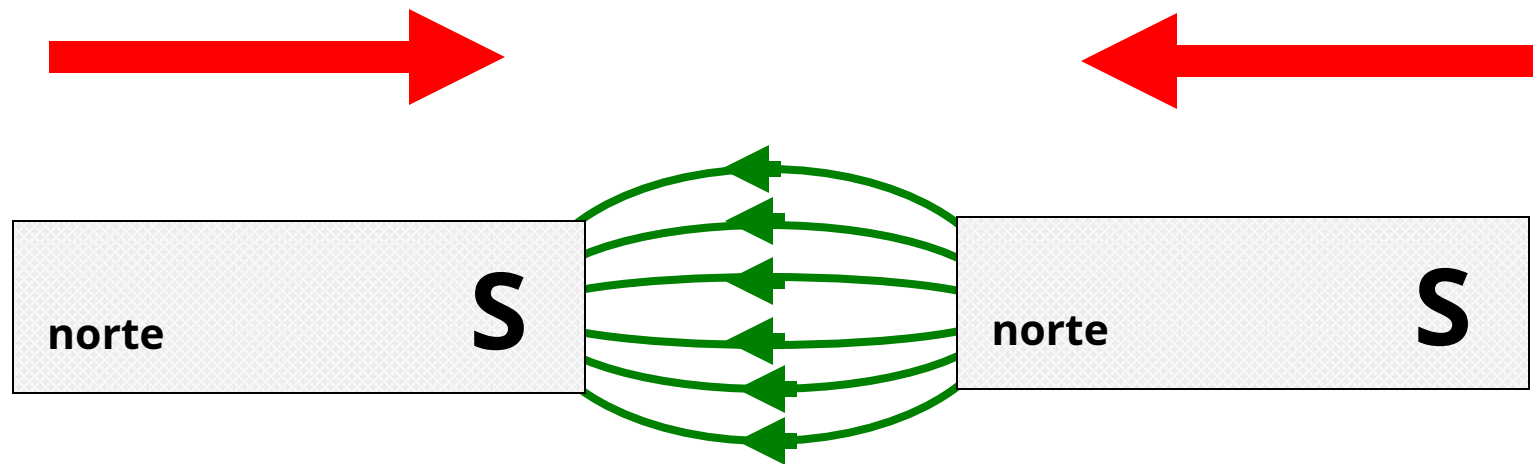
Conceptos básicos del generador

Magnetismo e Inducción



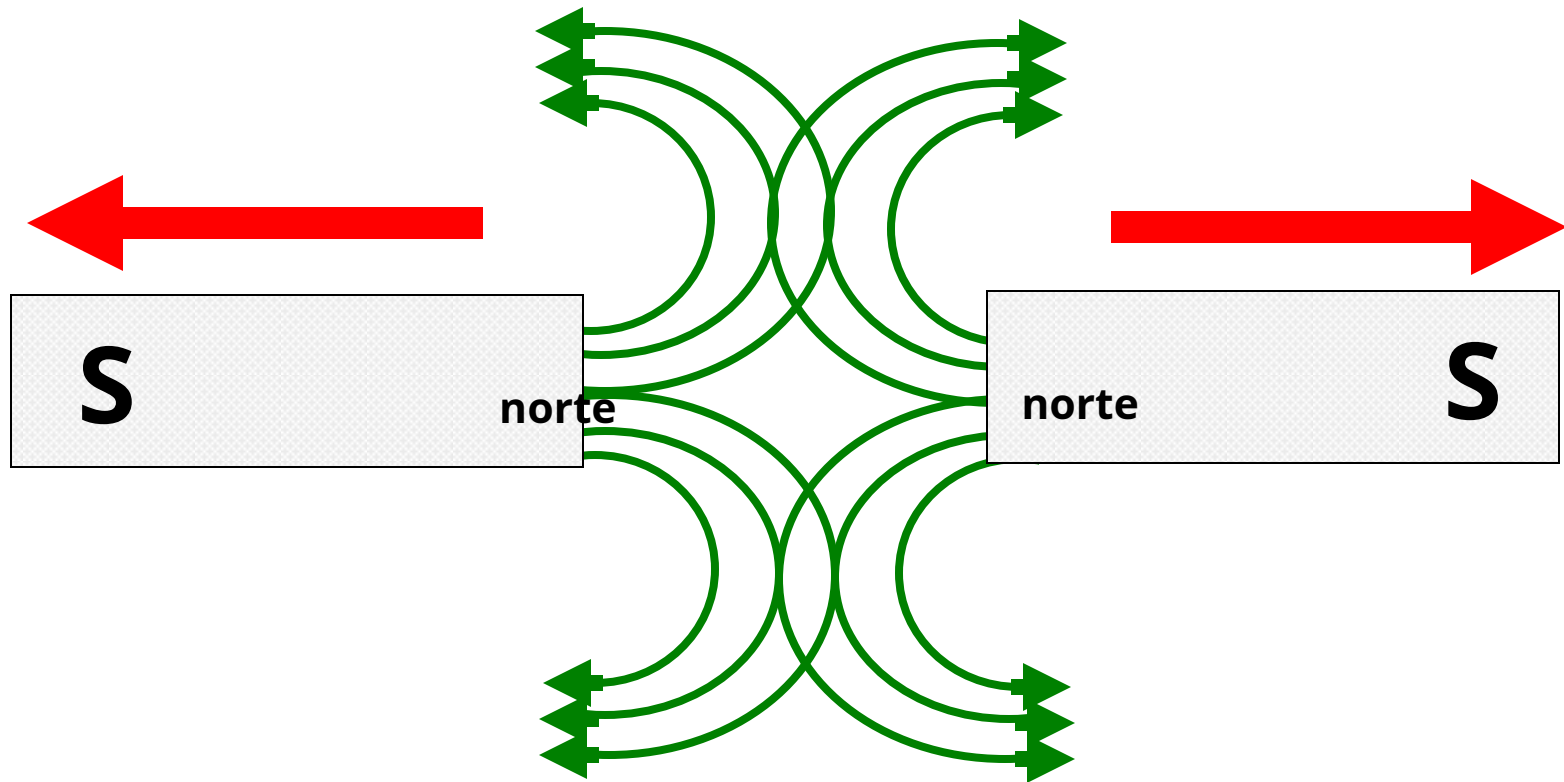
Líneas de Fuerza Magnética (Flujo) -Del Polo Norte al Polo Sur

Magnetismo e Inducción



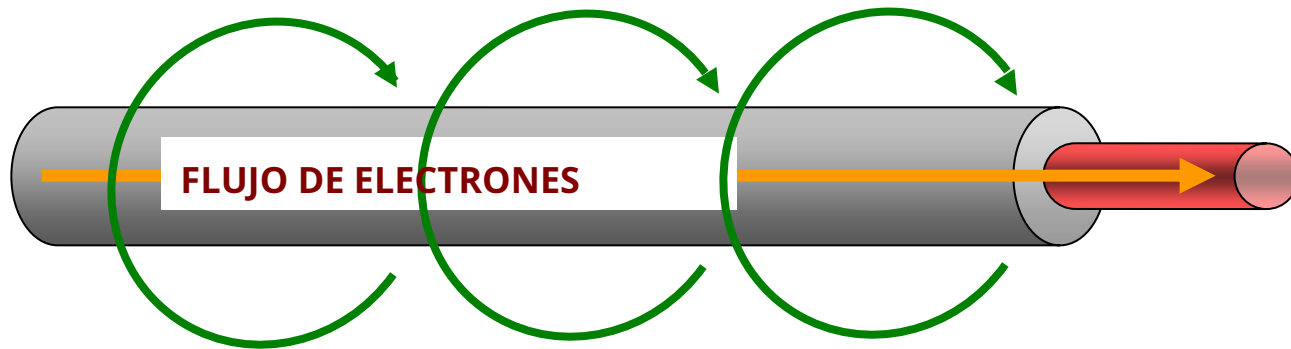
Líneas de fuerza magnética (flujo)
Polos diferentes se atraen entre sí

Magnetismo e Inducción



Líneas de fuerza magnética (flujo)
como polos se repelen entre sí

Magnetismo e Inducción



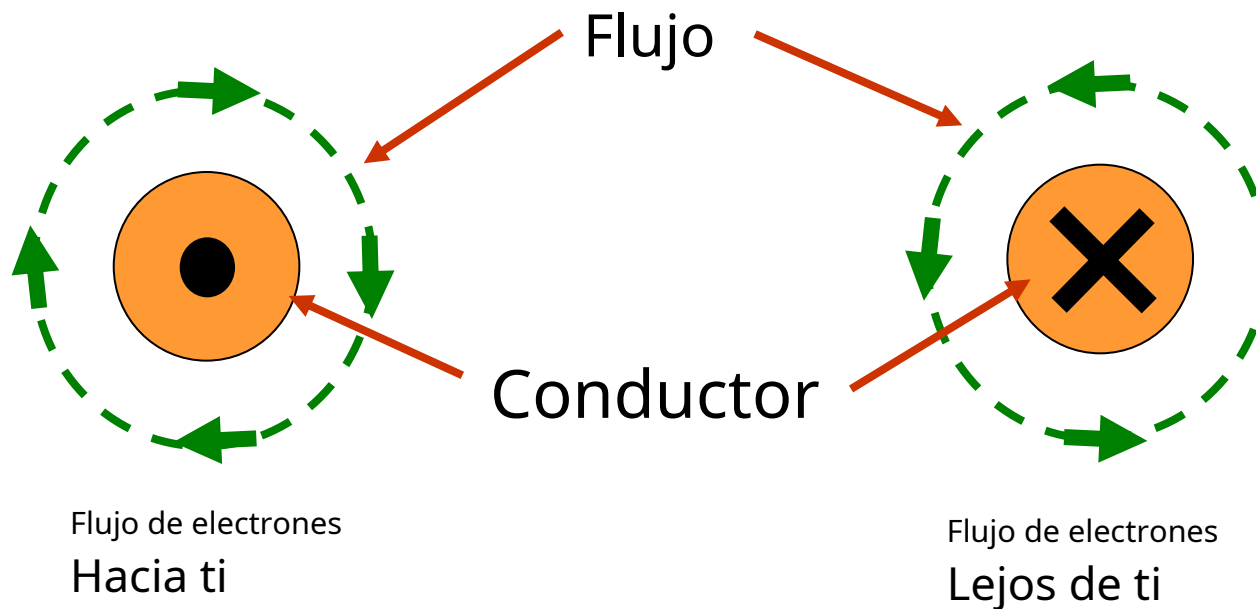
Campos Magnéticos Inducidos

Siempre que la corriente fluye a través de un conductor imán campo ic se crea alrededor del conductor

Magnetismo e Inducción

Líneas de Fuerza (Flujo)

La dirección de la corriente que fluye a través de un conductor determina la dirección de las líneas de fuerza magnéticas que se desarrollan a su alrededor.

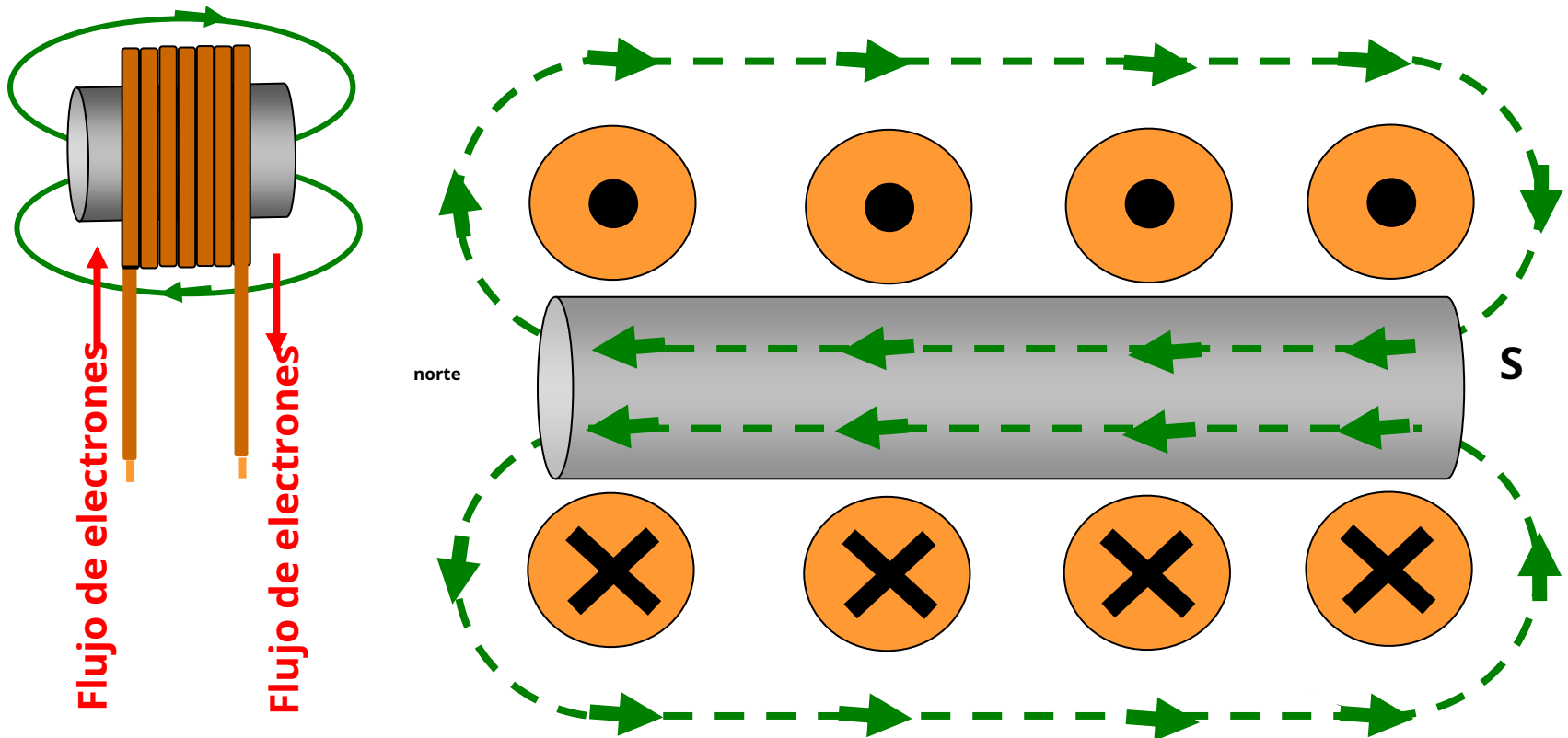


fundir el **Mismo** dirección - **Agrega**

fundir el **Opuesto** dirección - **cancela**

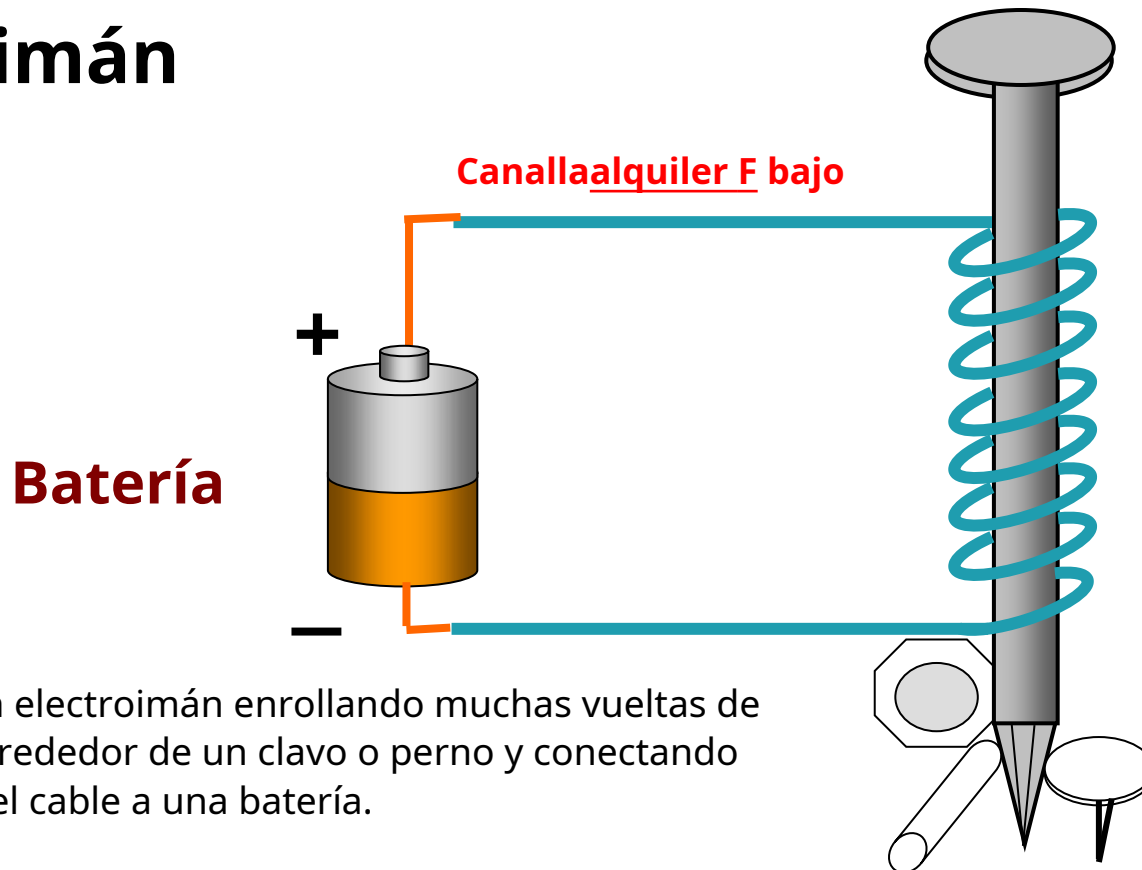
Magnetismo e Inducción

Efectos del flujo magnético cuando el conductor que transporta corriente se envuelve en una bobina



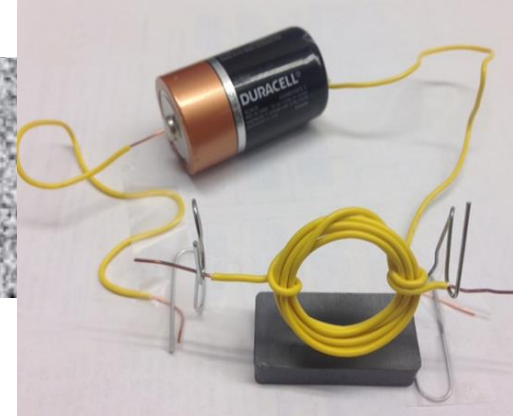
Magnetismo e Inducción

Electroimán



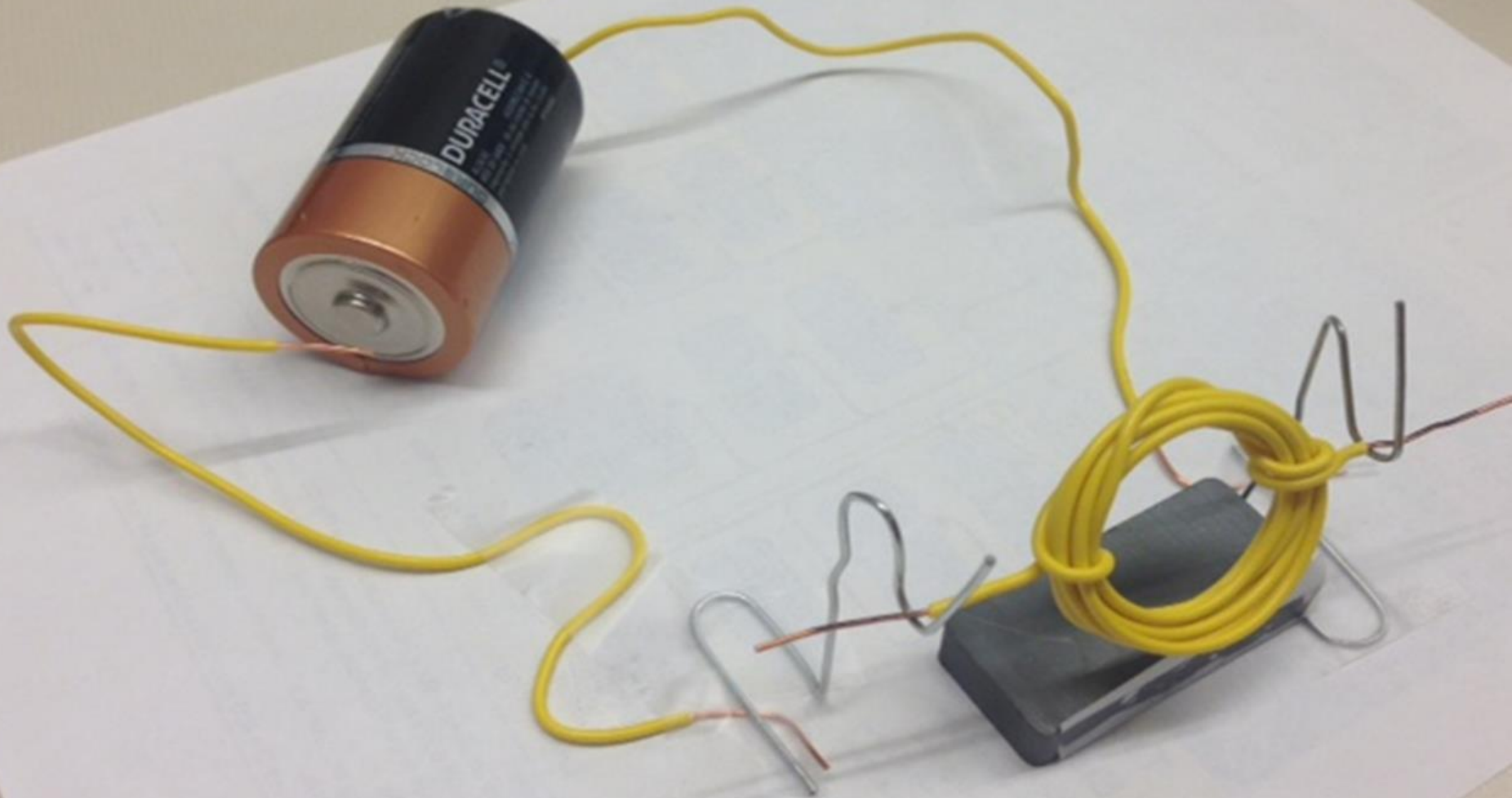
Puede hacer un electroimán enrollando muchas vueltas de cable aislado alrededor de un clavo o perno y conectando los extremos del cable a una batería.

Hagamos un motor



1. Envuelva el cable alrededor de la batería seis veces para formar un bucle de rotor.
2. Asegure los extremos del cable alrededor de cada lado del rotor.
3. Recorte los cables a cada lado del rotor a aproximadamente $\frac{1}{2}$ pulgada. Pele estos extremos.
4. Doble los sujetapapeles para hacer yugos para el rotor.
5. Pele los extremos de dos cables para que vayan de las horquillas a la batería.
6. Coloque el imán en la base.
7. Coloque los yugos a ambos lados del imán. Conéctelos a los cables conductores y péguelos con cinta adhesiva.
8. Pegue con cinta un extremo de un cable conductor a un terminal de la batería.
9. Pruebe el giro del rotor en los yugos... asegúrese de que se despeje el imán y que el cobre de los ejes toque los yugos.
10. Ajuste los cables conductores del rotor para equilibrarlo. Debe girar libremente.
11. Usando un marcador, dibuje en el lado superior de los ejes de alambre que se extienden desde el rotor. Esto aísla el rotor durante la mitad del ciclo.
12. Conecte el cable restante a la batería para alimentar el motor. Es posible que deba darle una vuelta para que funcione.

Hagamos un motor



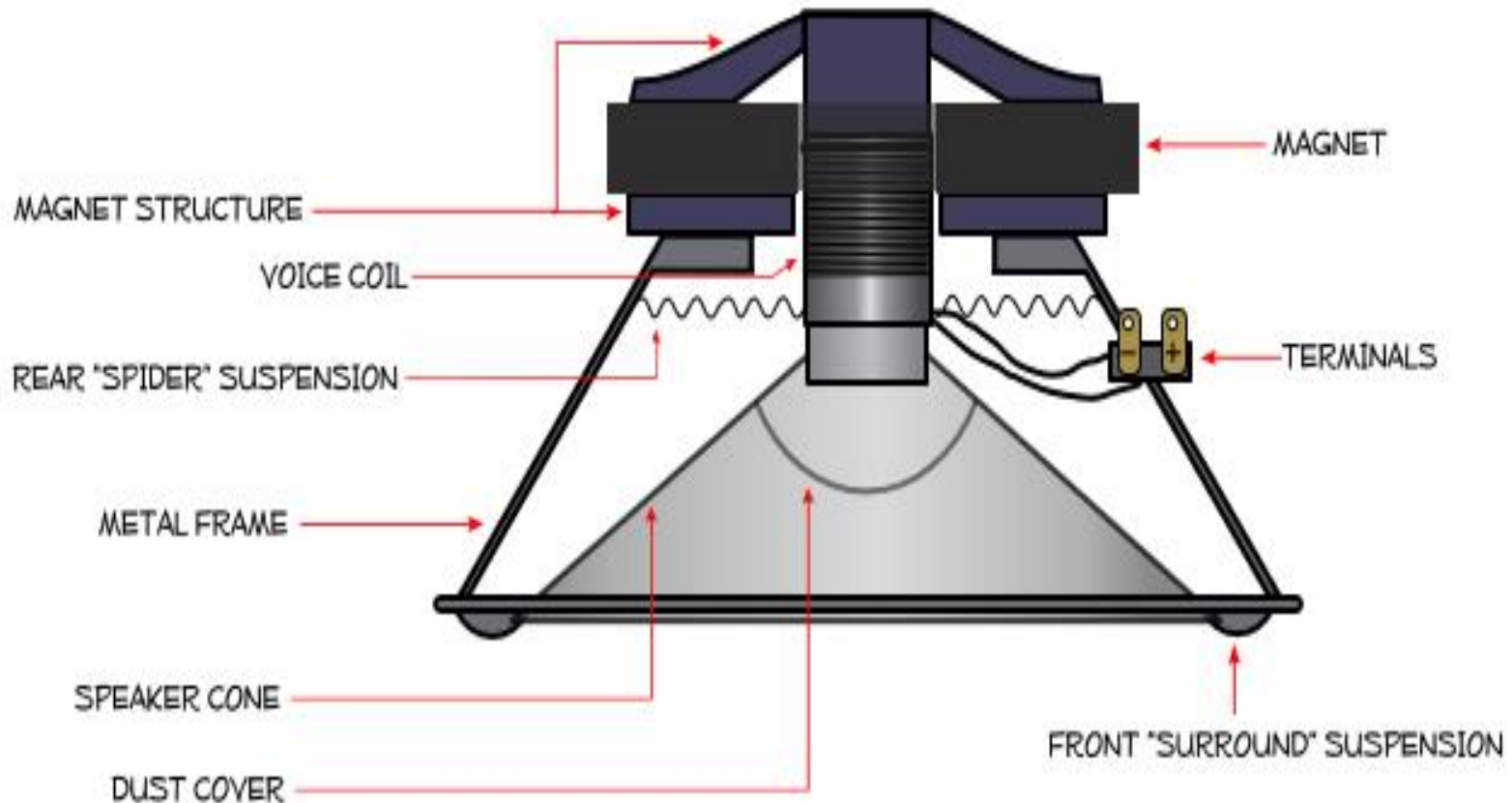
Magnetismo e Inducción

Los electroimanes se utilizan para muchas aplicaciones.

- Relés
- Solenoides
- Imanes
- Altavoces
- Rotores en Generadores y Motores

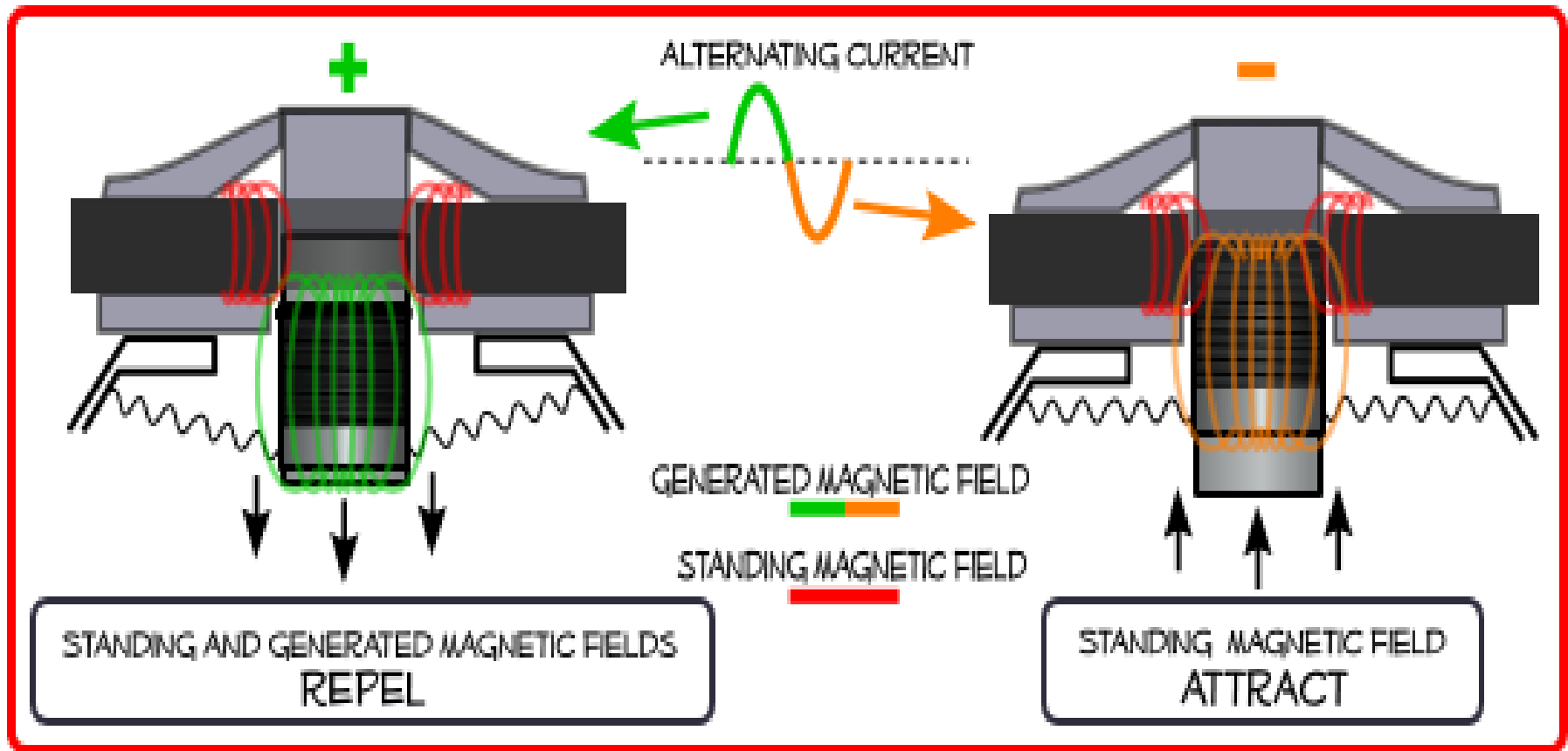
Magnetismo e Inducción

Cómo funciona un altavoz estéreo



Magnetismo e Inducción

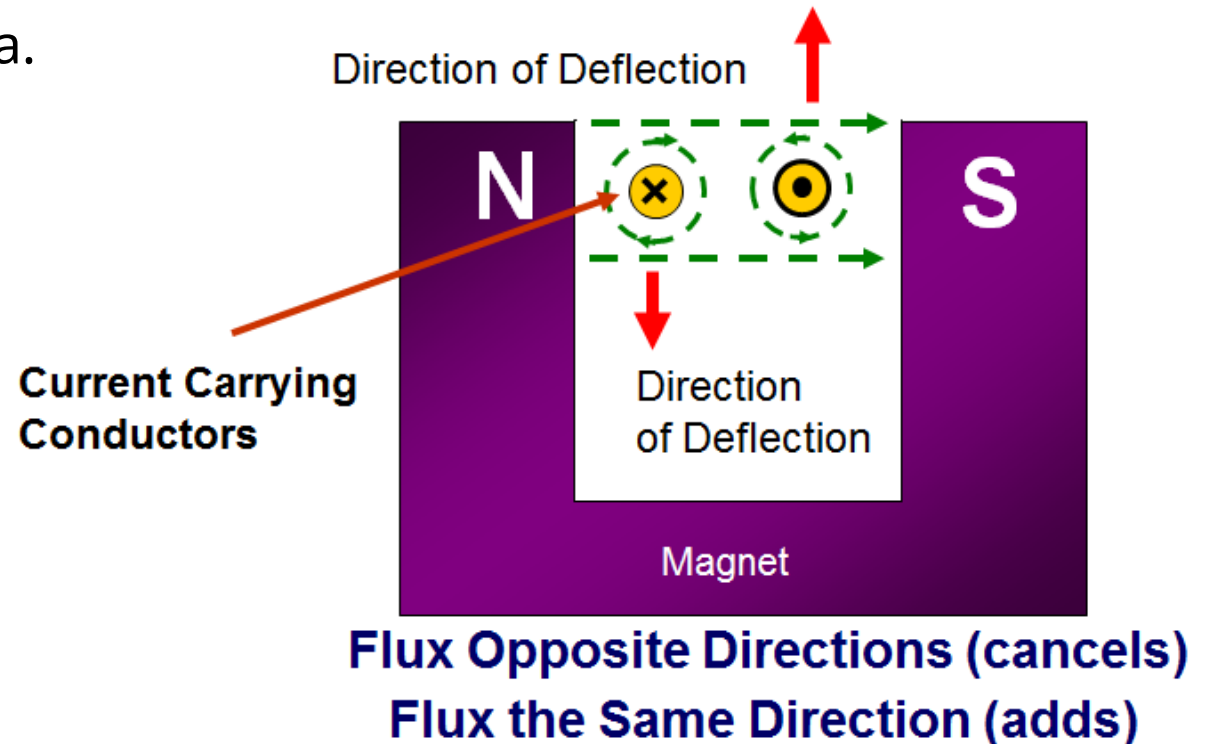
Cómo funciona un altavoz estéreo



Magnetismo e Inducción

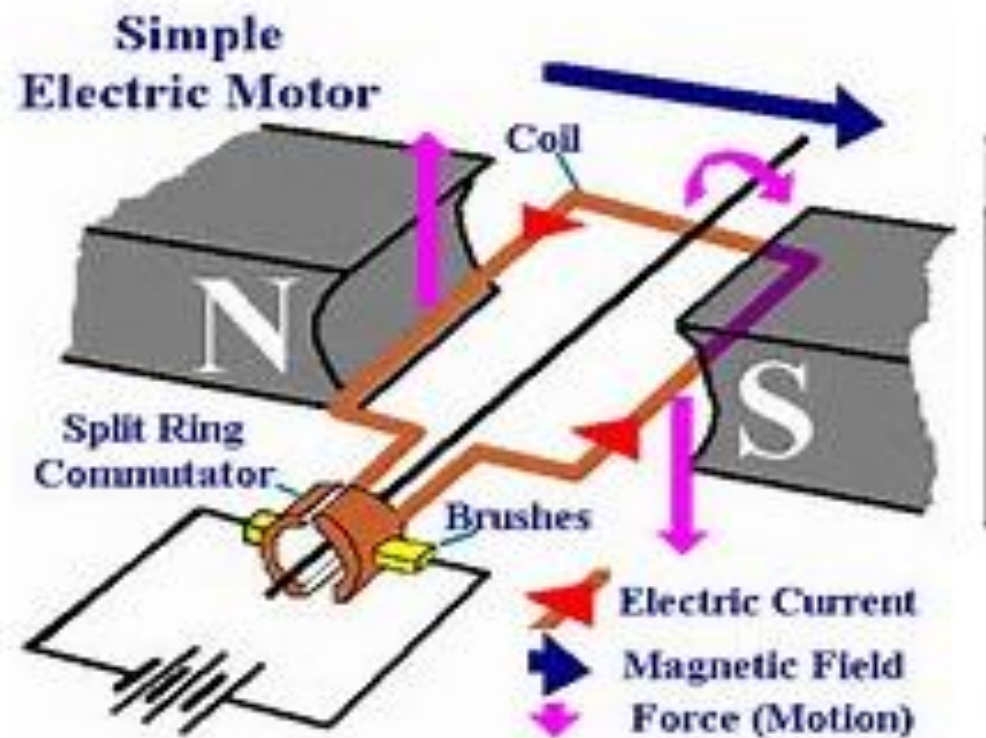
Conductor en un campo magnético

Un conductor con corriente fluyendo en un Campo Magnético experimenta Fuerza.



Conceptos básicos del generador

un motor sencillo



Magnetismo e Inducción

Inducción electromagnética

Para inducir un voltaje necesitas 3 cosas: 1.

Conductor

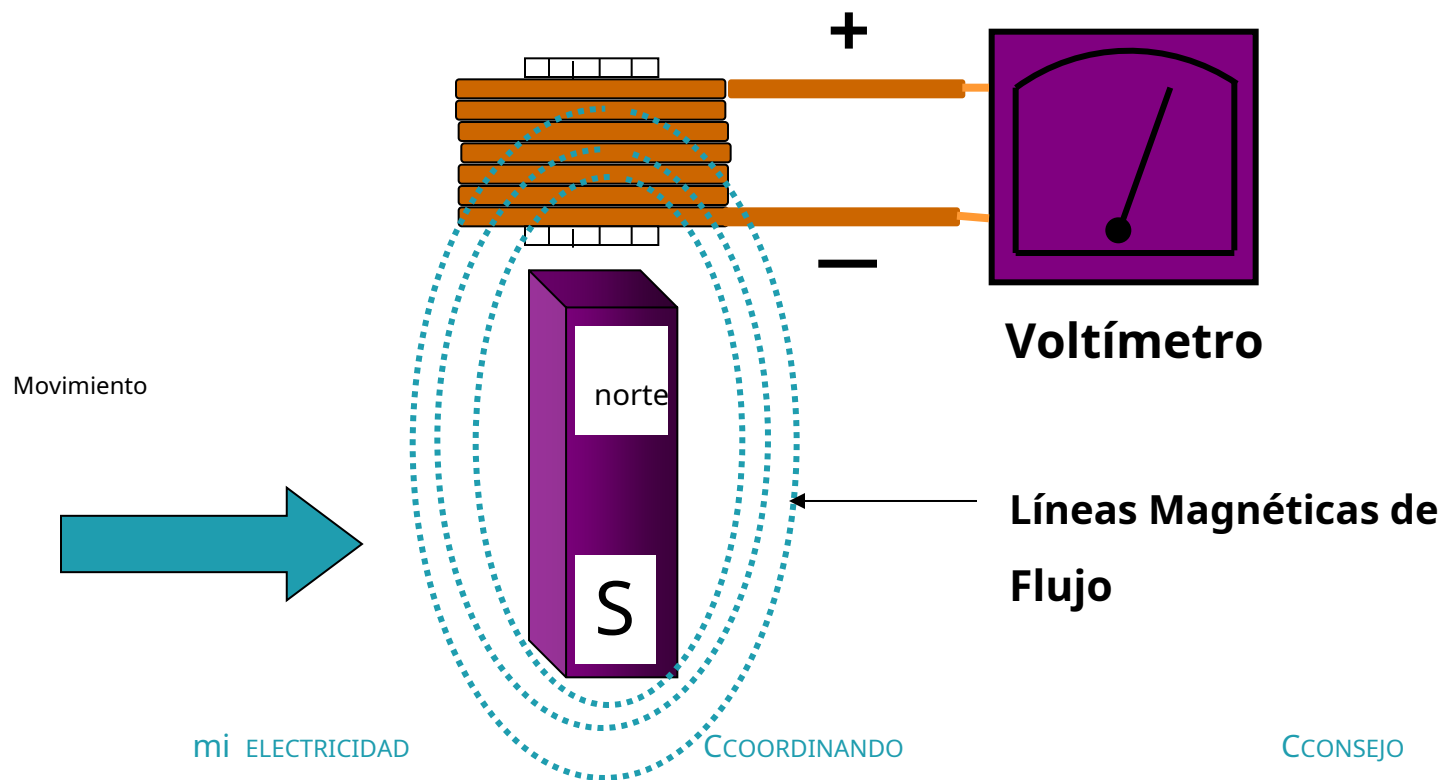
2. Campo magnético

3. Movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético

Magnetismo e Inducción

Inducción electromagnética

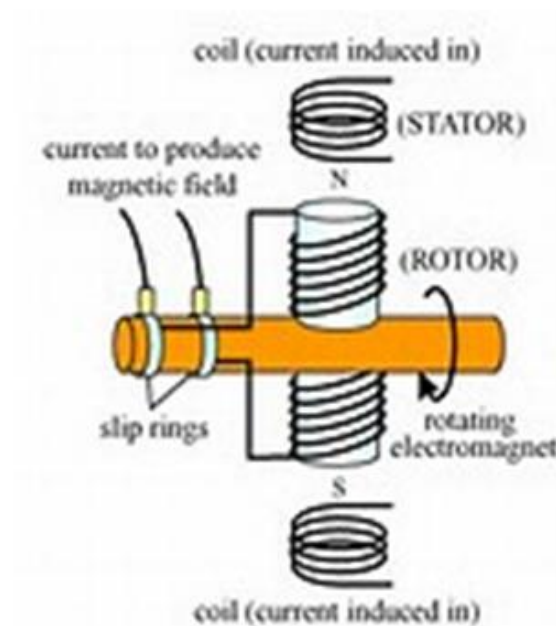
Cada vez que un campo magnético pasa por un conductor, se induce un voltaje en el conductor.



Magnetismo e Inducción

Inducción electromagnética

Un generador se crea haciendo girar un Rotor magnético... Más allá de un devanado estacionario (Estator)



Magnetismo e Inducción

Ley de Lenz (reacción opuesta e igual)

La corriente inducida en los devanados del estator crea un campo magnético inverso que se opone a la rotación del imán.
Así que...

la potencia que sale (en forma de Electricidad) es igual a... la potencia que entra (Energía Mecánica).

Cualquier desequilibrio acelera o ralentiza el generador

Magnetismo e Inducción

Transformador: requiere corriente cambiante

Un transformador usa corriente cambiante en un devanado...

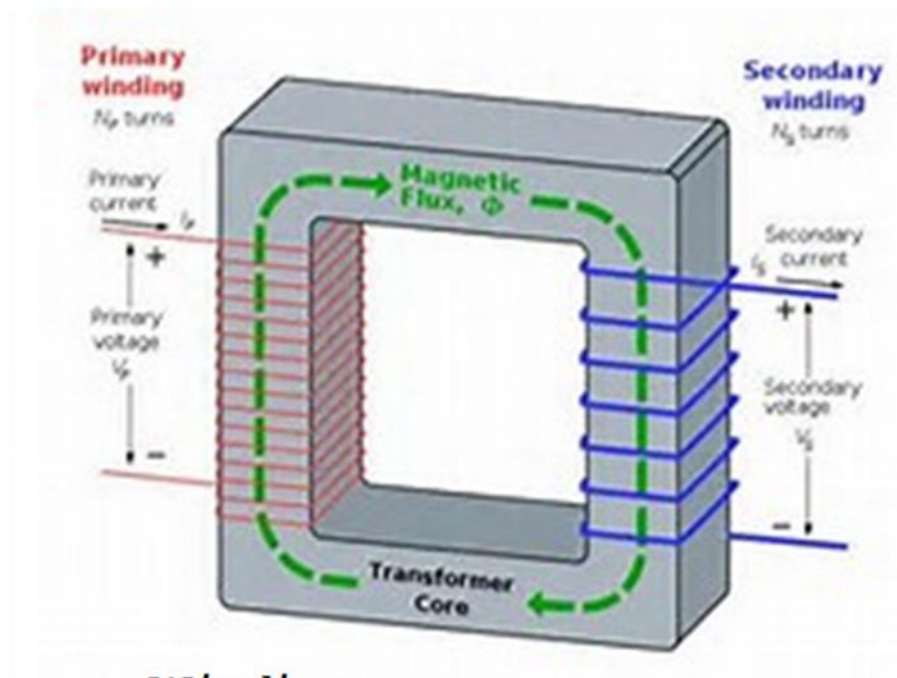
Para crear un flujo magnético cambiante en el núcleo... Lo que induce un voltaje cambiante en el segundo devanado.

Power In es igual a Power Out... sin embargo...

Los voltajes y las corrientes pueden cambiar según la relación de vueltas de los dos devanados.

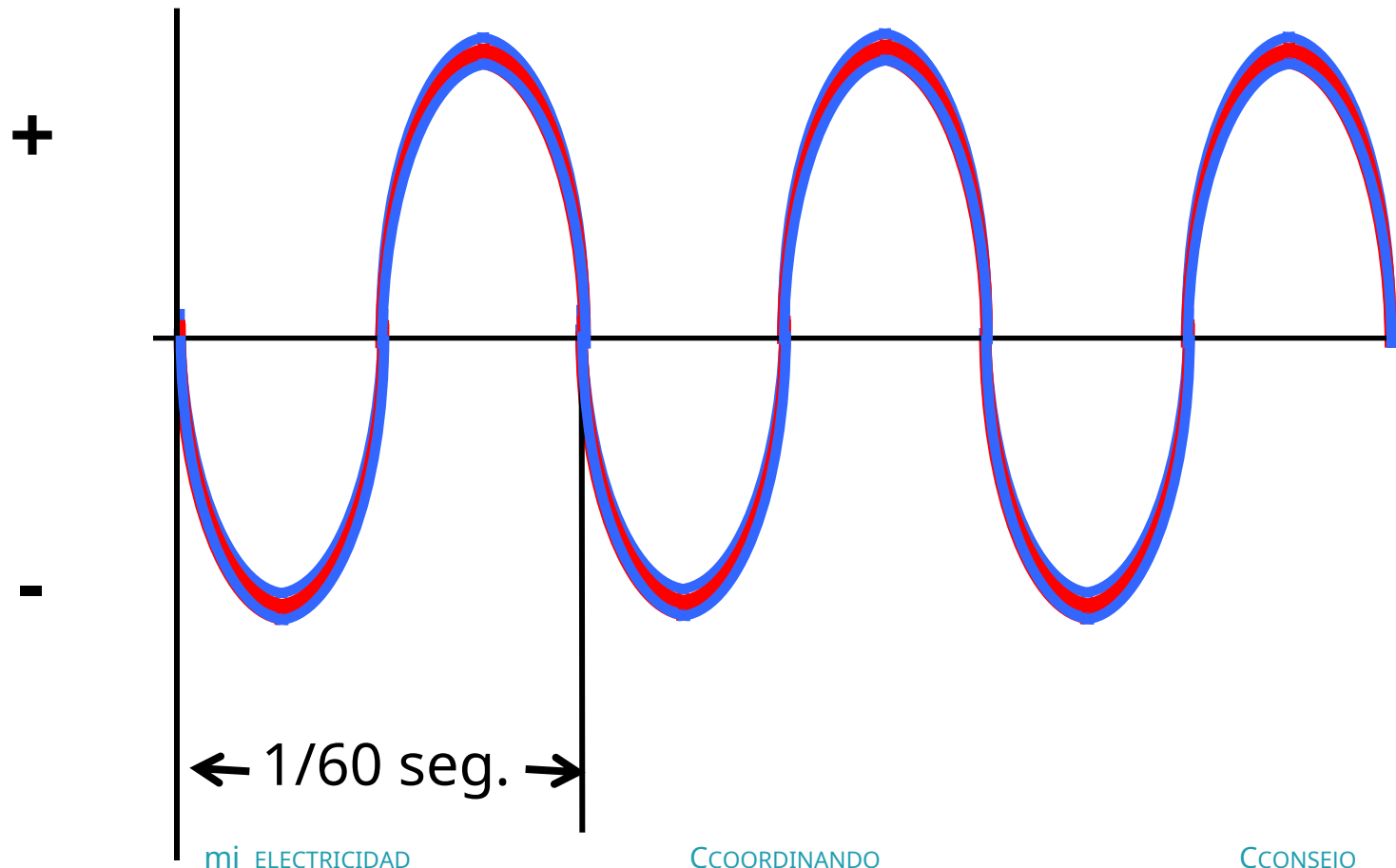
Magnetismo e Inducción

Transformador: requiere cambio de corriente



$$V_{Primary} = \frac{\text{Windings}_{Primary}}{\text{Windings}_{Secondary}} V_{Secondary}$$

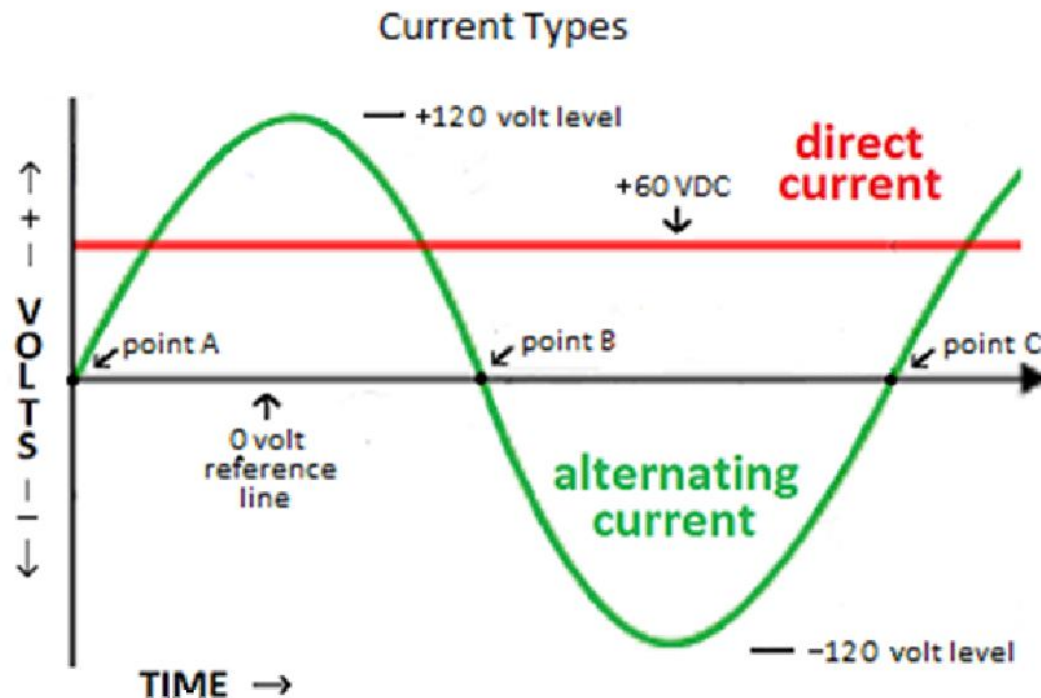
Corriente alterna vs corriente continua

Potencia monofásica

Conceptos básicos del generador

Corriente alterna vs corriente continua

AC or DC Electricity?



Corriente alterna vs corriente continua

Corriente continua

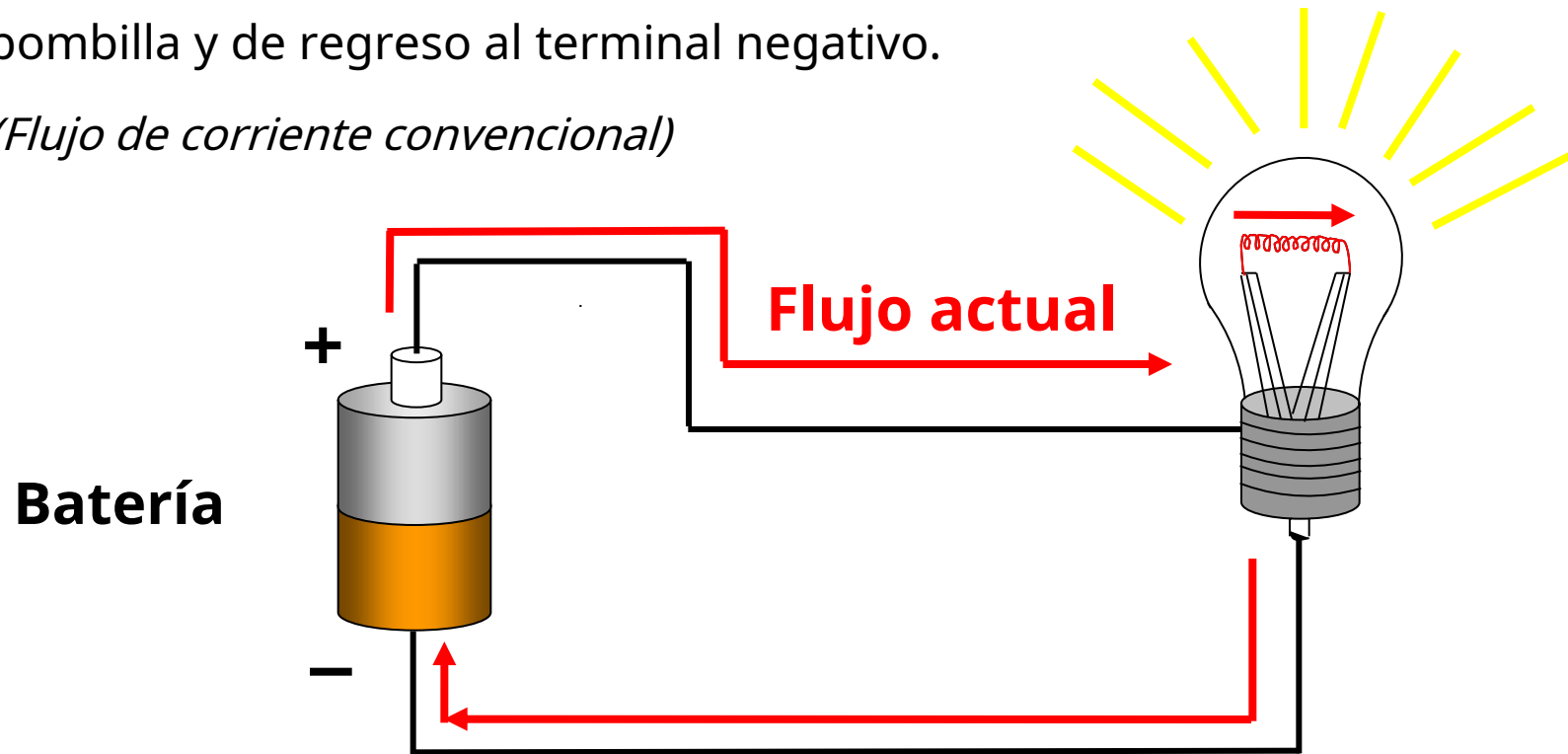
La corriente continua (CC) es una corriente de valor constante que fluye a través de un circuito en una sola dirección.

El sistema eléctrico de su automóvil es un ejemplo de corriente continua.sistema.

Corriente alterna vs corriente continua

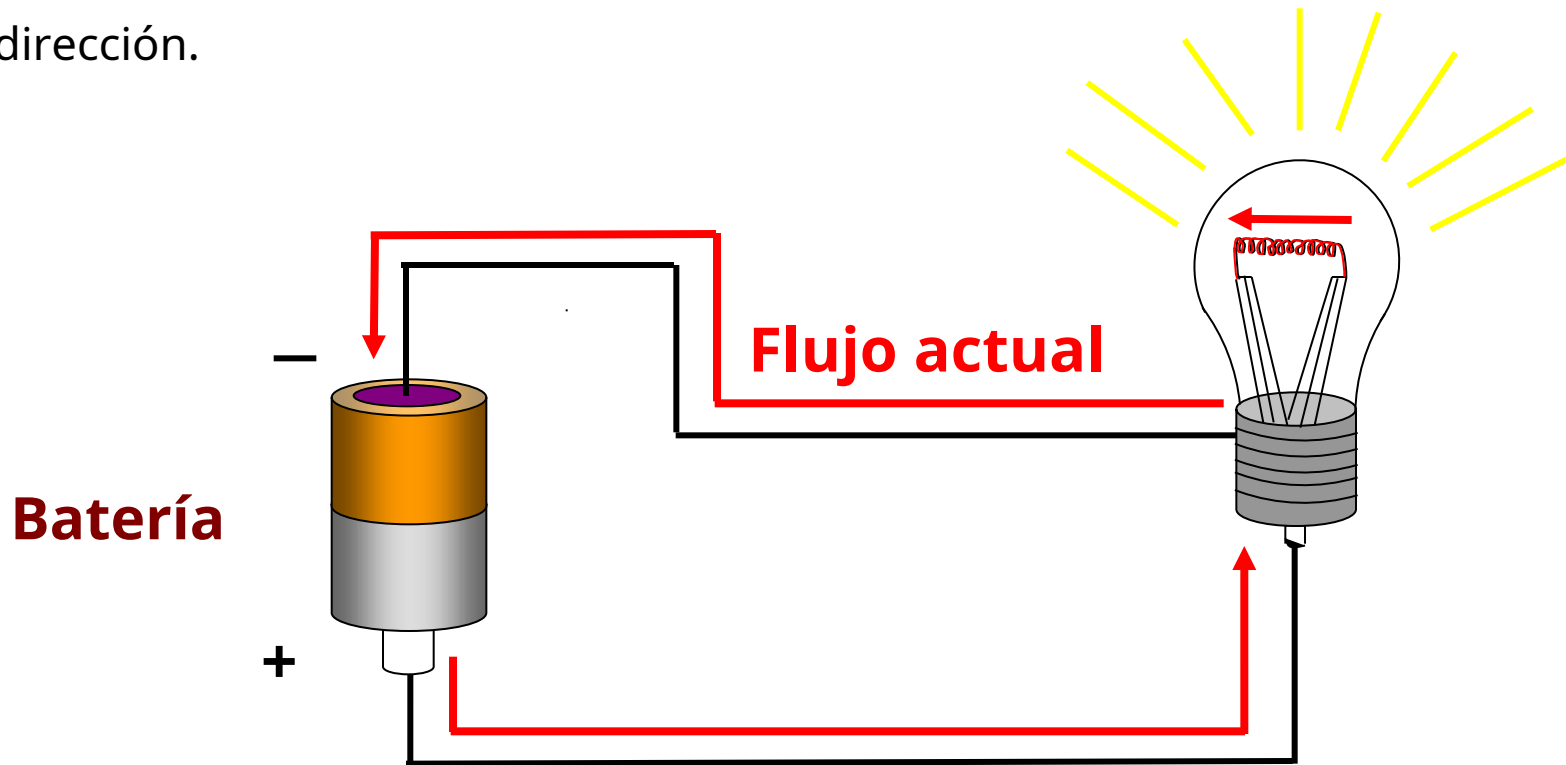
Corriente continua: En este circuito hay un flujo constante de corriente desde el terminal positivo de la batería a través del filamento de la bombilla y de regreso al terminal negativo.

(Flujo de corriente convencional)



Corriente alterna vs corriente continua

Corriente continua: Si se invierten las conexiones de la batería, la corriente que fluye a través del filamento de la bombilla cambiará de dirección.



THE CURRENT WAR

THE TALE OF AN EARLY TECH RIVALRY

DC

DIRECT CURRENT

The flow of electricity is in one direction only. The system operates at the same voltage level throughout and is not as efficient for high-voltage, long distance transmission.

Direct current runs through:



Battery-Powered Devices Fuel and Solar Cells Light Emitting Diodes

"[TESLA'S] IDEAS ARE SPLENDID, BUT THEY ARE UTTERLY IMPRACTICAL."

- THOMAS EDISON



LATE BLOOMER

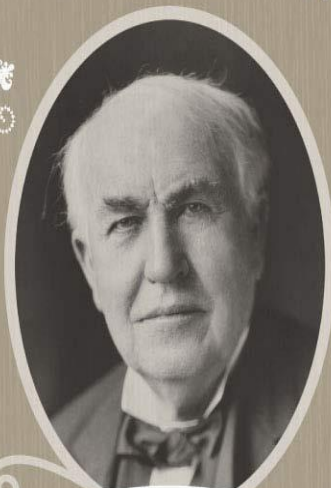
Thomas Edison, the youngest in his family, didn't learn to talk until he was almost 4 years old.

FALLING OUT

Edison promised Tesla a generous reward if he could smooth out his direct current system. The young engineer took on the assignment and ended up saving Edison more than \$100,000 (millions of dollars by today's standards). When Tesla asked for his rightful compensation, Edison declined to pay him. Tesla resigned shortly after, and the elder inventor spent the rest of his life campaigning to discredit his counterpart.

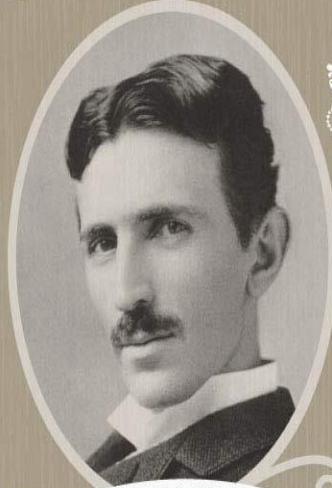
EDISON FRIES AN ELEPHANT

In order to prove the dangers of Tesla's alternating current, Thomas Edison staged a highly publicized electrocution of the three-ton elephant known as "Topsy." She died instantly after being shocked with a 6,600-volt AC charge.



THOMAS EDISON

VS.



NIKOLA TESLA

You would have never found two geniuses so spiteful of each other beyond turn-of-the-century inventors Nikola Tesla and Thomas Edison. They worked together—and hated each other. Let's compare their life, achievements, and embittered battles.

1847 BORN 1858

Milan, Ohio BIRTHPLACE Smiljan, Croatia

Wizard of Menlo Park NICKNAME Wizard of the West

Home-schooled and self-taught EDUCATION Studied math, physics, and mechanics at The Polytechnic Institute at Graz

Mass communication and business FORTE Electromagnetism and electromechanical engineering

Trial and error METHOD Getting inspired and seeing the invention in his mind in detail before fully constructing it

DC (Direct Current) WAR OF CURRENTS: ELECTRICAL TRANSMISSION IDEA AC (Alternating Current)

Incandescent light bulb; phonograph; cement making technology; motion picture camera; DC motors and electric power

NOTABLE INVENTIONS

Tesla coil - resonant transformer circuit; radio transmitter; fluorescent light; AC motors and electric power generation system

1,093 NUMBER OF US PATENTS

112

0 NUMBER OF NOBEL PRIZES WON

0

1 NUMBER OF ELEPHANTS ELECTROCUTED

0

1931—Passed away peacefully in his New Jersey home, surrounded by friends and family

DEATH

1943—Died lonely and in debt in Room 3327 at the New Yorker Hotel

AC

ALTERNATING CURRENT

Electric charge periodically reverses direction and is transmitted to customers by a transformer that could handle much higher voltages.

Alternating current runs through:



Car Motors

Radio Signals

Appliances

"IF EDISON HAD A NEEDLE TO FIND IN A HAYSTACK, HE WOULD PROCEED AT ONCE... UNTIL HE FOUND THE OBJECT OF HIS SEARCH. I WAS A SORRY WITNESS OF SUCH DOINGS, KNOWING THAT A LITTLE THEORY AND CALCULATION WOULD HAVE SAVED HIM 90 PERCENT OF HIS LABOR."

- NIKOLA TESLA



WAR OF CURRENTS OFFICIALLY SETTLED

In 2007, Con Edison ended 125 years of direct current electricity service that began when Thomas Edison opened his power station in 1882. It changed to only provide alternating current.

NOBEL PRIZE CONTROVERSY



In 1915, both Edison and Tesla were to receive Nobel Prizes for their strides in physics, but ultimately, neither won. It is rumored to have been caused by their animosity towards each other and refusal to share the coveted award.

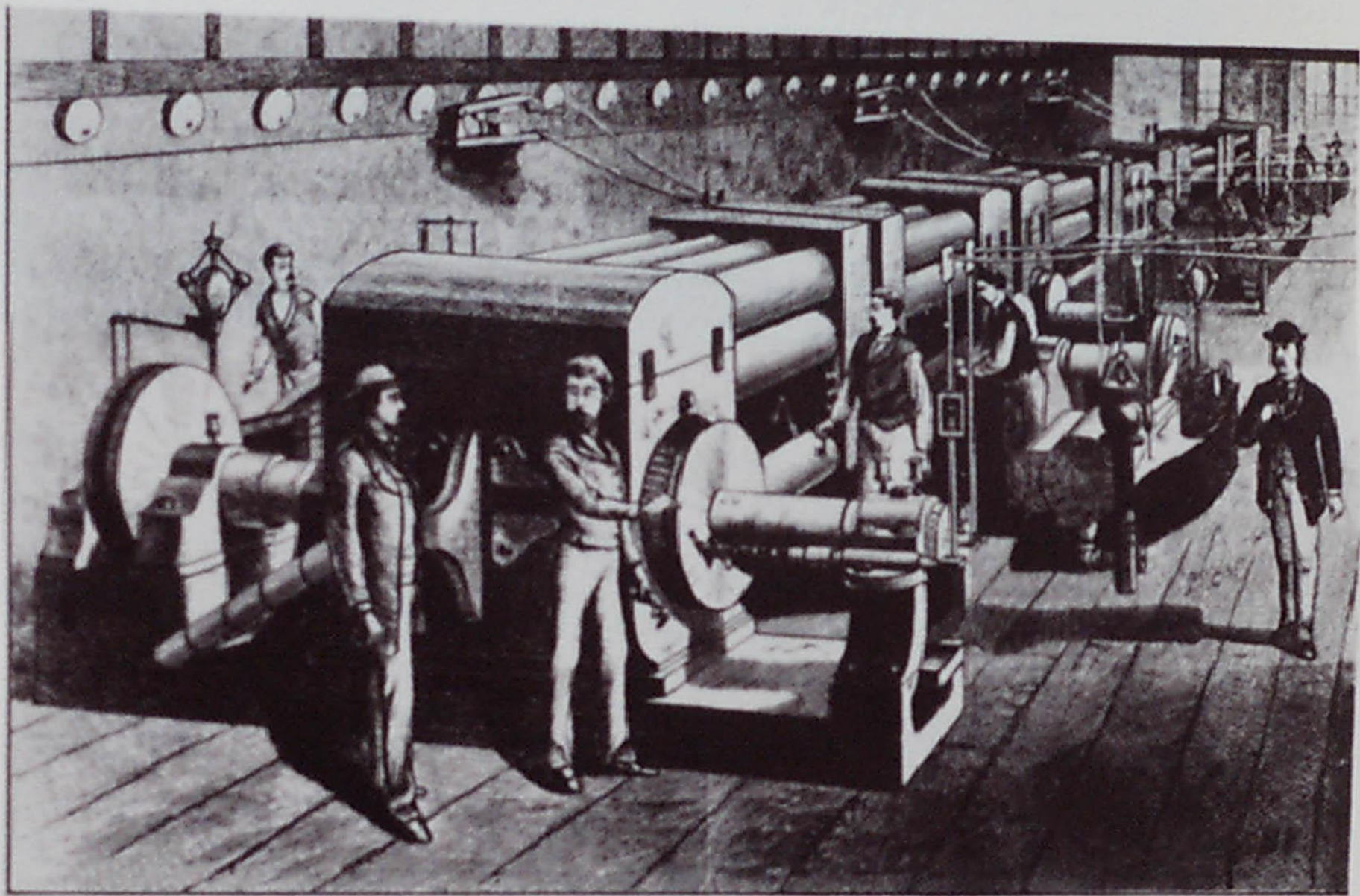


WESTERN

mi ELECTRICIDAD

COORDINANDO

CONSEJO

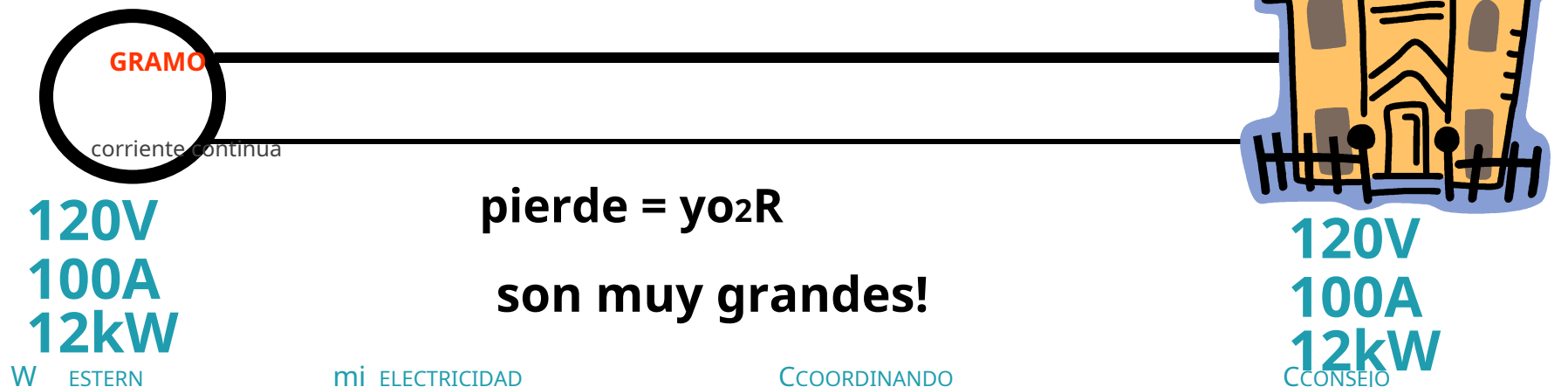


Pearl Street Station

Corriente alterna vs corriente continua

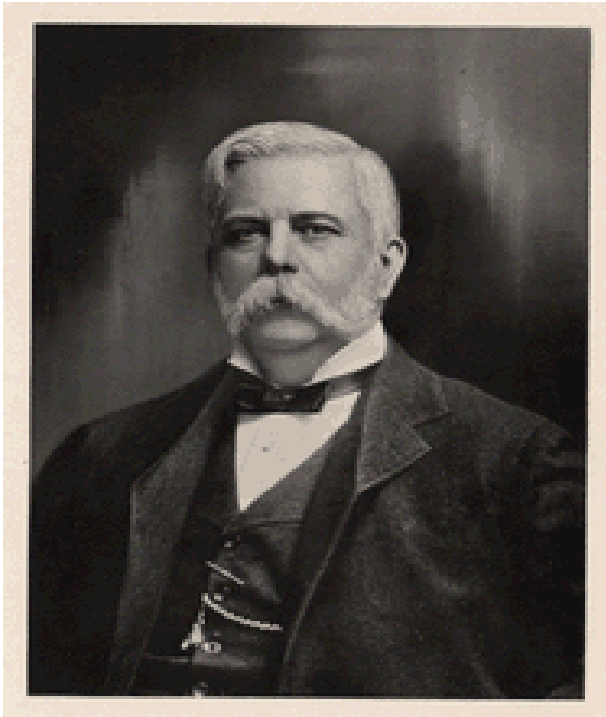
Sistema DC de Thomas Edison

- Las pérdidas eléctricas fueron altas con CC
- El voltaje de generación y el voltaje de distribución son los mismos
- La distancia entre el generador y la carga del cliente era limitada



Conceptos básicos del generador

Corriente alterna vs corriente continua

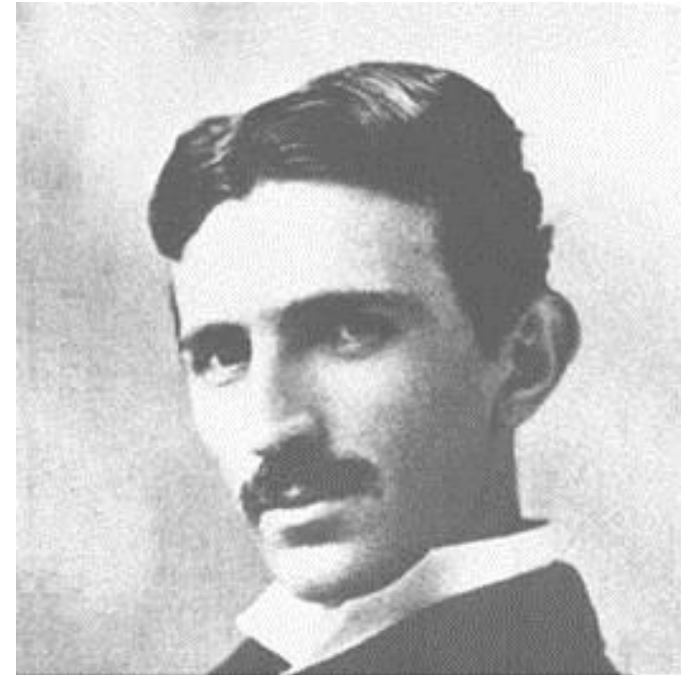


George Westinghouse

6 de octubre de 1846 -

12 de marzo de 1914

Milán, Ohio EE. UU.

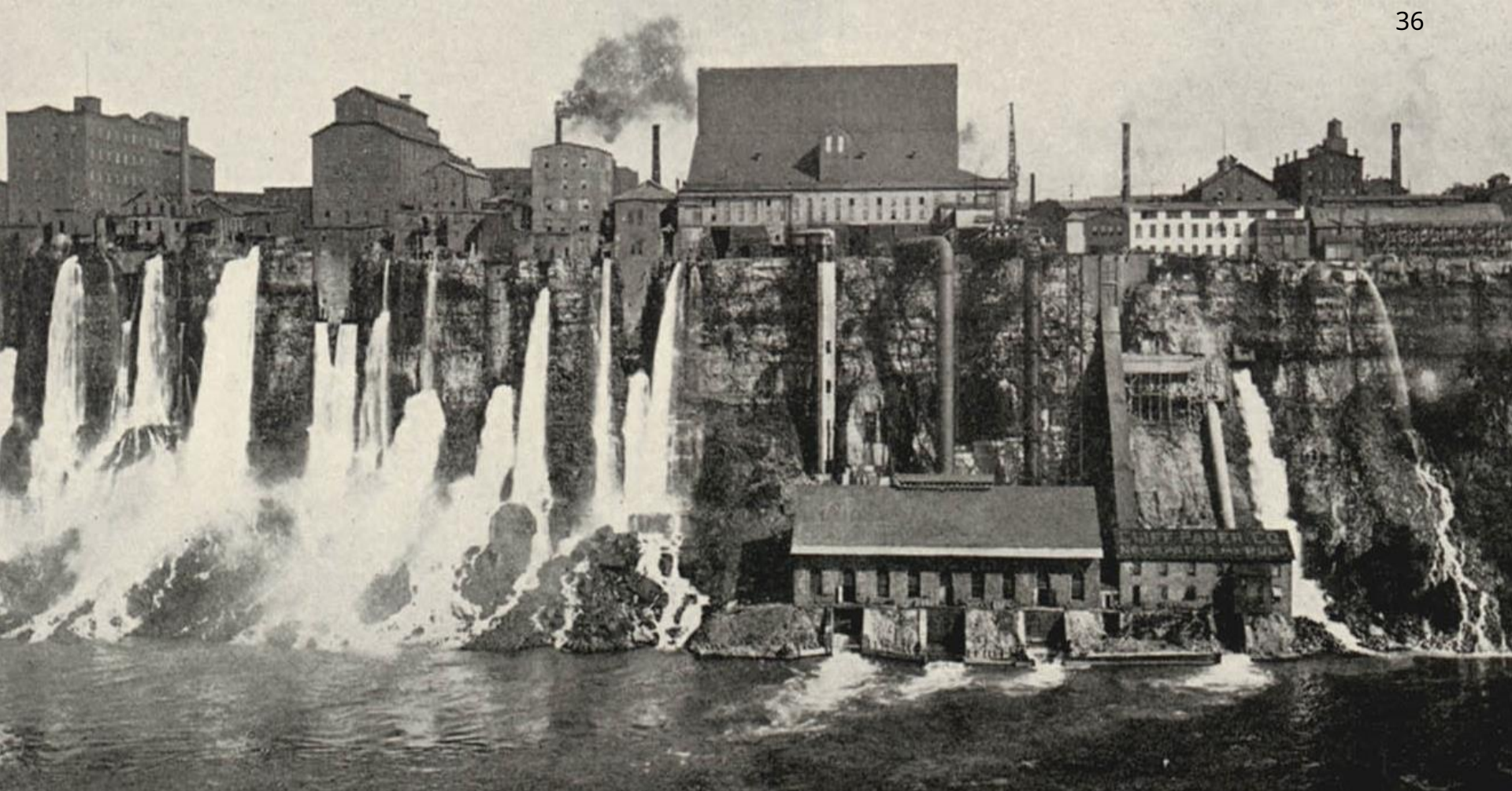


Nikola Tesla

10 de julio de 1856 -

7 de enero de 1943

Austria-Hungría



Generadores de CA instalados en las Cataratas del Niágara

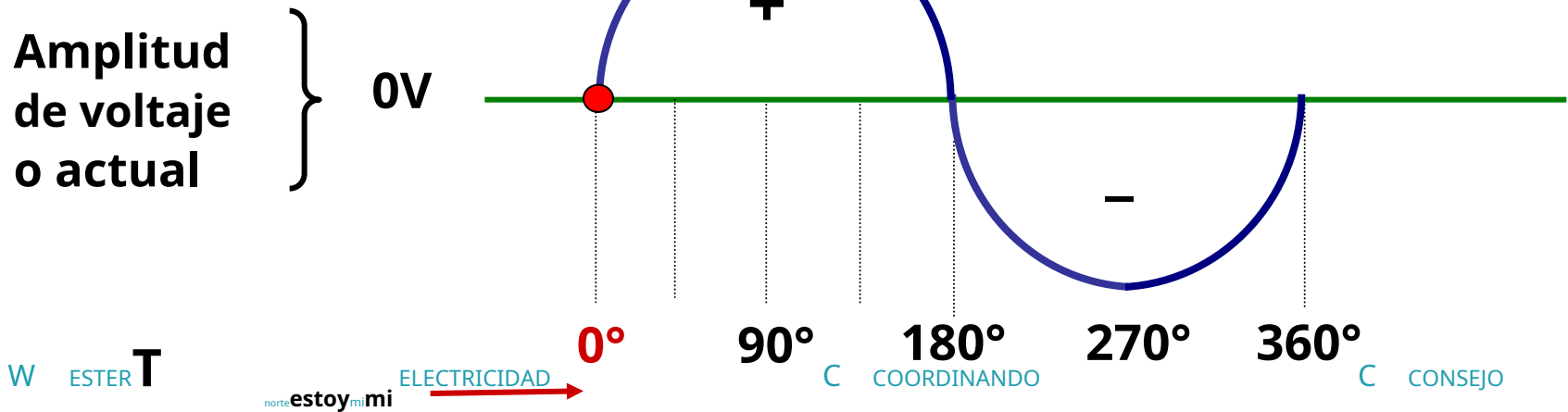
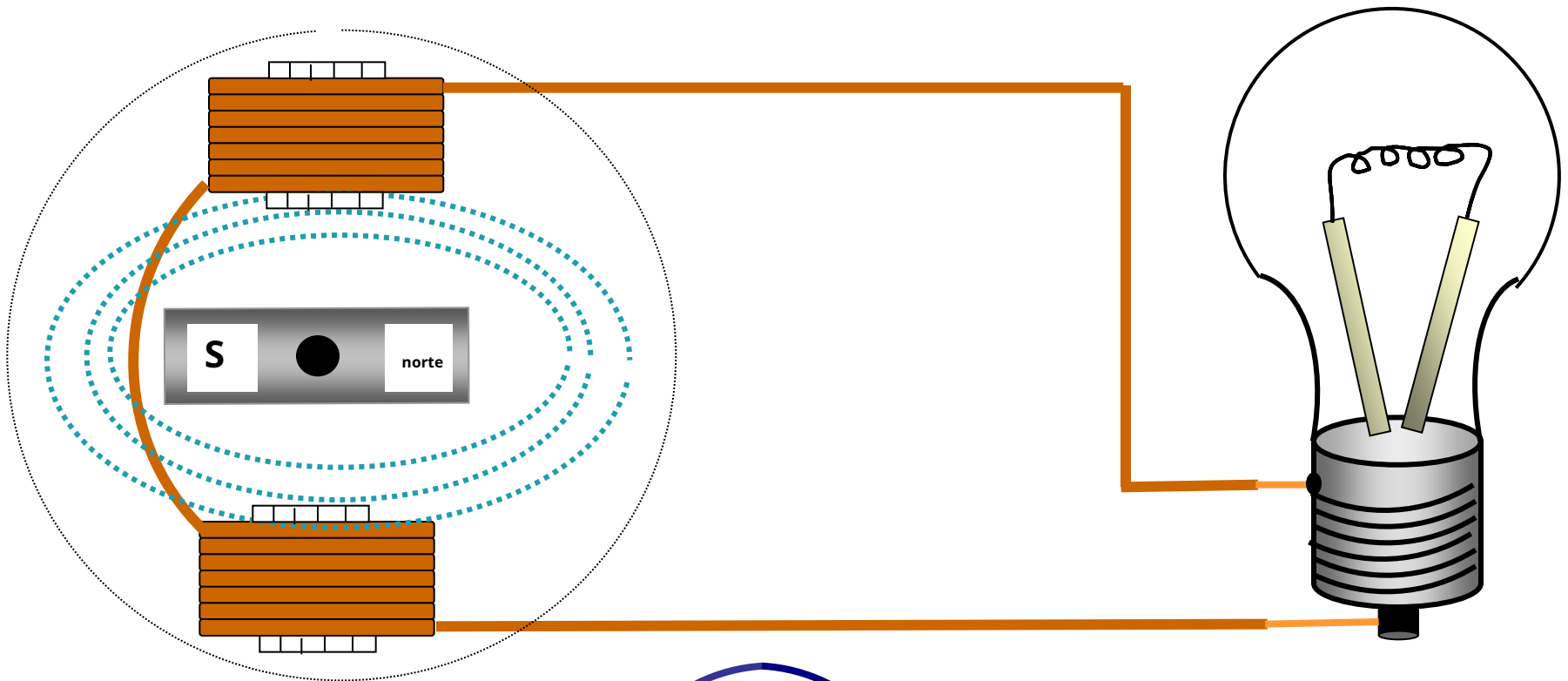
Conceptos básicos del generador

Corriente alterna vs corriente continua

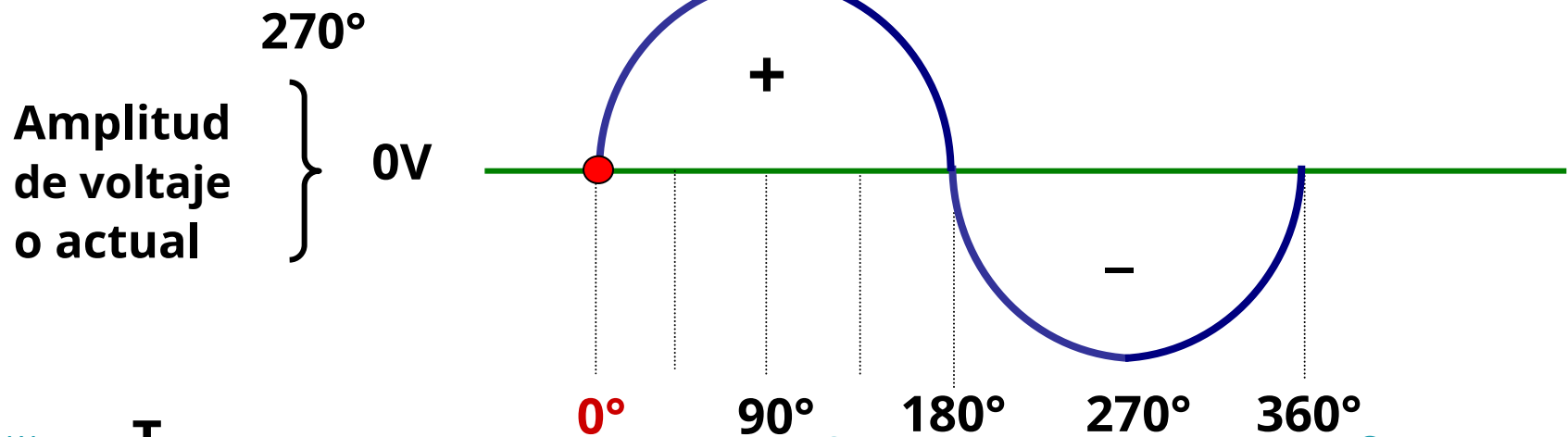
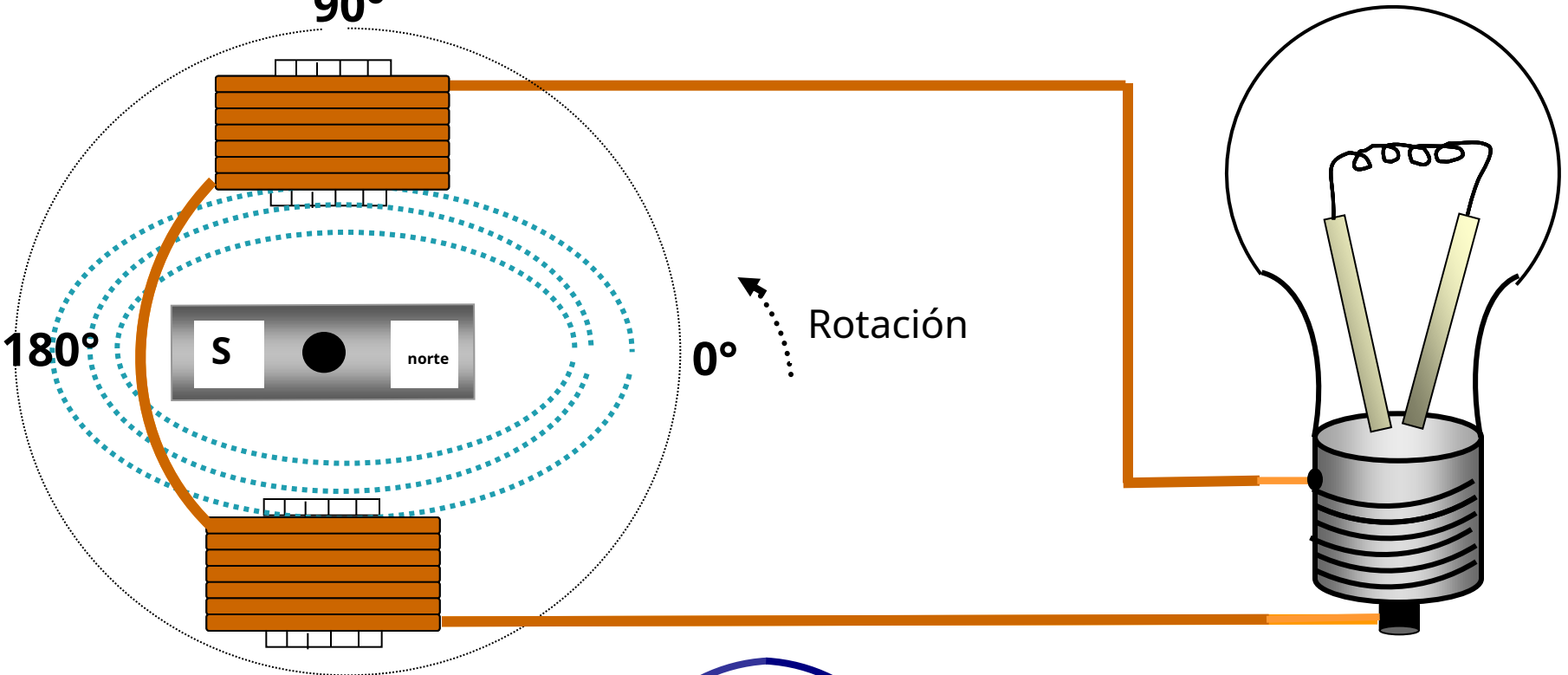
Cómo generar corriente alterna



Generador



Generador
90°

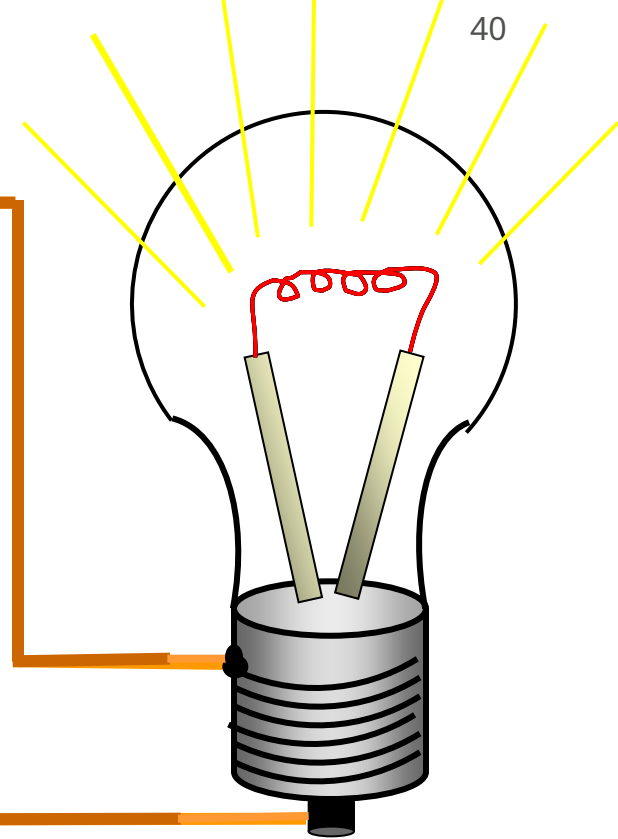


Generador
90°

+



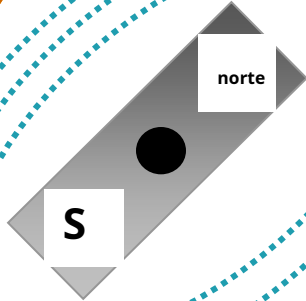
Flujo actual



40

180°

0°



-



270°

Amplitud
de voltaje
o actual

+

-

0°

90°

180°

270°

360°

W ESTER T

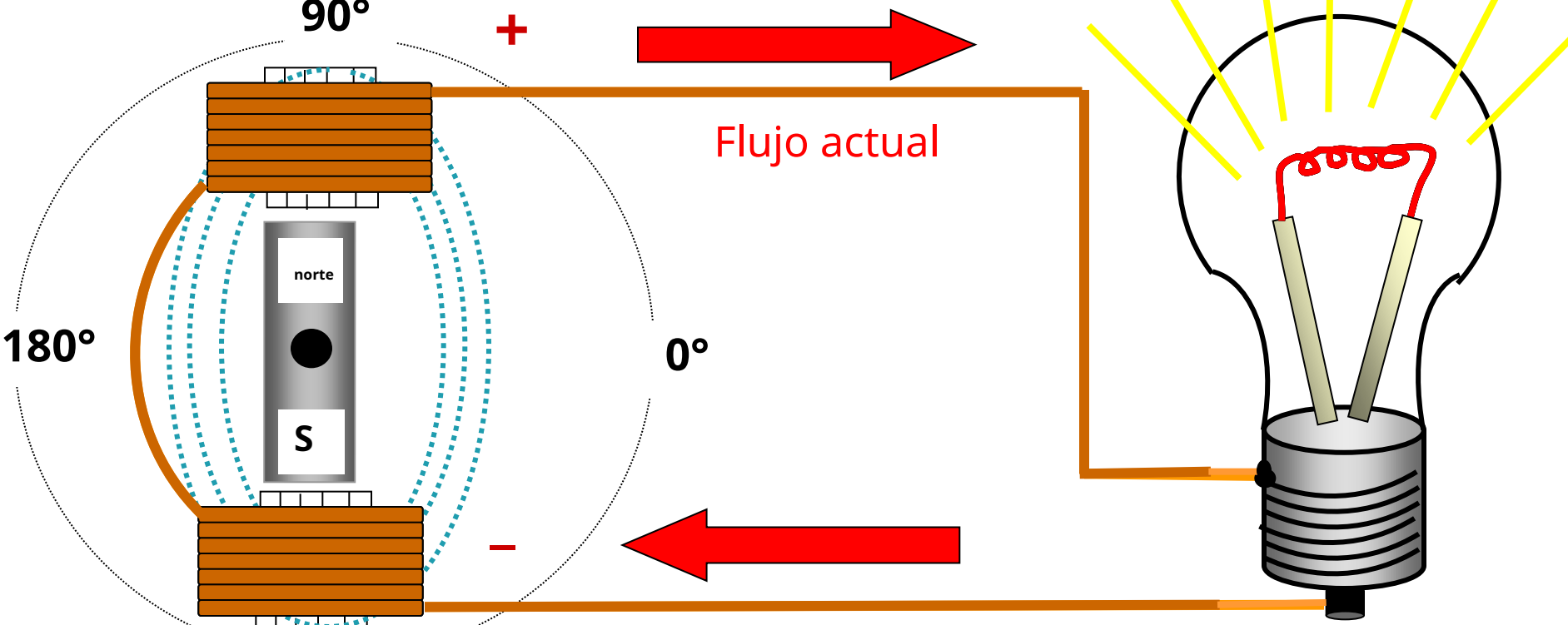
estoy.mi

ELECTRICIDAD

C COORDINANDO

C CONSEJO

Generador
90°

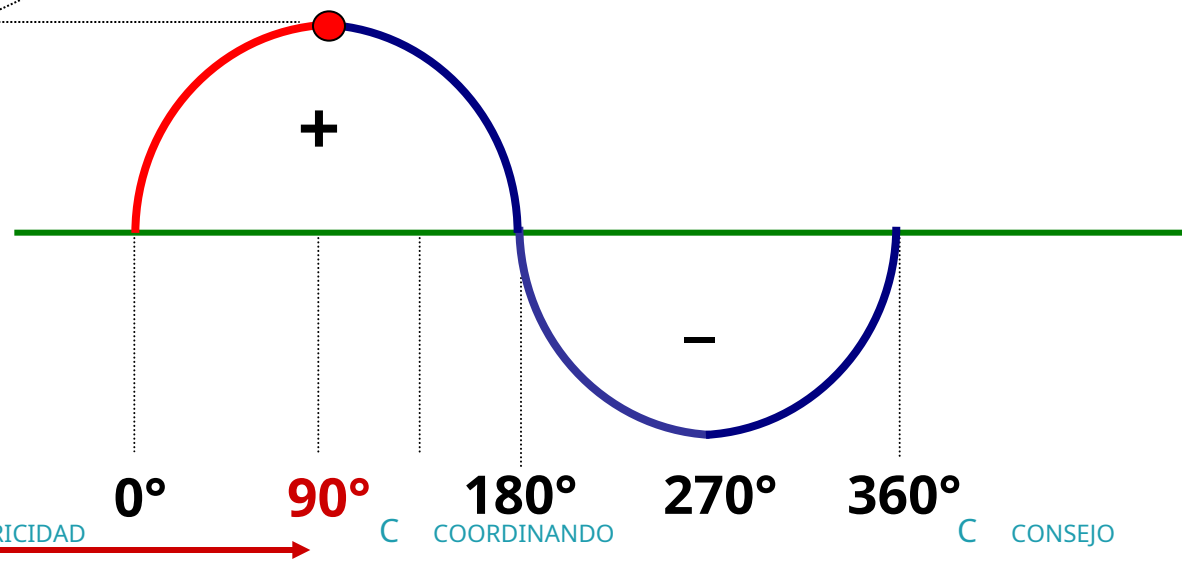


180°

0°

270°

Amplitud
de voltaje
o actual

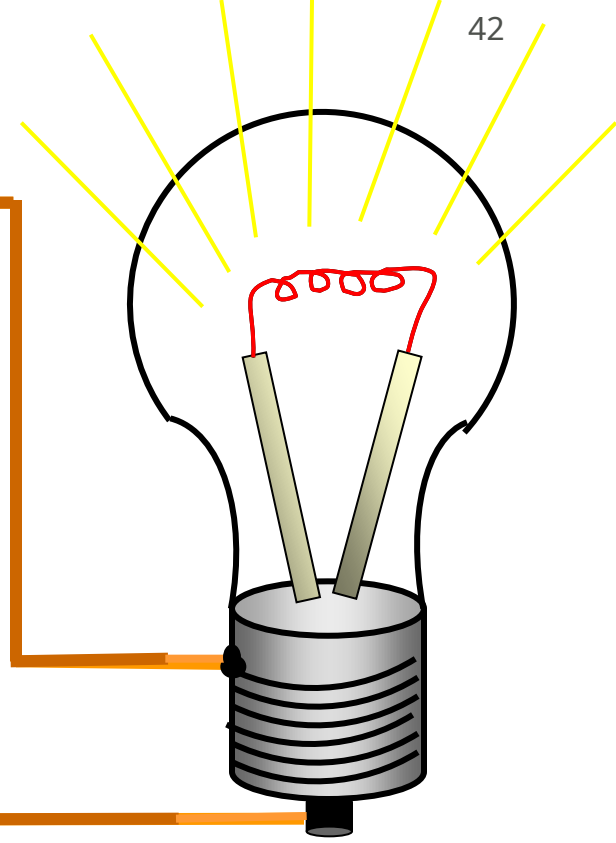


Generador
90°

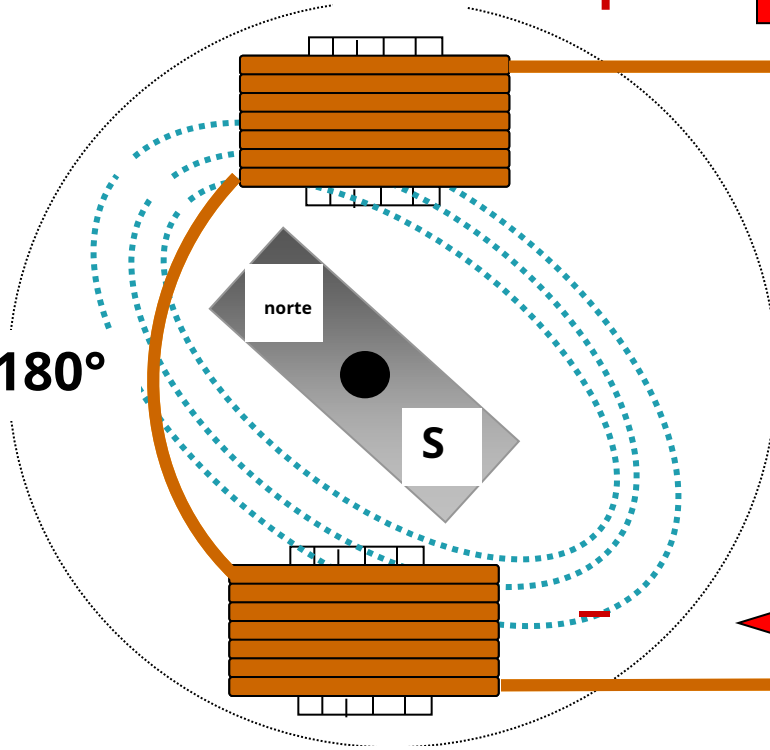
+



Flujo actual



180°

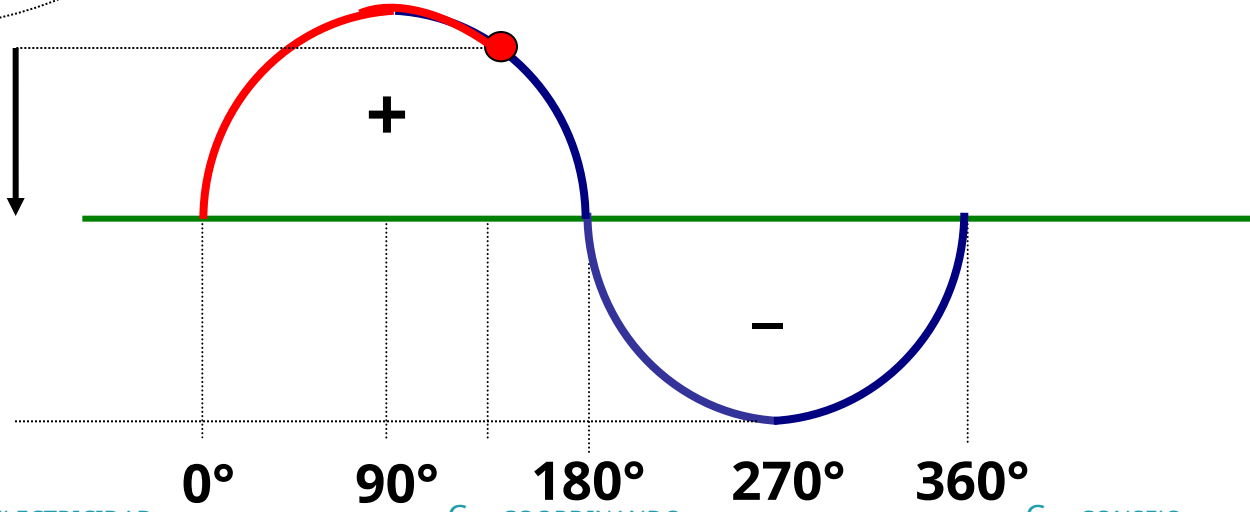


0°

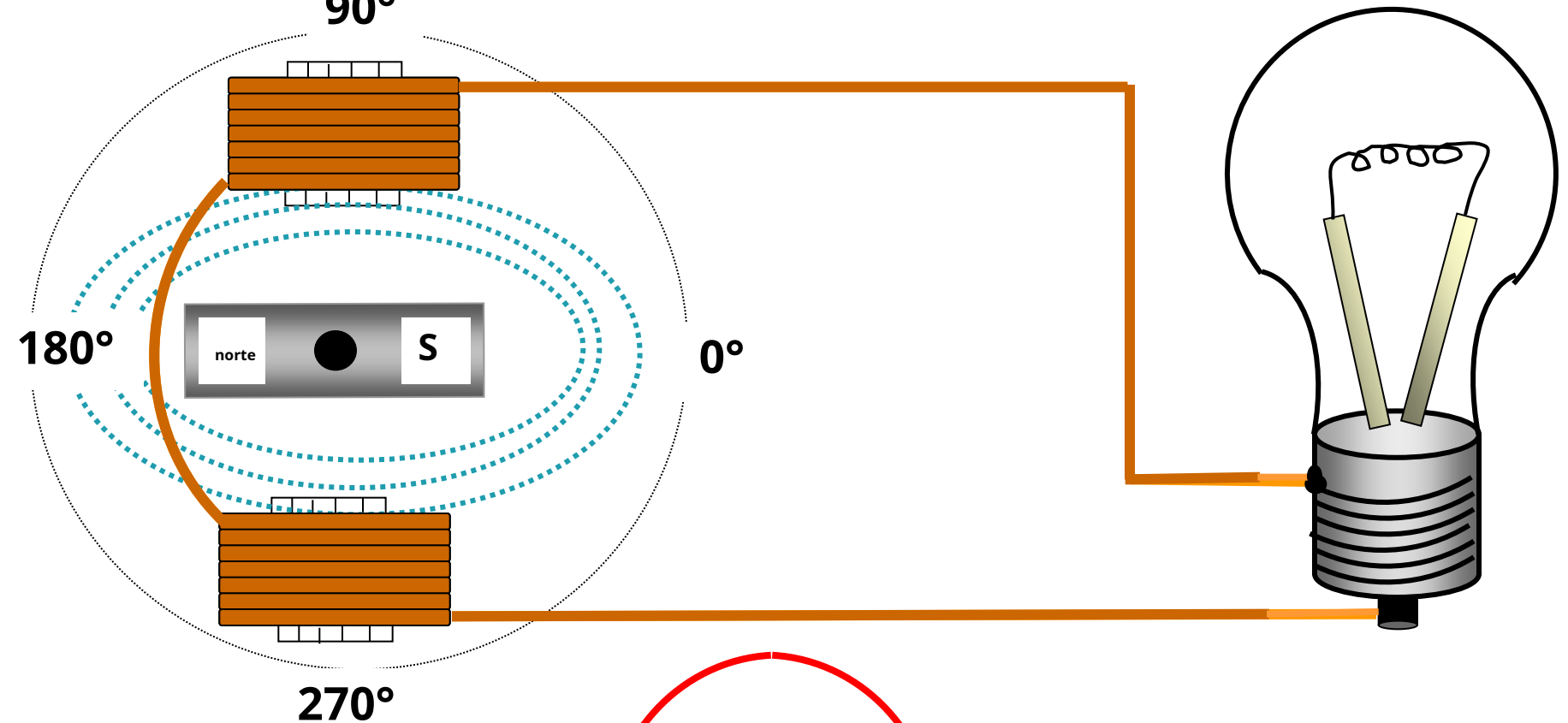


270°

Amplitud
de voltaje
o actual

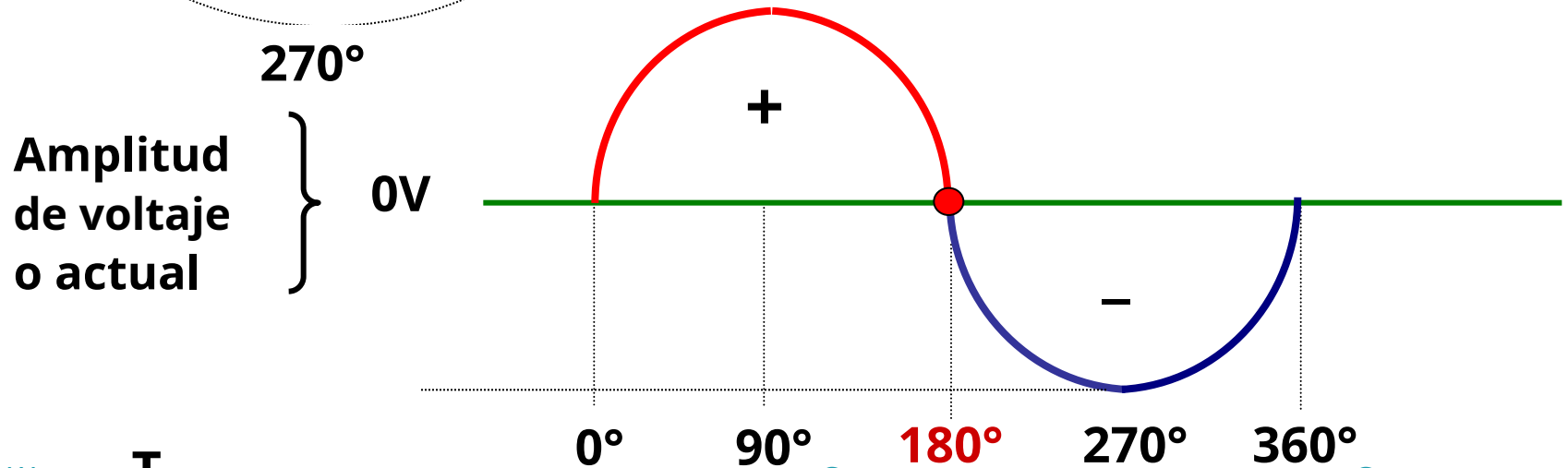


Generador
 90°



Amplitud
de voltaje
o actual

0V



W ESTER T

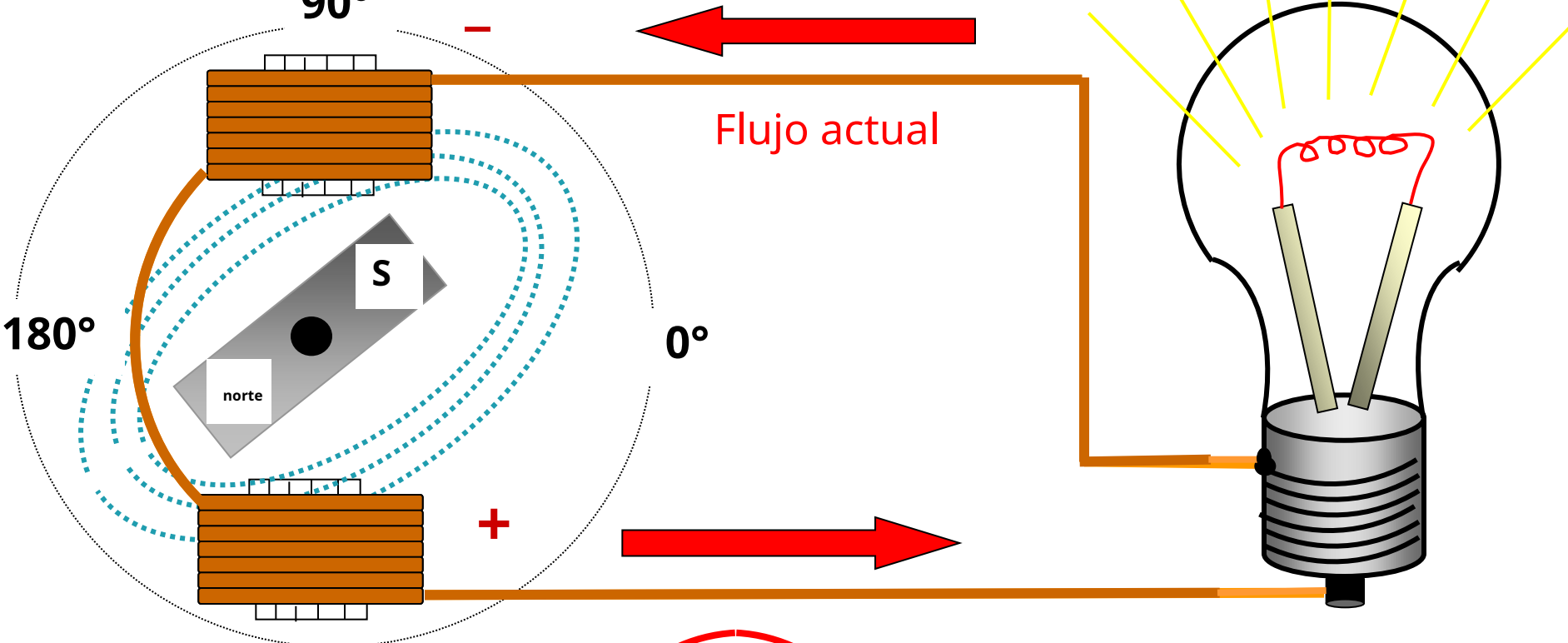
estoy.mi

ELECTRICIDAD

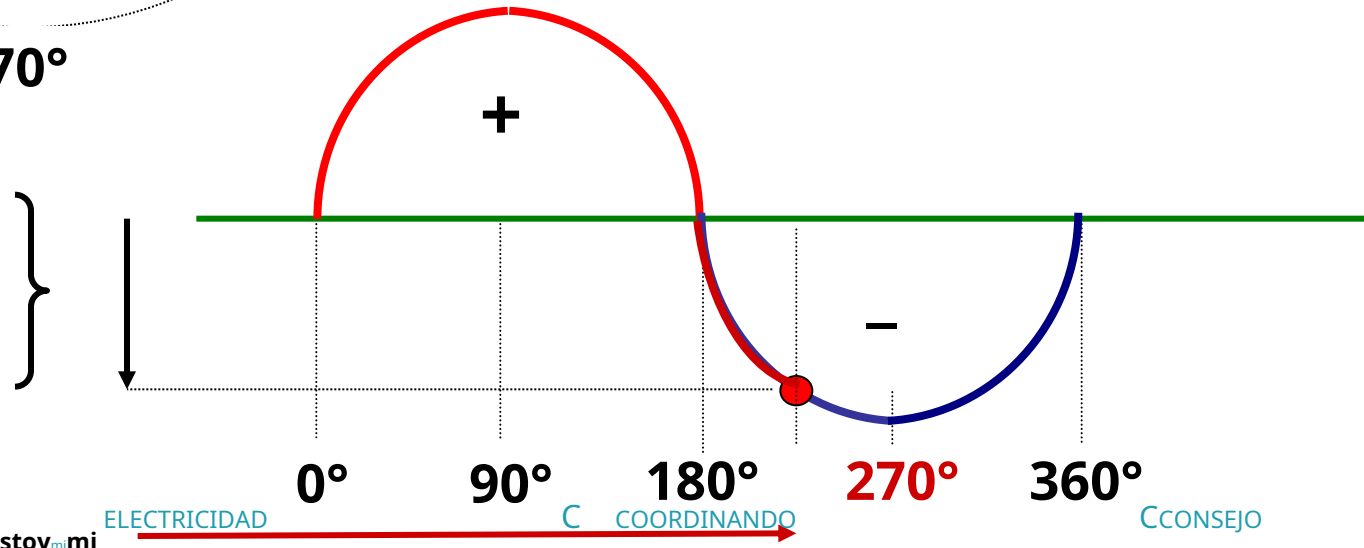
C COORDINANDO

C CONSEJO

Generador
90°



Amplitud
de voltaje
o actual



Generador
90°

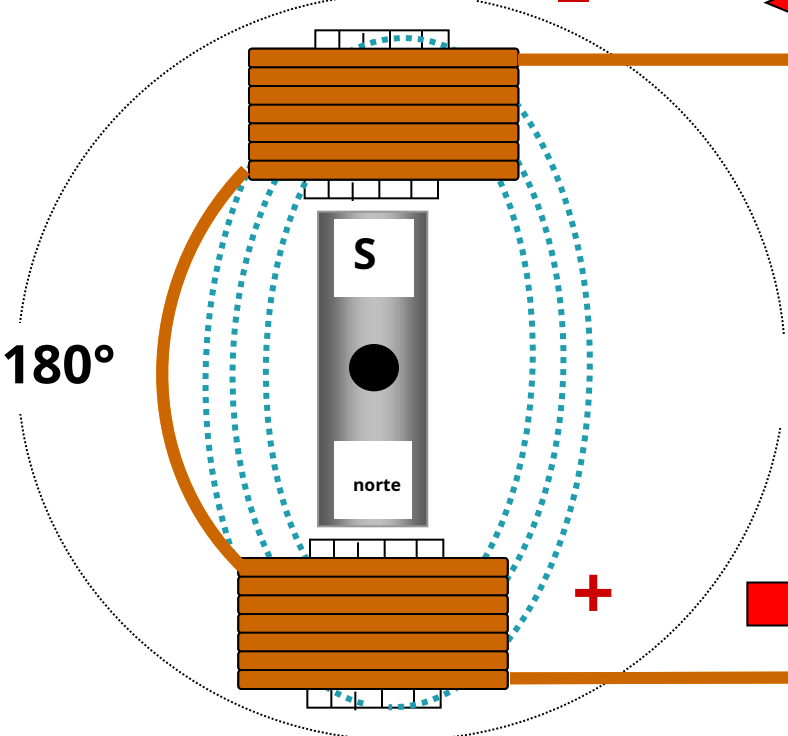
45



Flujo actual

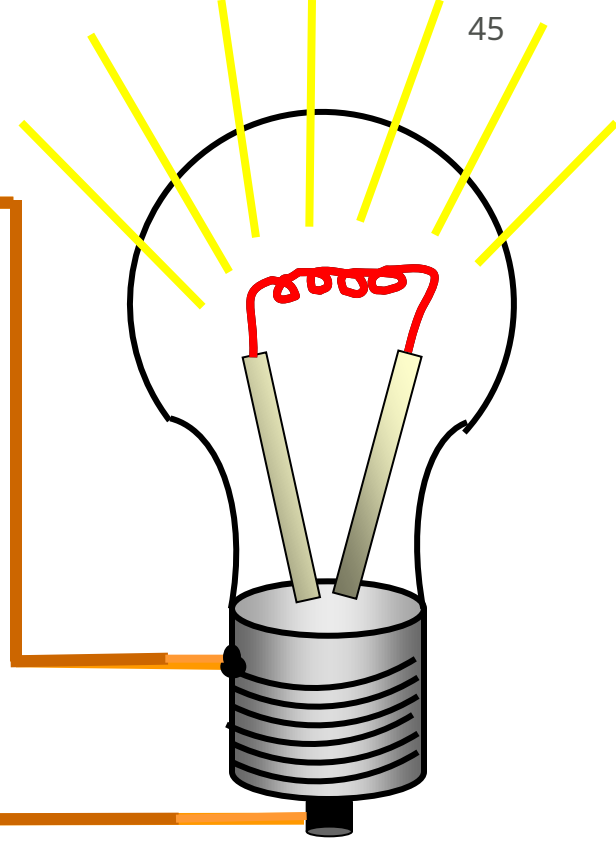
180°

0°

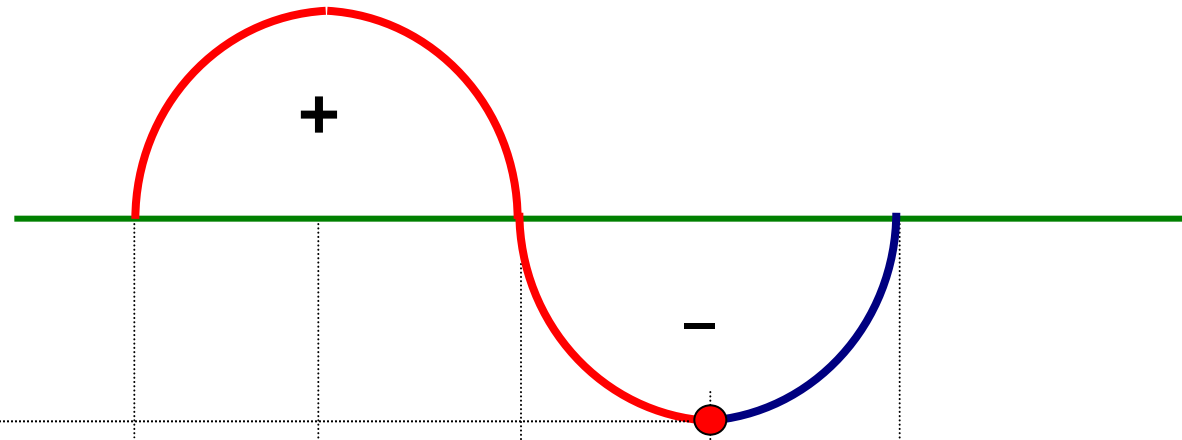


270°

+



Amplitud
de voltaje
o actual



W ESTER T

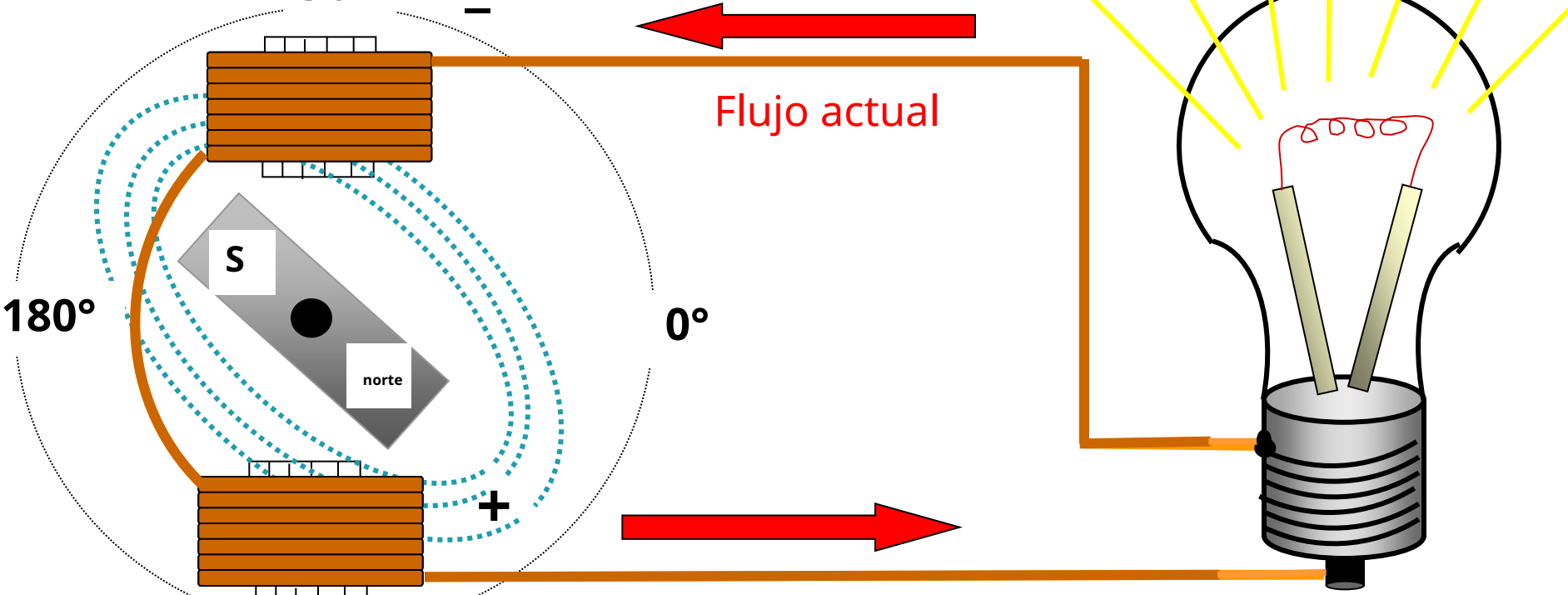
estoy.mi

ELECTRICIDAD

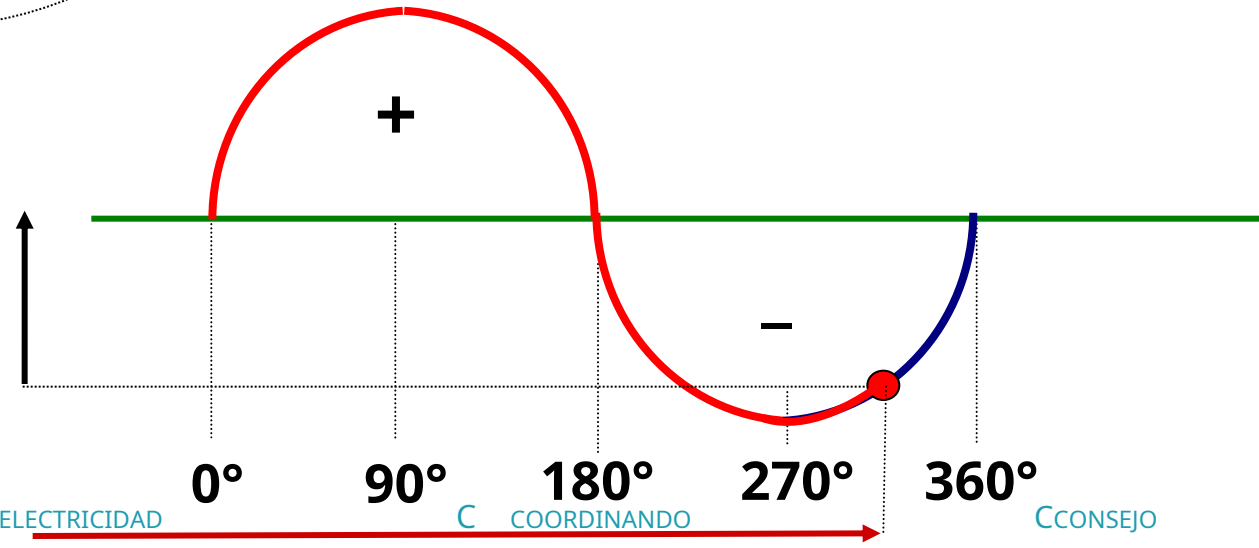
C COORDINANDO

C CONSEJO

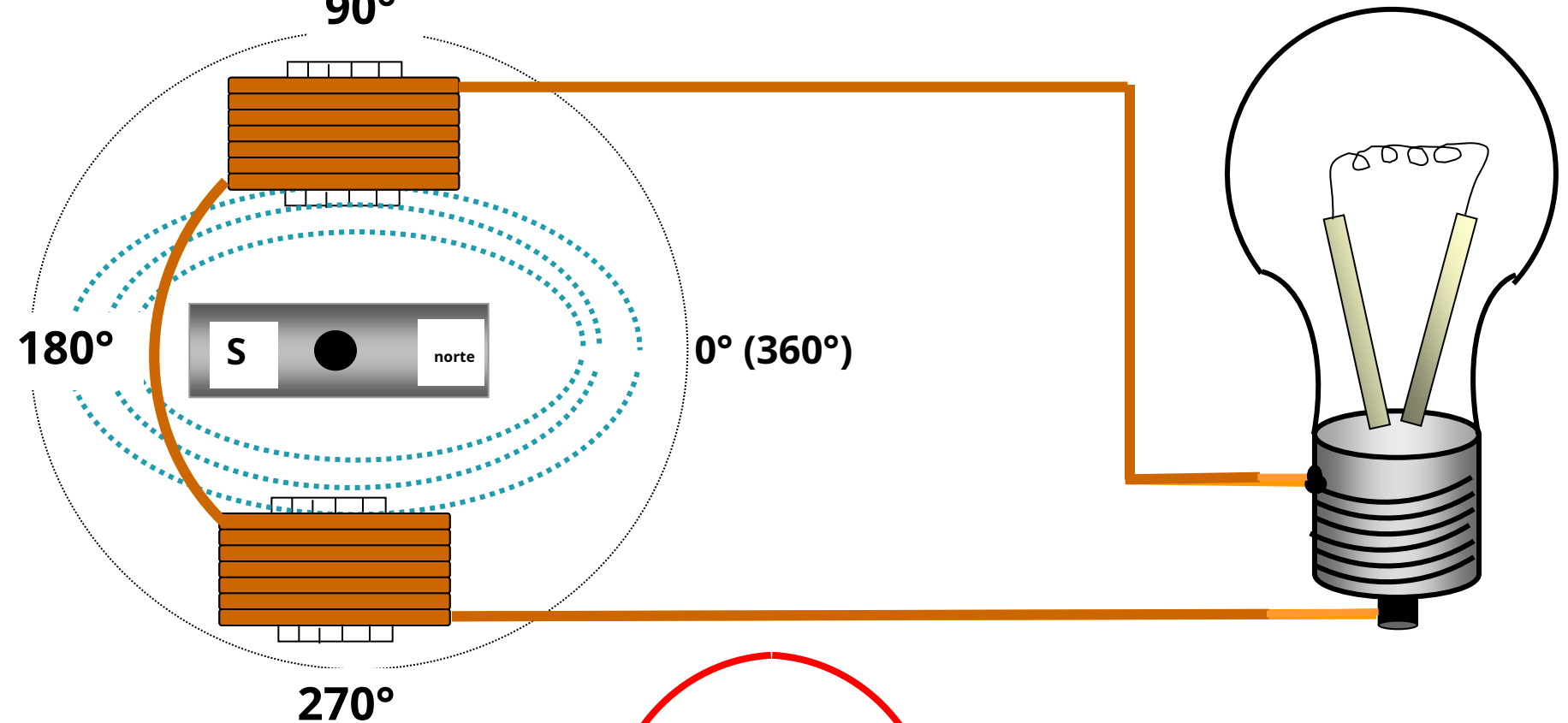
Generador
90°



Amplitud
de voltaje
o actual

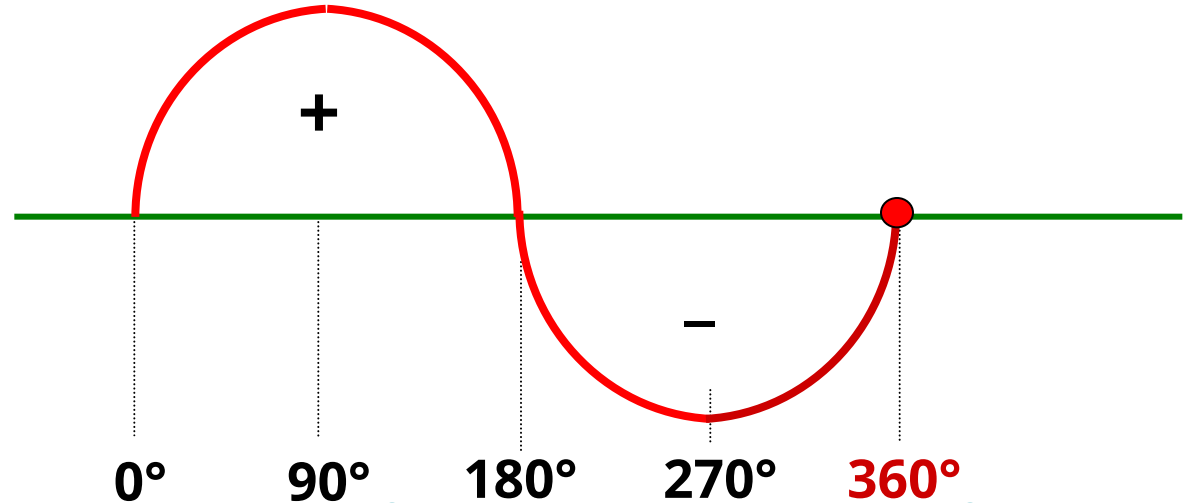


Generador
90°



Amplitud
de voltaje
o actual

0V



W ESTER T

estoy.mi

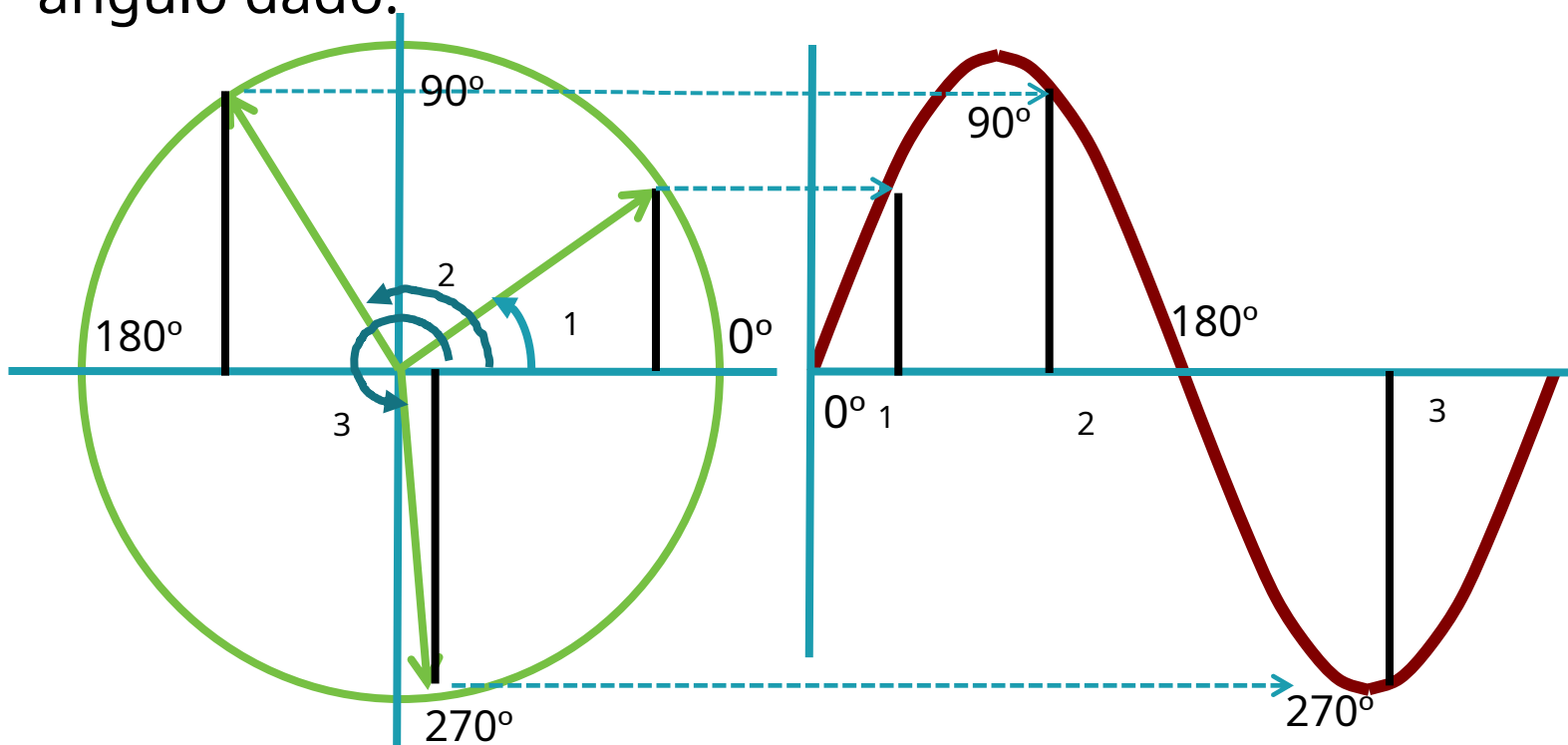
ELECTRICIDAD

C COORDINANDO

C CONSEJO

Corriente alterna vs corriente continua

Una onda sinusoidal muestra la altura del círculo en un ángulo dado.



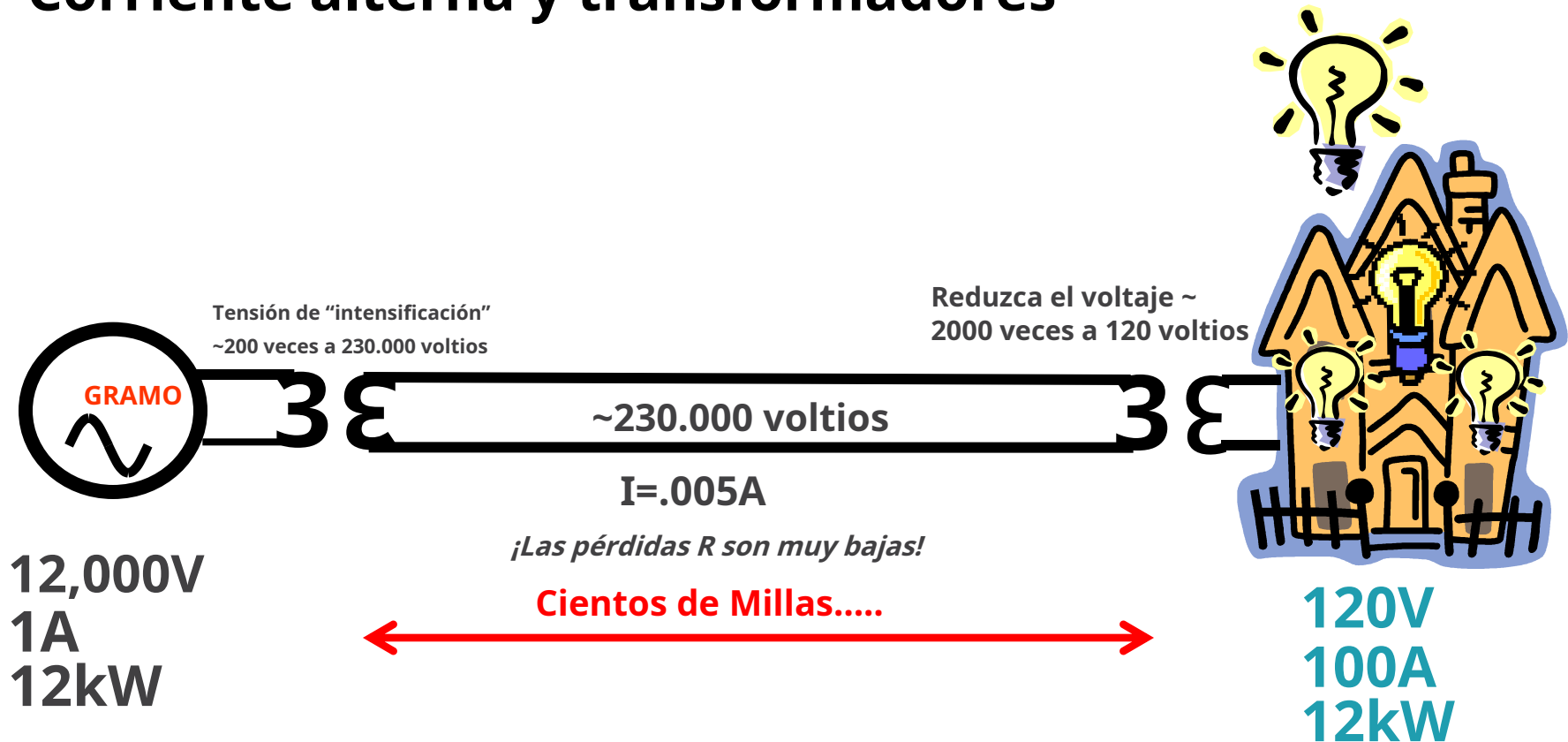
Corriente alterna vs corriente continua

Con corriente alterna, puede usar un transformador para aumentar o reducir el voltaje.



Corriente alterna vs corriente continua

Corriente alterna y transformadores



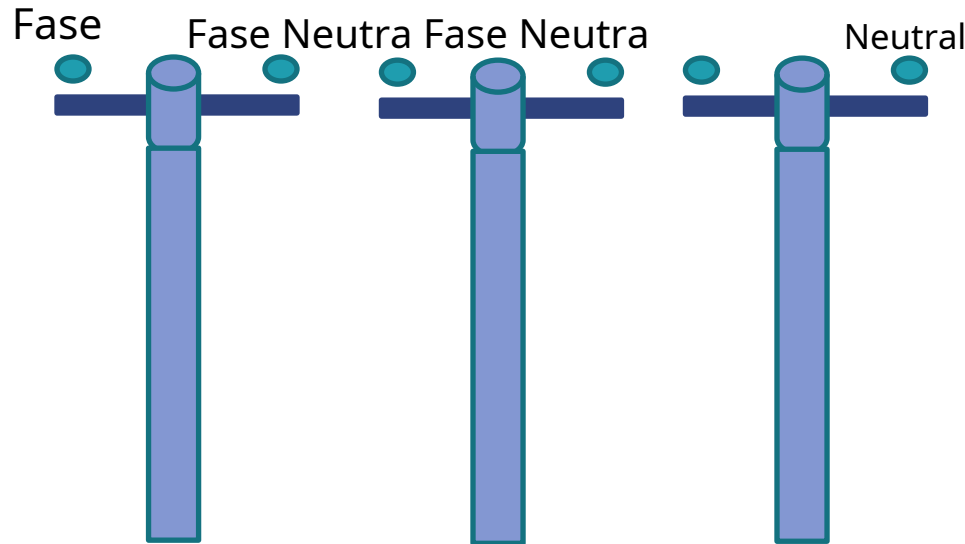
Corriente alterna vs corriente continua

Definición trifásica y ventajas

- Casi toda la electricidad se genera y distribuye como *tres fases* en lugar de monofásico.
- El costo de la trifásica es menor que la monofásica
- Utiliza menos conductores
- Reduce las pérdidas

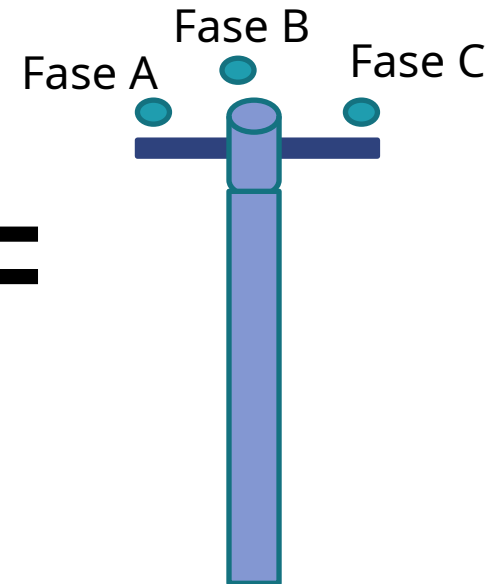
Corriente alterna vs corriente continua

3 – Líneas Monofásicas



seis conductores

Línea 1 – Trifásica

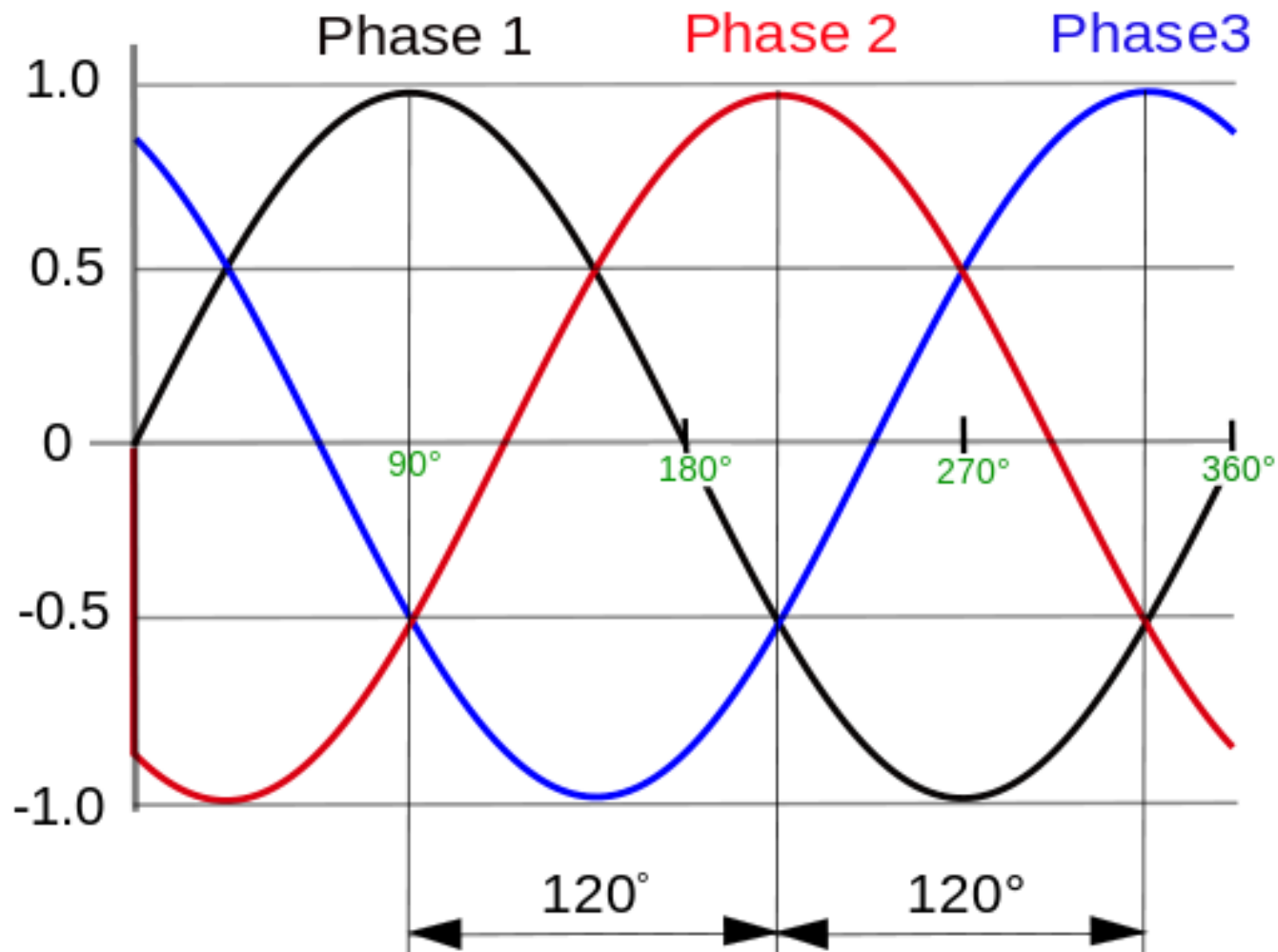


tres conductores

Corriente neutra: retornos en
otras dos fases

Definición trifásica y ventajas

Corriente alterna vs corriente continua



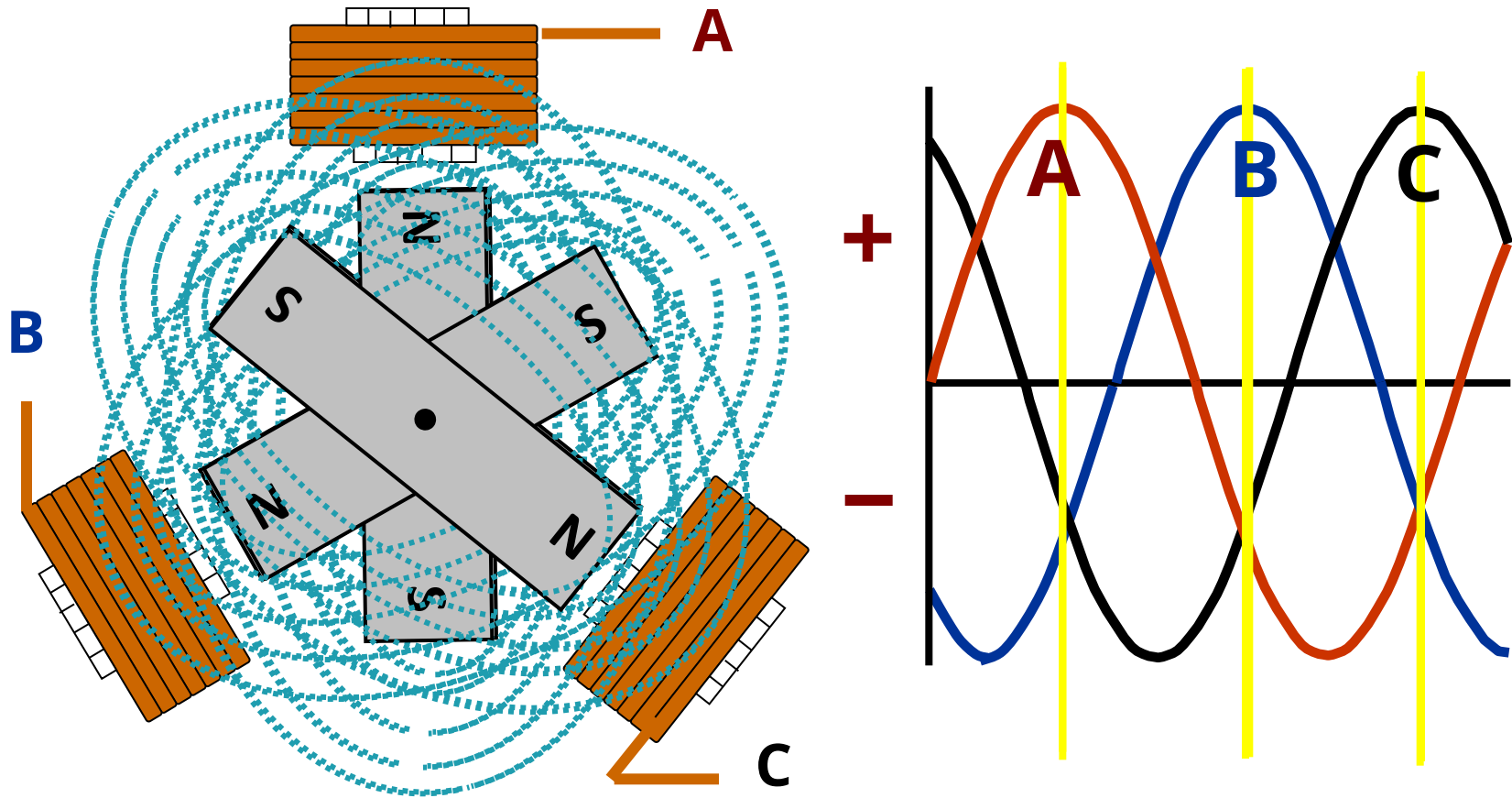
Corriente alterna vs corriente continua

Potencia trifásica

- Los motores trifásicos son generalmente mucho más pequeños que los motores monofásicos de la misma potencia.
- Los conductores que alimentan una carga trifásica generalmente pueden ser más pequeños que los que alimentan una carga monofásica equivalente.
- La potencia entregada a la carga es la misma en cualquier instancia y nunca cae a cero

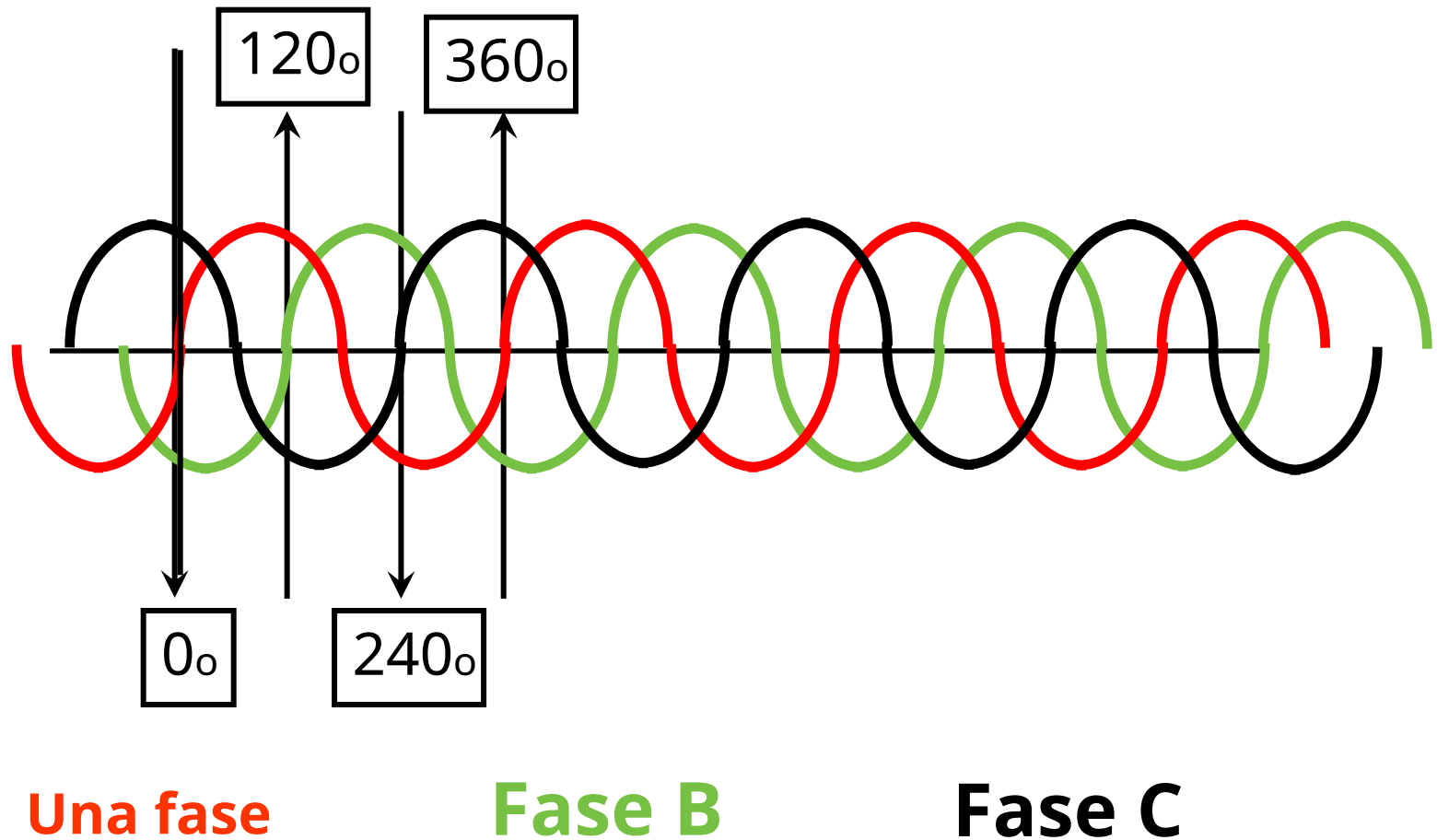
Conceptos básicos del generador

Corriente alterna vs corriente continua



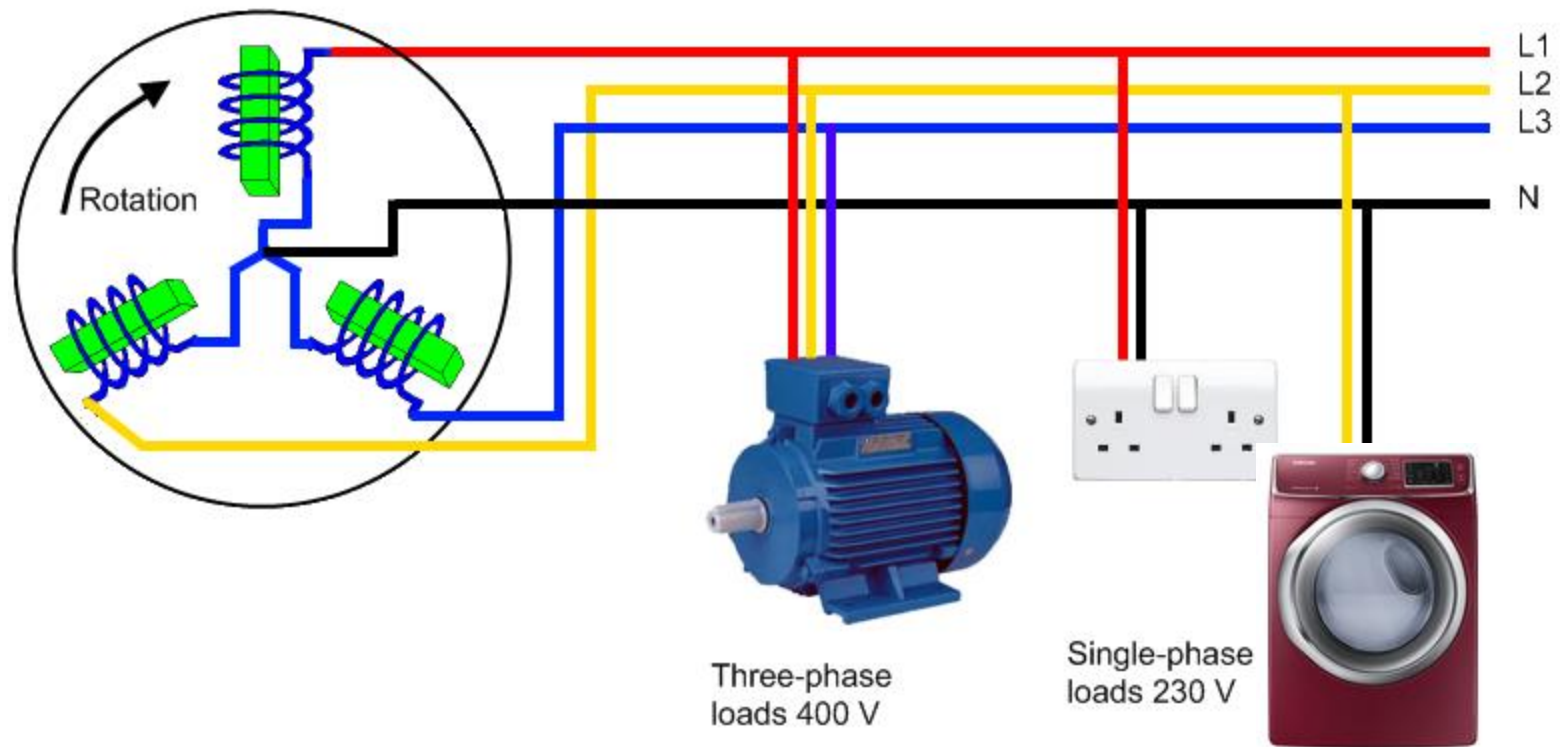
Generación de ondas de potencia trifásicas

Corriente alterna vs corriente continua

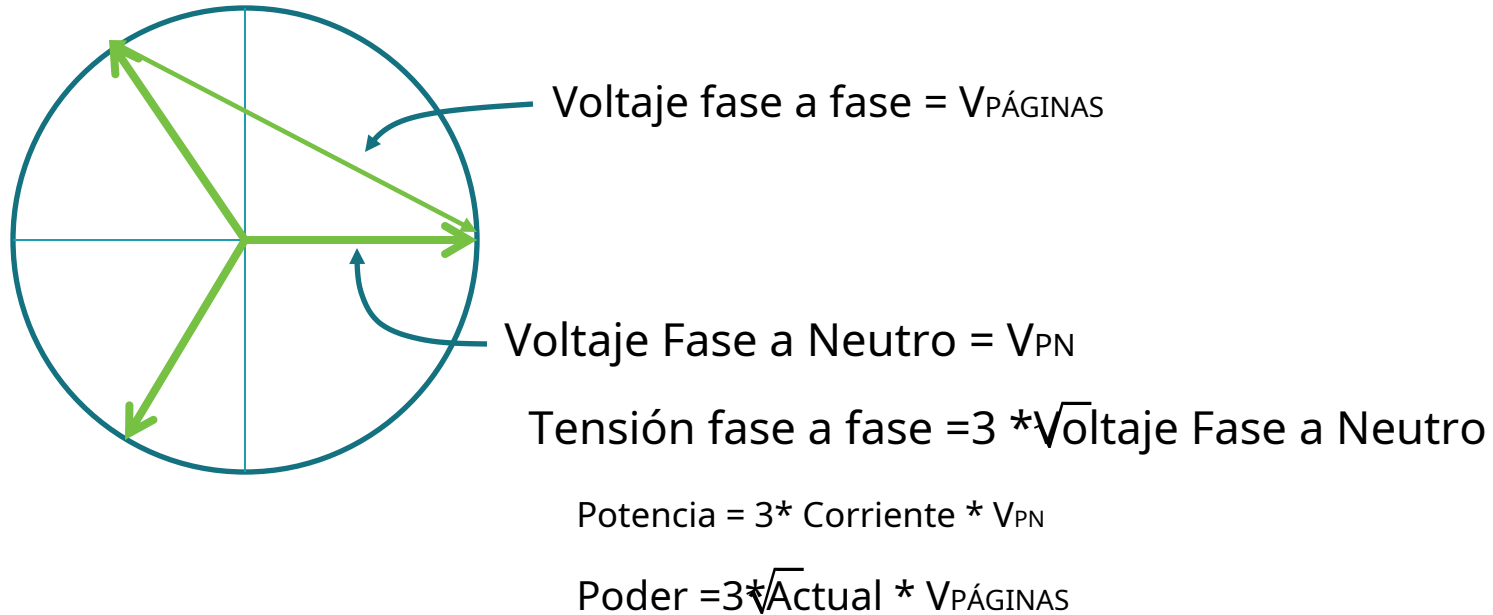


Corriente alterna vs corriente continua

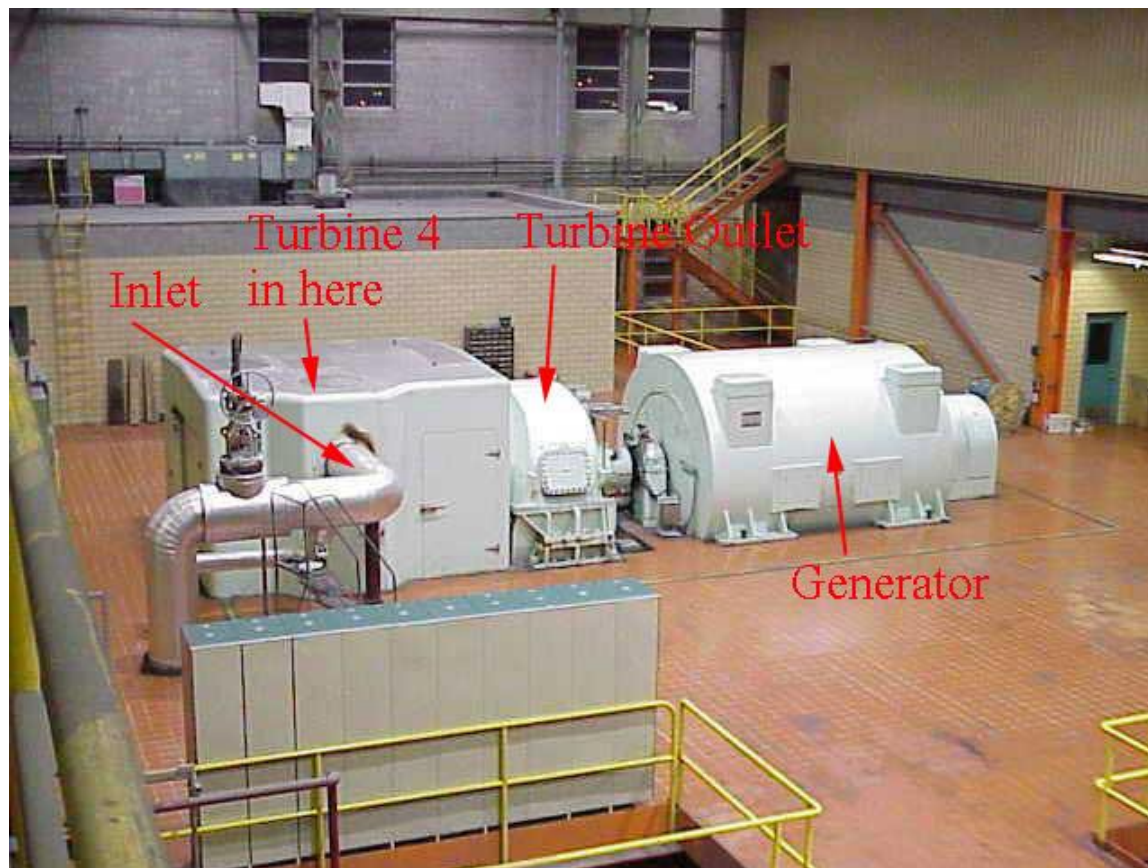
Generador de CA trifásico



Corriente alterna vs corriente continua

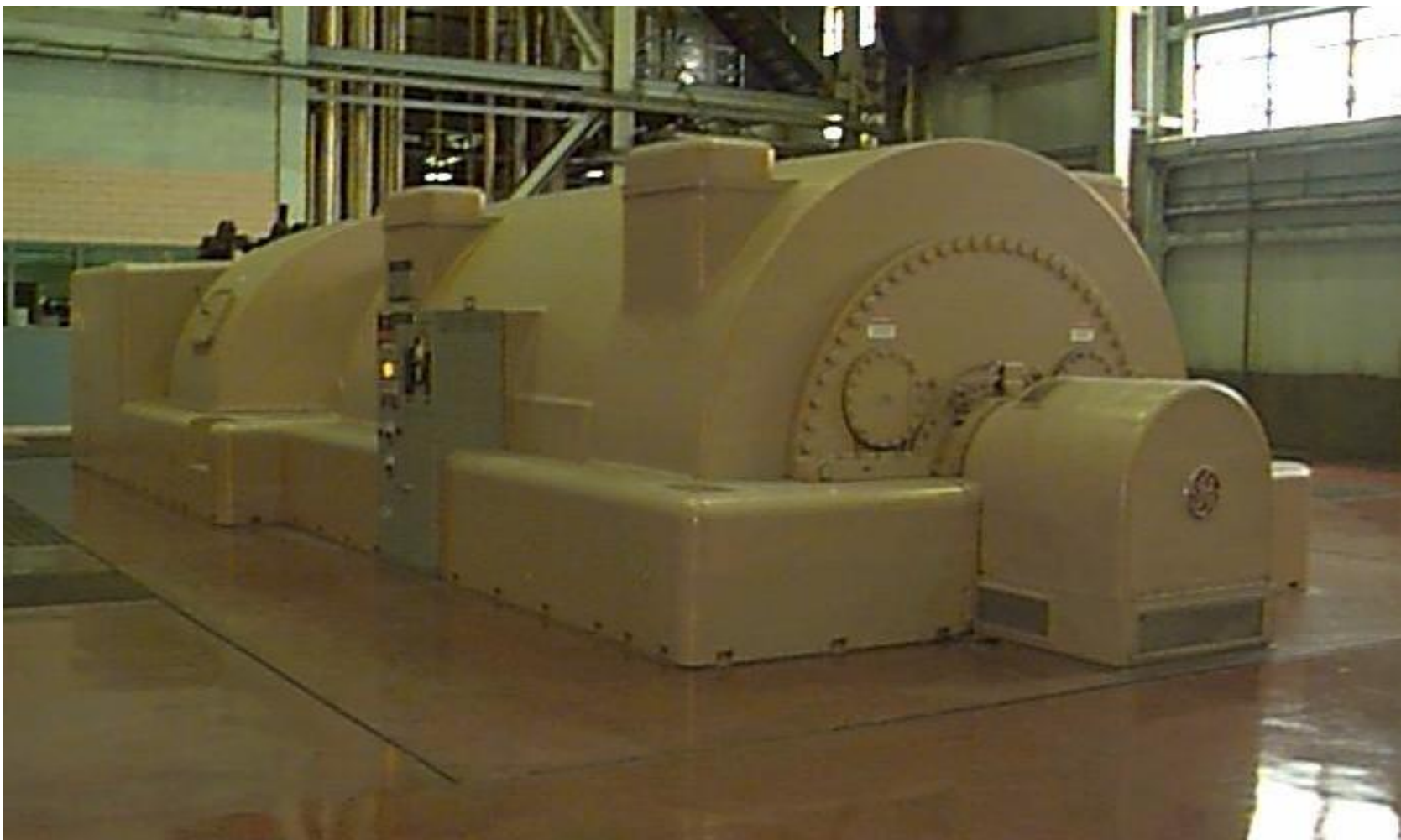


Los elementos del sistema de potencia generalmente se clasifican en su voltaje de fase a fase, es decir, una línea de 230 kV tiene una clasificación de 230 kV de fase a fase.



Elementos básicos y componentes del generador

Turbina y Generador

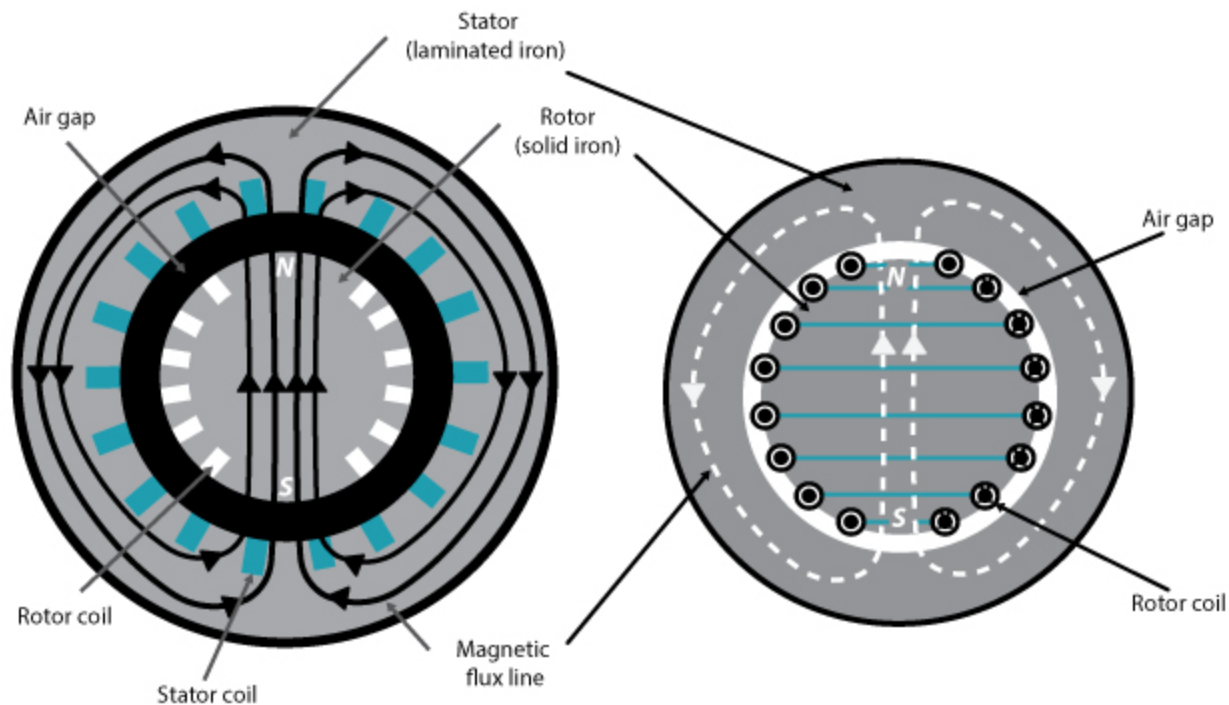


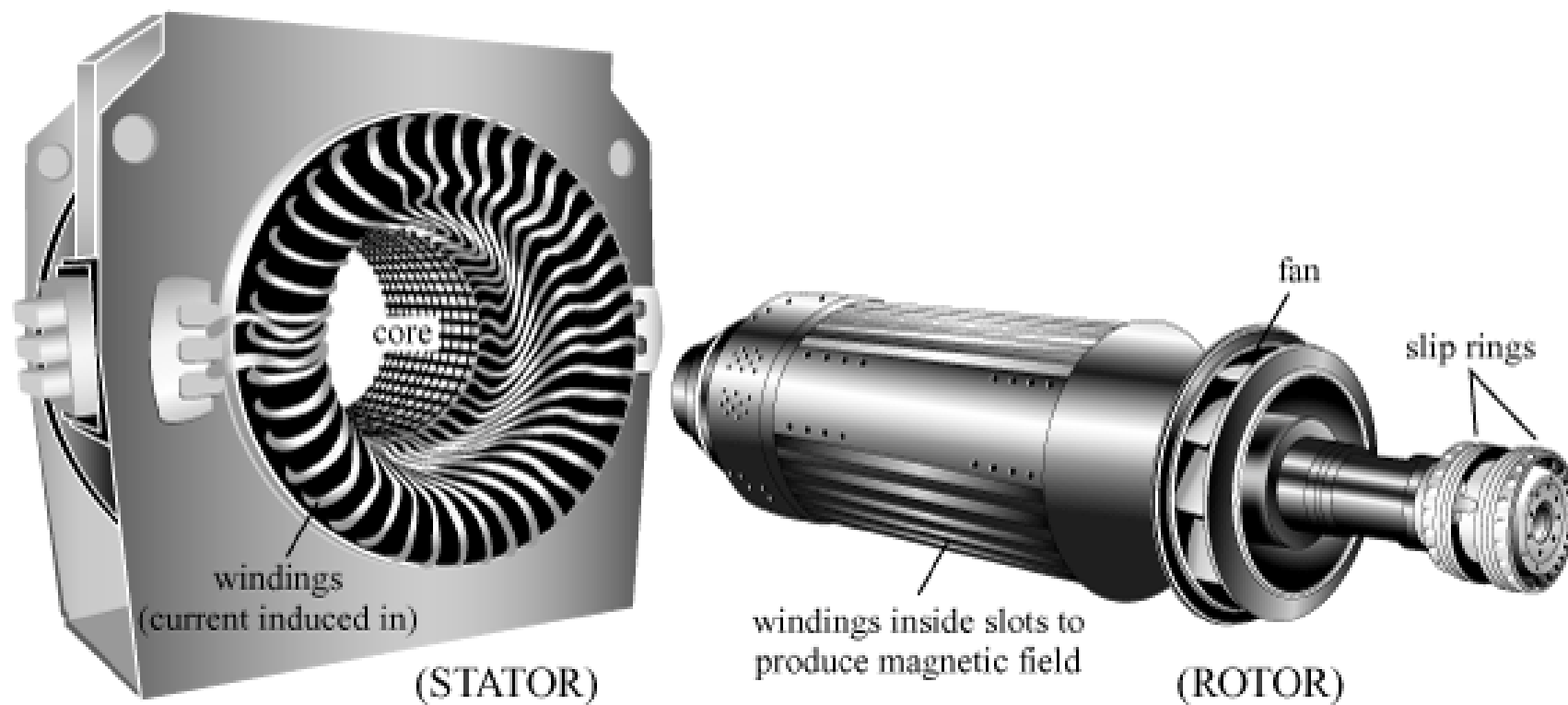


Conceptos básicos del generador

Componentes

Vista del extremo del rotor y el estator que muestra la trayectoria de las líneas de flujo magnético







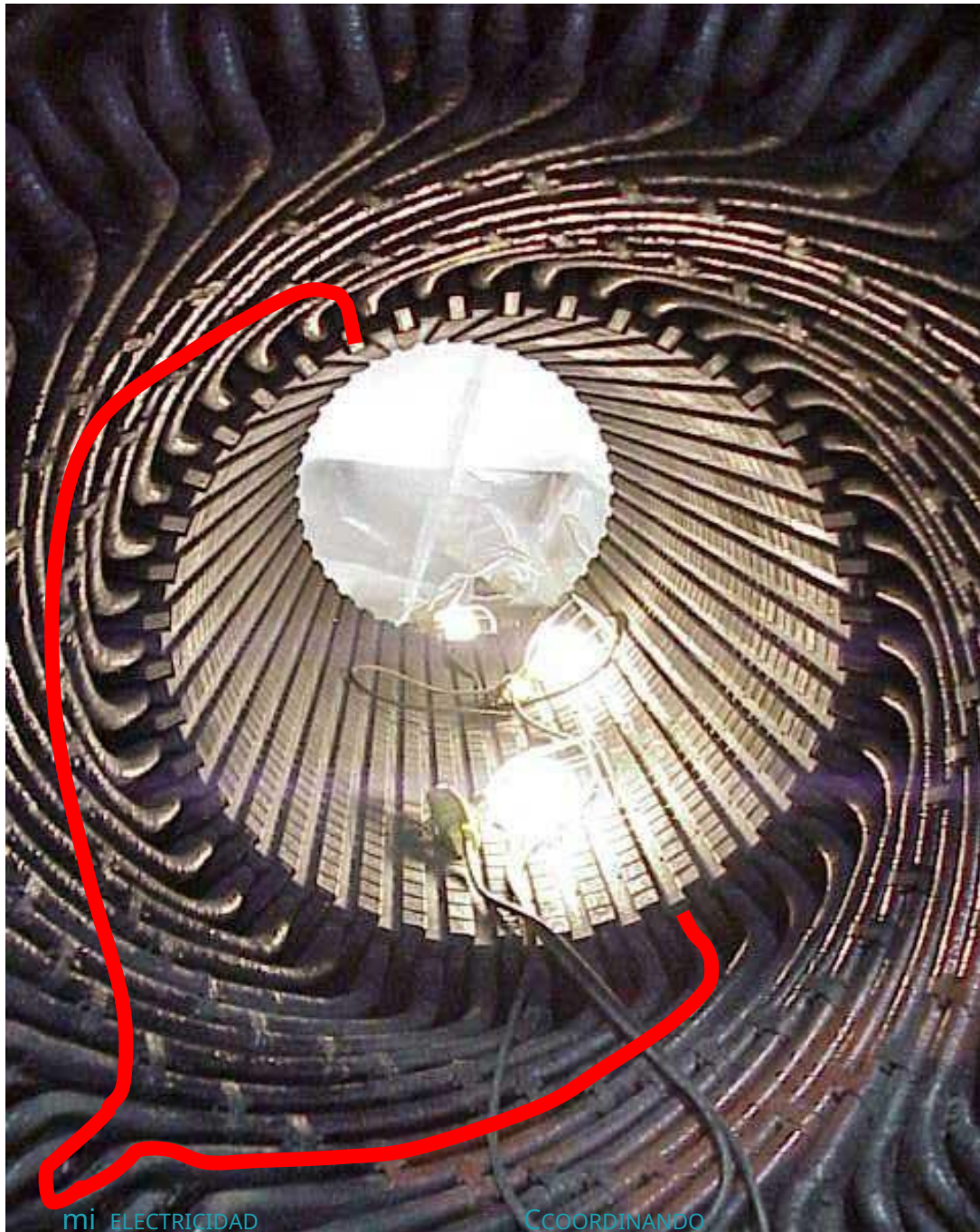


Rotor

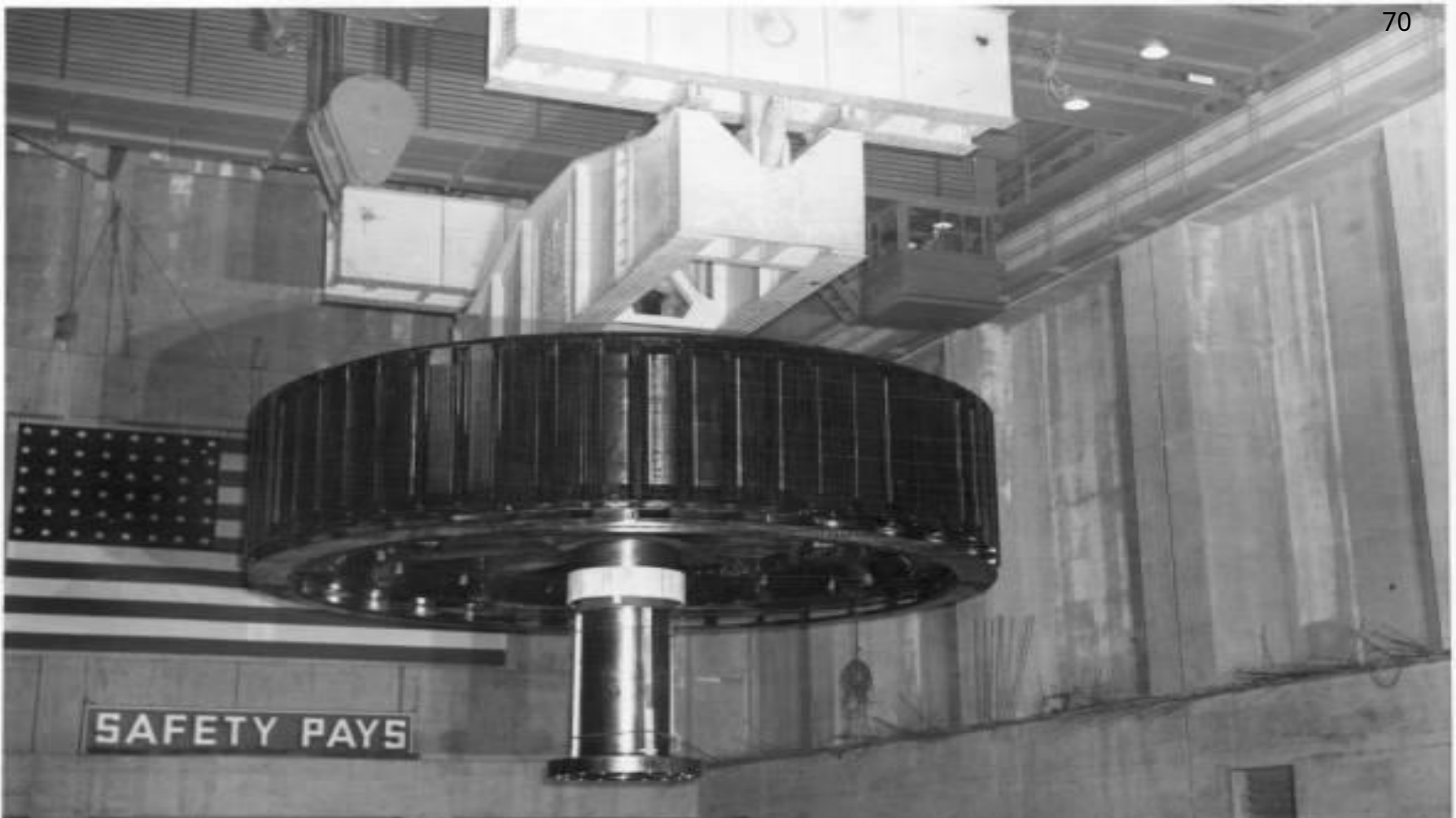


Rotor en estator





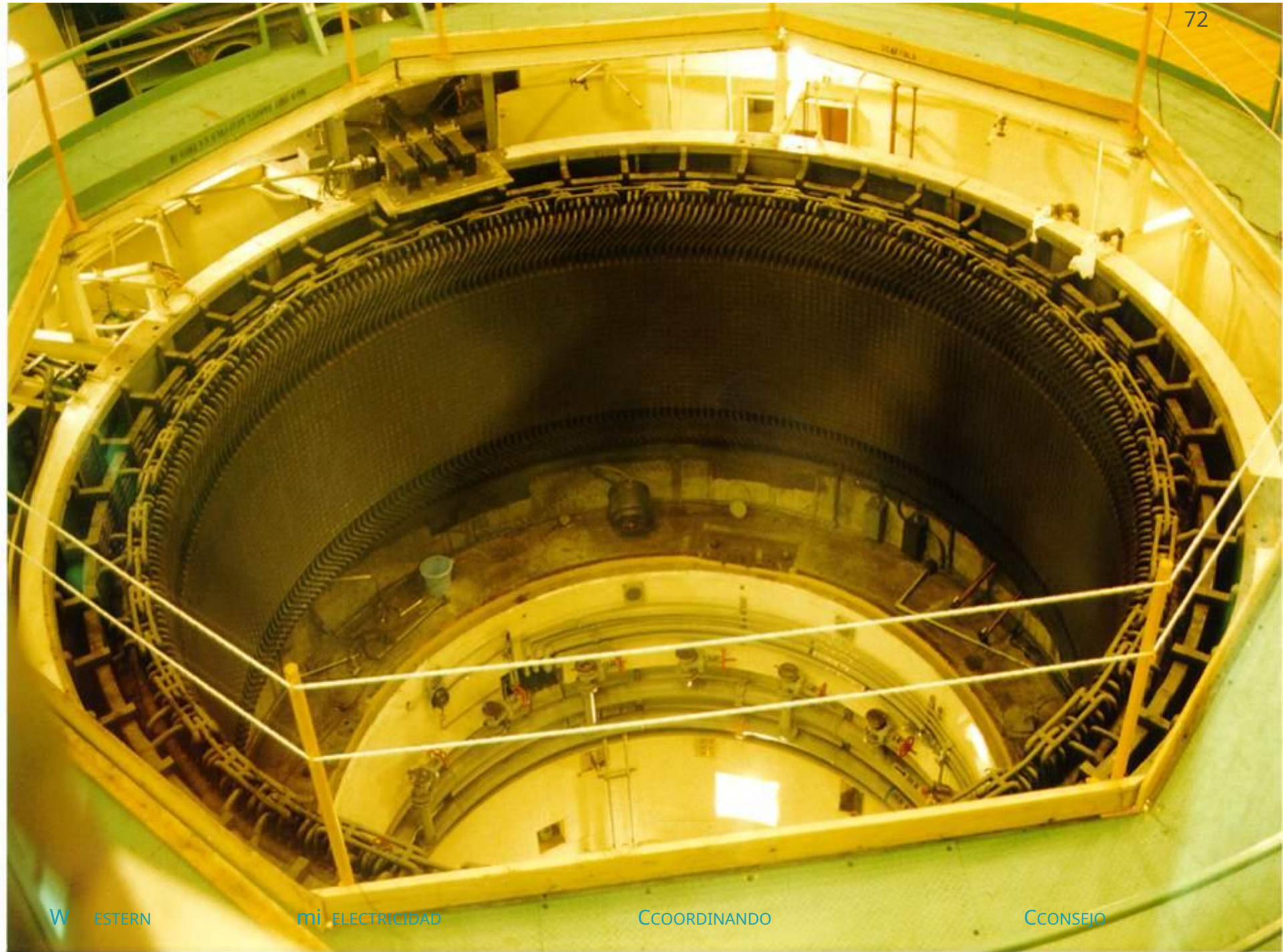




El rotor Grand Coulee de 600 MW tiene 31 pies de diámetro, pesa 535 toneladas y gira a una velocidad de 120 revoluciones por minuto dentro del estator.

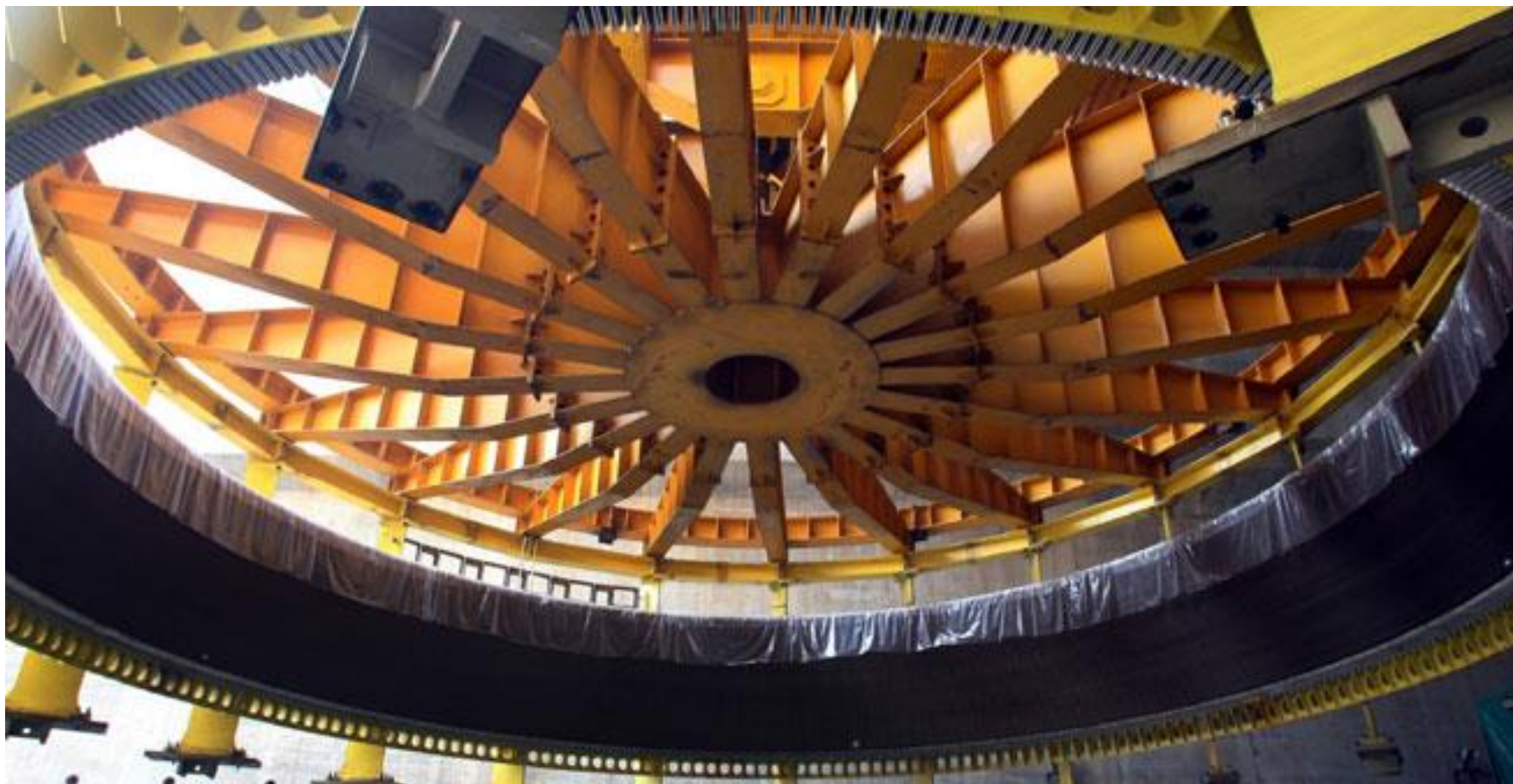


El rotor Grand Coulee de 600 MW tiene 31 pies de diámetro, pesa 535 toneladas y gira a una velocidad de 120 revoluciones por minuto dentro del estator.



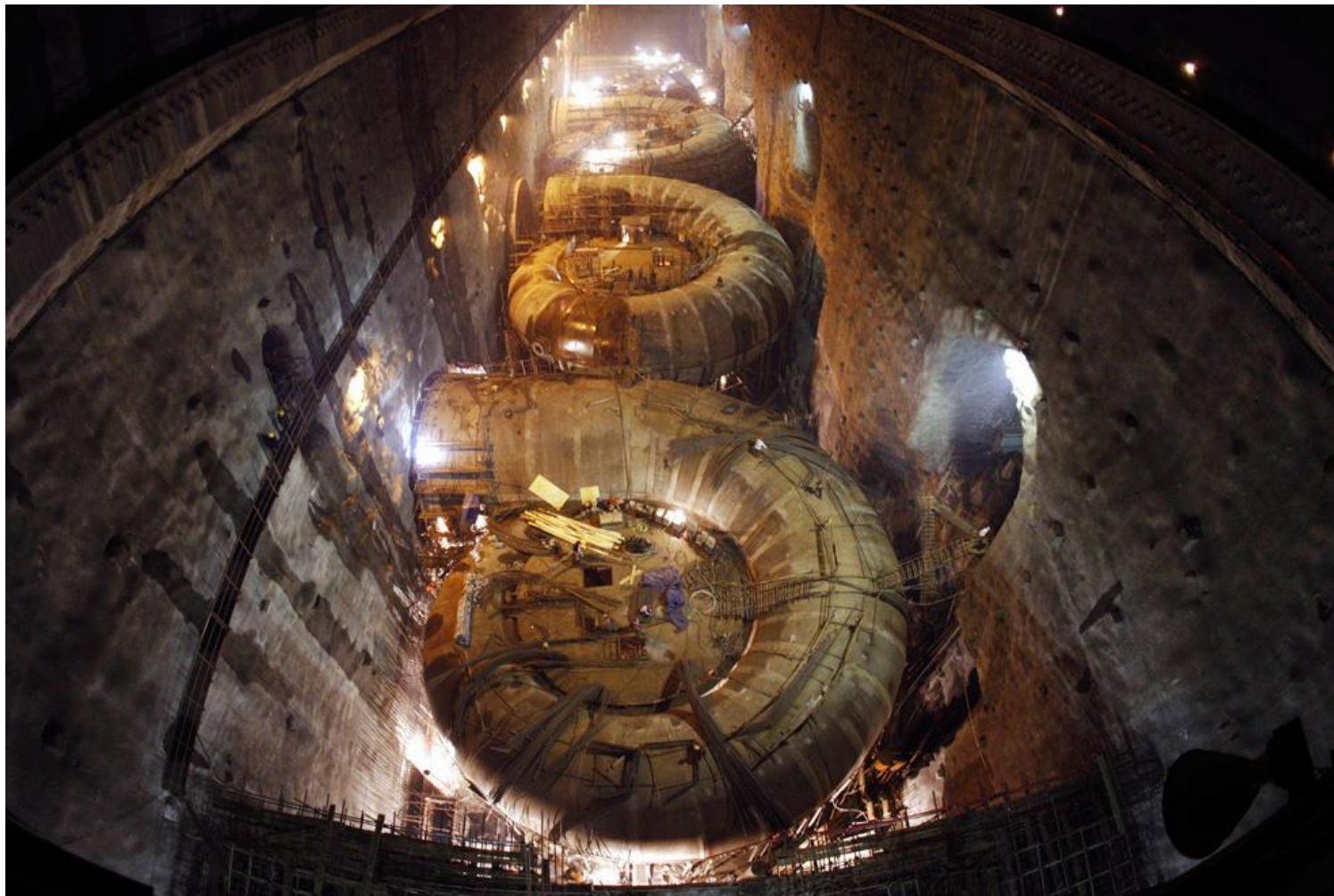


Presa de las Tres Gargantas – Parte superior del rotor de 700 MW en China



Presa de las Tres Gargantas: parte inferior del rotor de 700 MW de China





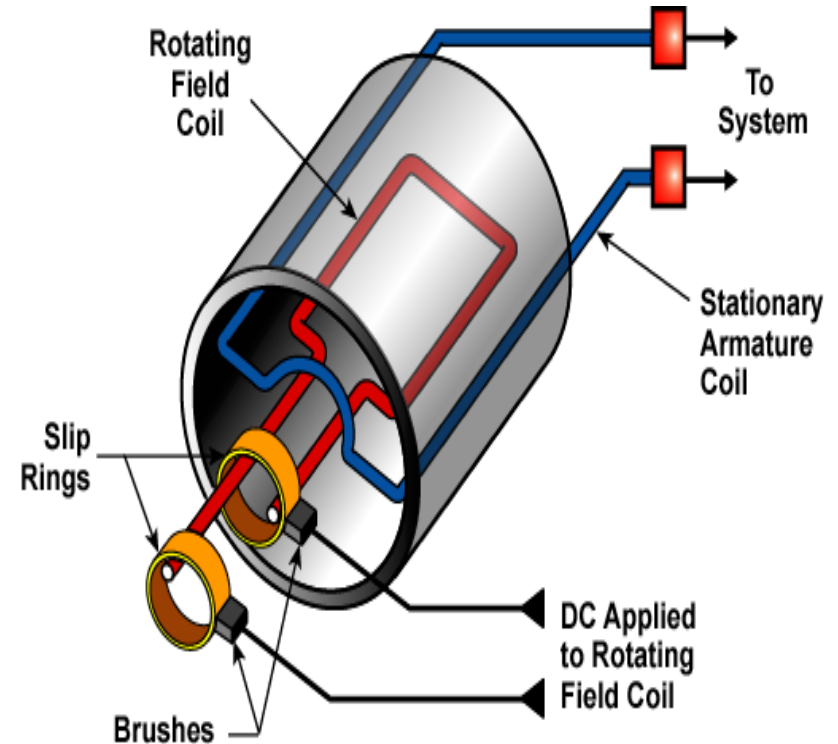
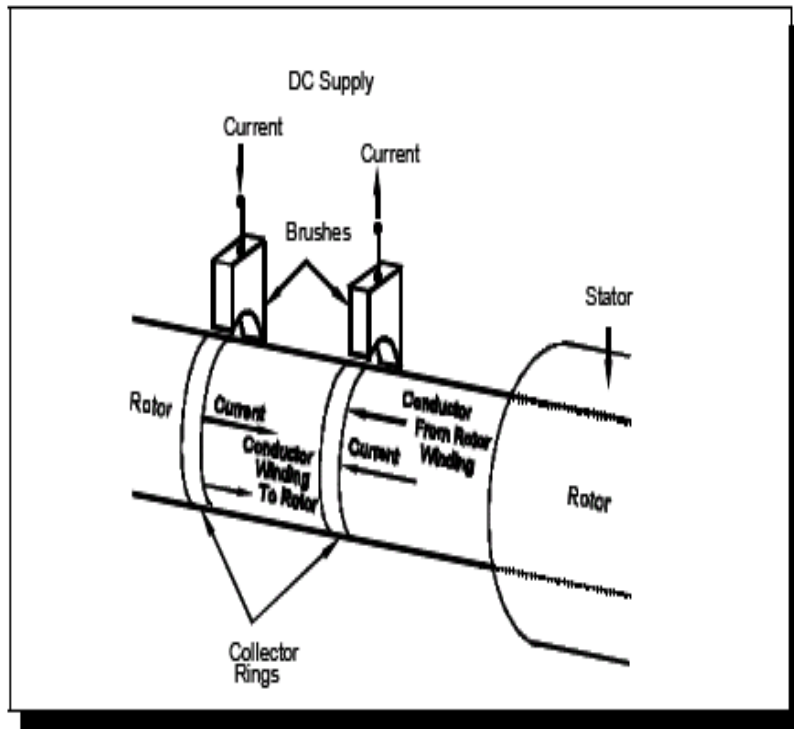
Presa de las Tres Gargantas – Entradas de rotor de 700 MW en China



Presa de las Tres Gargantas – China 700MW Generator Hall (26)

Conceptos básicos del generador

Sistema de excitación

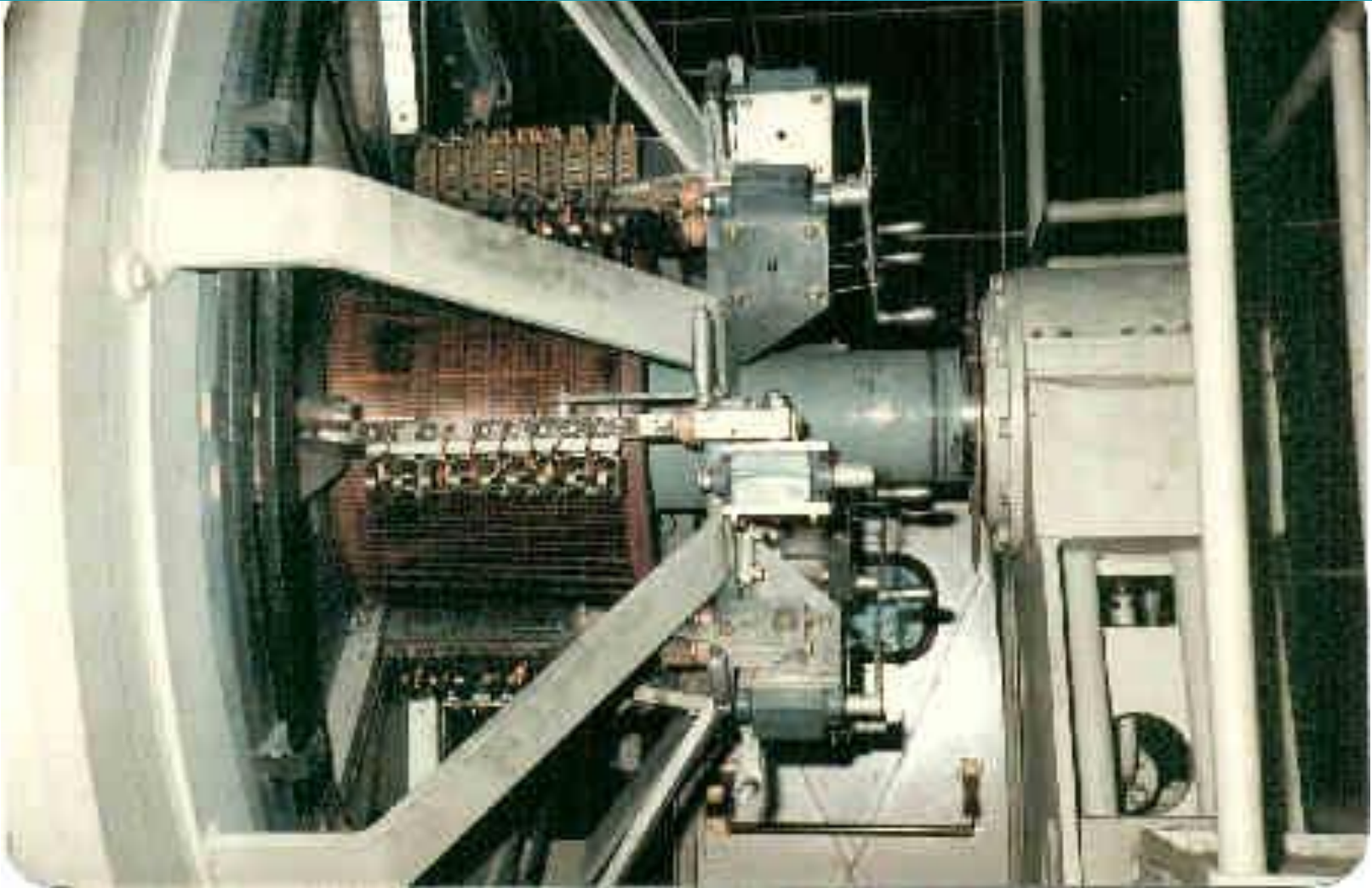


Sistema de excitación

- El excitador suministra corriente al rotor.
- Esto convierte al rotor en un imán giratorio.
- El excitador puede variar la corriente para afectar el voltaje del generador y la salida VAR
- La corriente del excitador fluye desde las escobillas hasta los anillos colectores del rotor.

EXCITAR^{esc}

Excitación Rejém



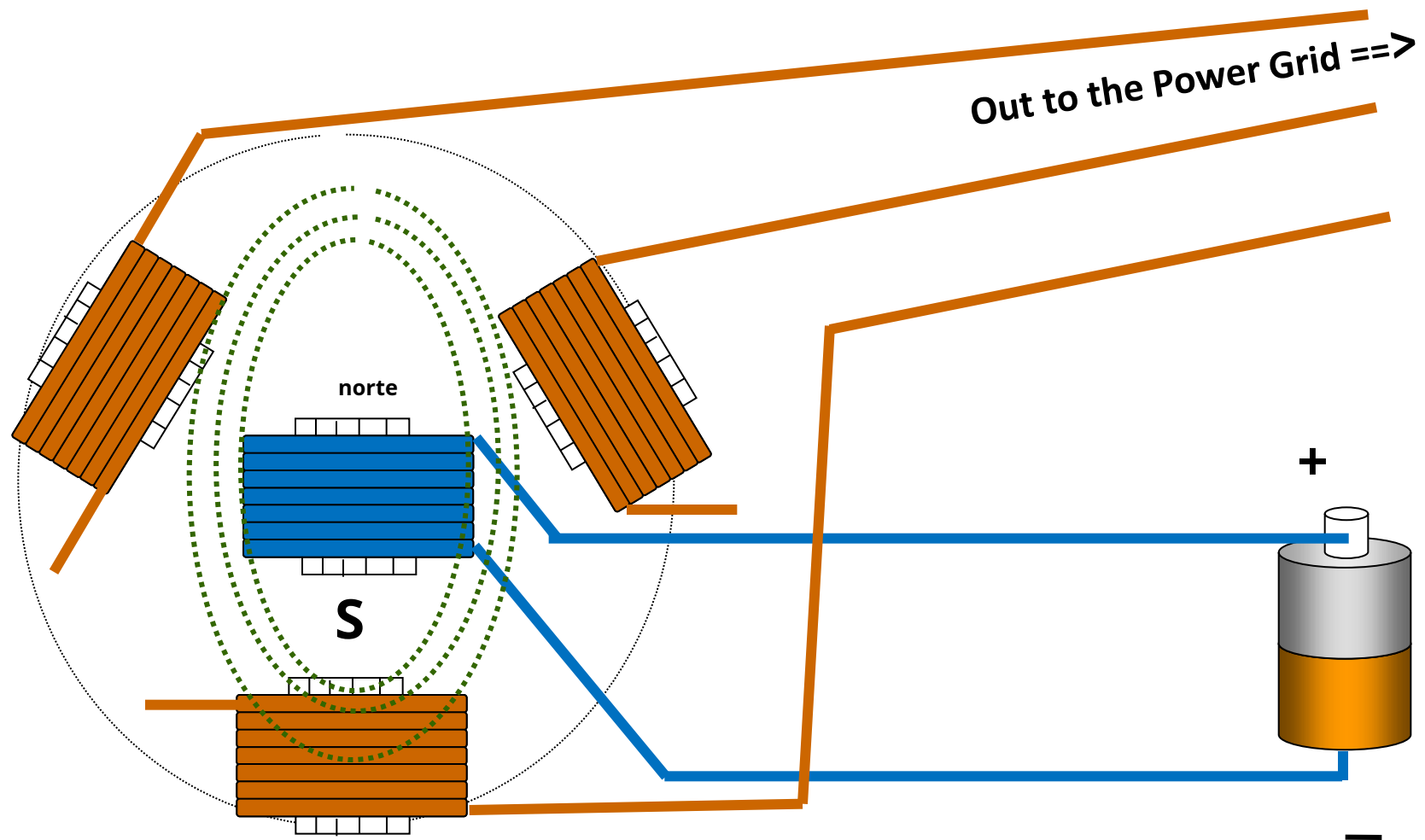
W ESTERN

mi ELECTRICIDAD

C COORDINANDO

C CONSEJO

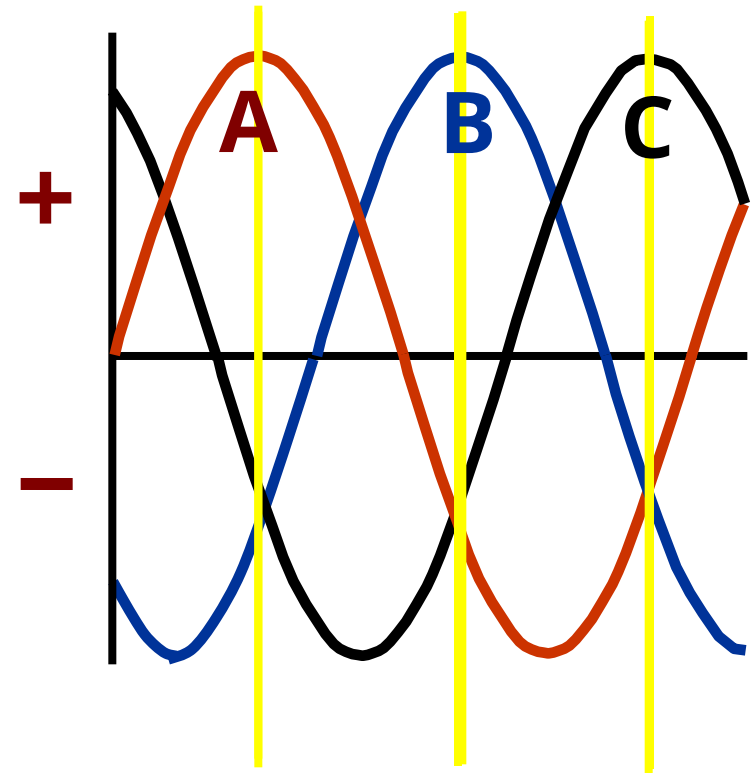
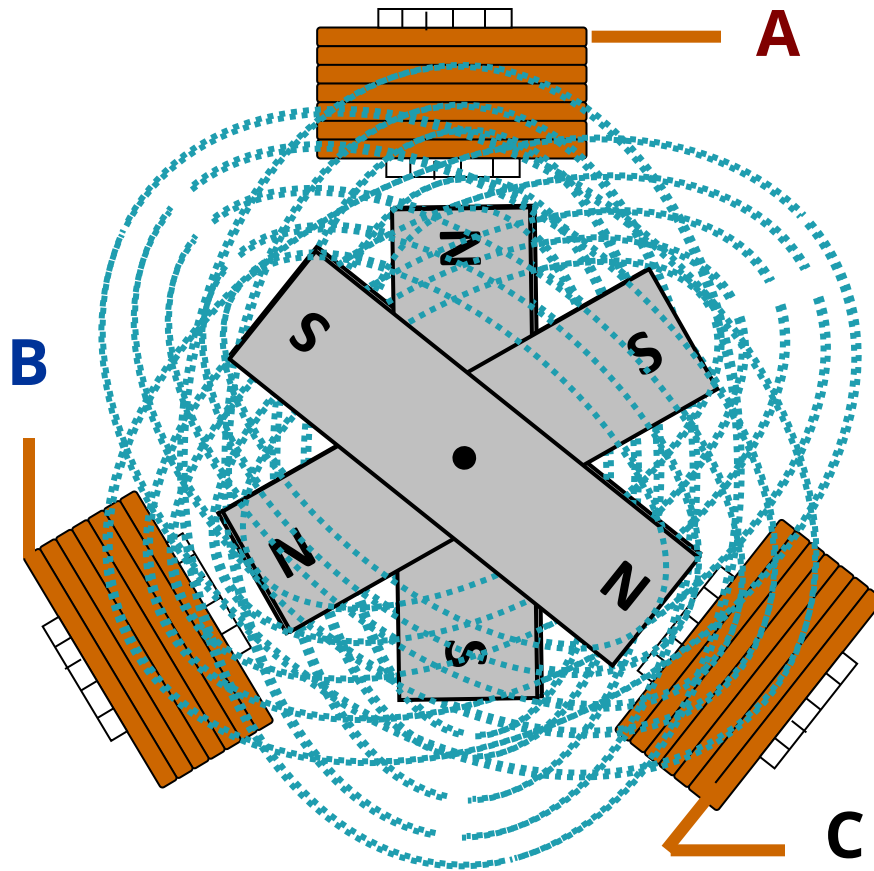
Creando un gran imán



Sistema de excitación

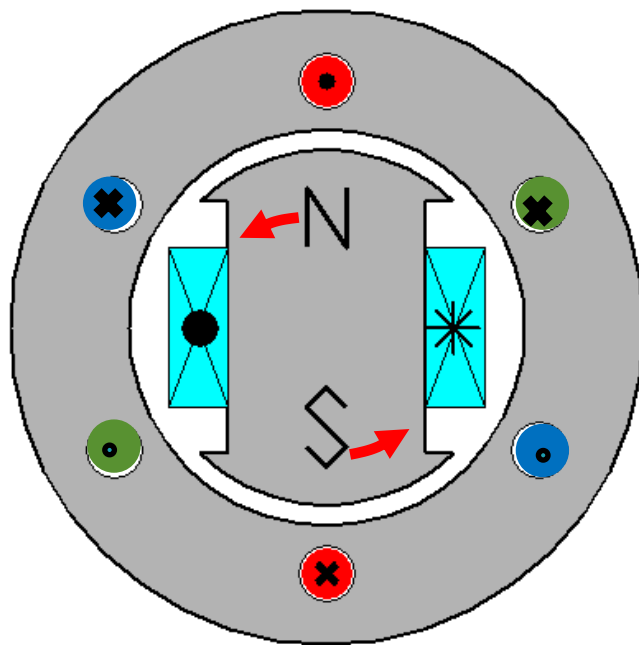
- ¿Qué hace el excitador?
- Mantiene el voltaje del generador
 - Ya sea automáticamente a través de la **Regulador Automático de Voltaje (AVR)** o manualmente a través del operador de la planta
- Controla el flujo de energía reactiva
 - **Estabilizadores del sistema de potencia (PSS)** se aplican en el generador para ayudar a amortiguar las oscilaciones

Fundamentos de la generación de electricidad en ondas de potencia trifásicas



Conceptos básicos del generador

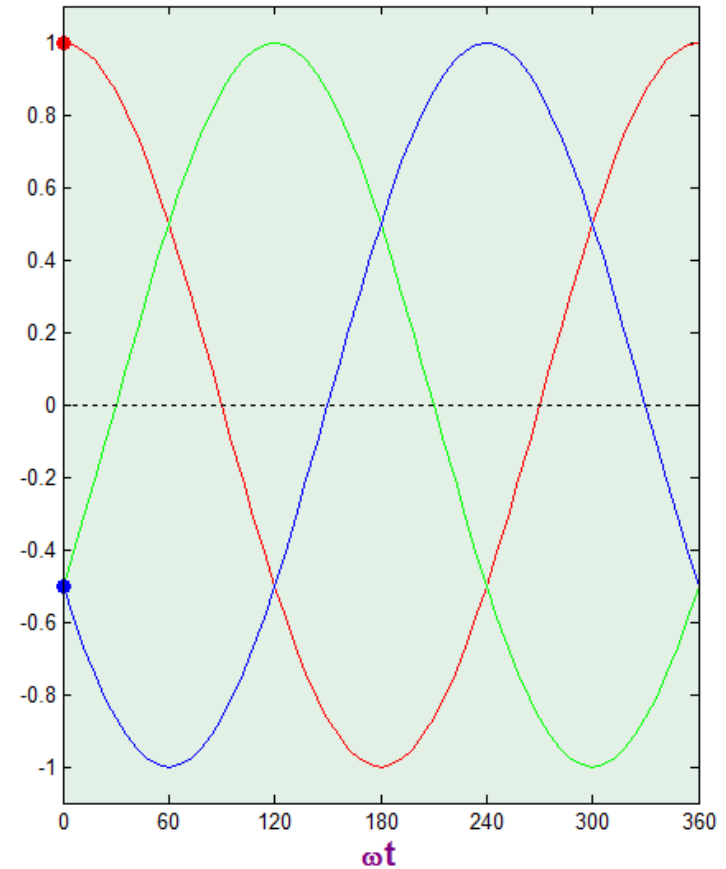
Generador de CA trifásico



Phase A

Phase B

Phase C



Conceptos básicos del generador

Frecuencia y Sincronismo

En una interconexión de CA, todos los servicios públicos conectados ven la misma frecuencia eléctrica y todos los generadores funcionan en sincronismo entre sí.

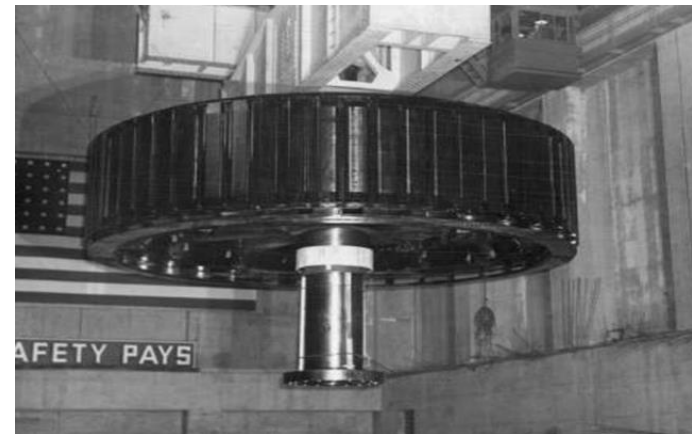


Frecuencia y Sincronismo

- En los EE. UU., los sistemas de energía funcionan a 60 hz.
- El rotor del generador debe girar lo suficientemente rápido para producir 60 hz.
- RPM depende de cuántos polos en el rotor



3600 RPM



120 RPM

Frecuencia del generador

La velocidad síncrona del generador *nortees*:

$$N = \frac{120 f}{P}$$

Where N = Synchronous speed

f = Frequency

P = Number of poles

Frecuencia del generador

La frecuencia de salida del generador (f) es:

Para el **generador de dos polos**, cada revolución del eje produce un ciclo. Si el generador gira a 3.600 revoluciones por minuto, esto equivale a 60 ciclos por segundo. Recuerde del Módulo 2:

Fundamentos de la electricidad que ***un ciclo por segundo es un hercio***. Entonces, 60 revoluciones por segundo equivalen a 60 ciclos por segundo (hertzios) o 3600 revoluciones por minuto.

¿Cuáles son las RPM de un generador de 4 polos?

¿Cuántos polos tiene un generador que gira a una velocidad de 120 revoluciones por minuto dentro del estator?

Sincronismo

Antes de cerrar el interruptor automático, el generador debe estar sincronizado con el voltaje del sistema de energía.



Sincronismo -Los sistemas o máquinas de CA funcionan a la misma frecuencia... y el ángulo de desplazamiento entre ellos es constante o está en una posición estable.

Conceptos básicos del generador

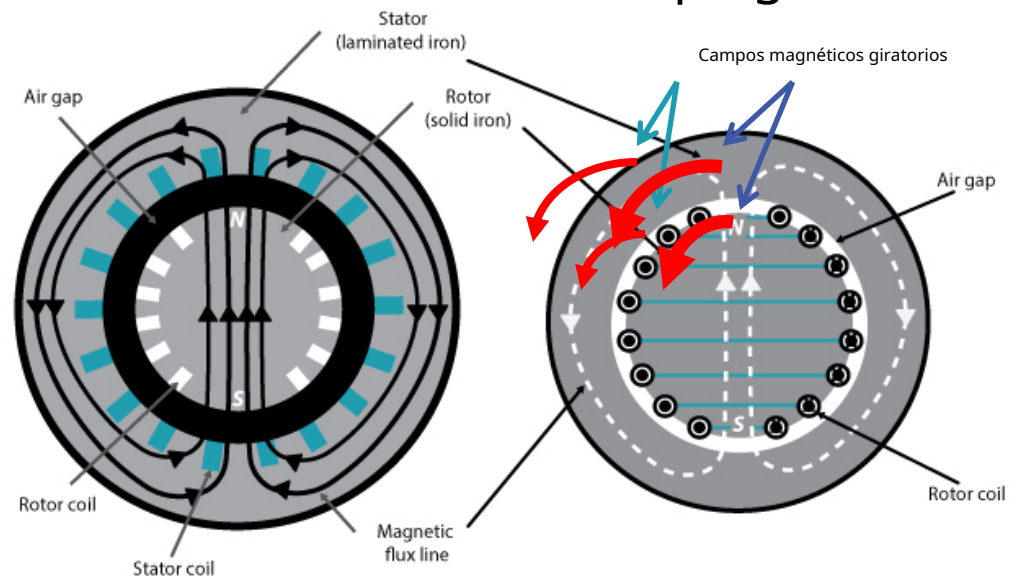
Campo del estator

- Cuando no está conectado al sistema, no fluye corriente en los devanados del inducido.
- Cuando está conectado al sistema, la corriente fluye en los devanados del inducido.
- La corriente crea un campo magnético giratorio llamado ***campo del estator***
- El campo del estator es el resultado de las corrientes trifásicas que interactúan para producir un campo giratorio.

Conceptos básicos del generador

Campo de CC del rotor

- Hay un campo magnético en el cuerpo del rotor llamado campo DC.
- El campo DC gira junto con el rotor.
- El rotor debe permanecer en sintonía con el campo giratorio del estator.



Conceptos básicos del generador

Ángulo de rotación

- El rotor del generador (con su campo de CC) y el campo del estator se mueven juntos
- Para producir energía, el campo de CC debe avanzar ligeramente desde el campo del estator.
- El **ángulo del rotor** es la diferencia angular entre estos dos campos
- Cuanto mayor sea la entrada mecánica a un generador, mayor será el avance del ángulo del rotor y mayor será la salida de energía eléctrica.

Conceptos básicos del generador

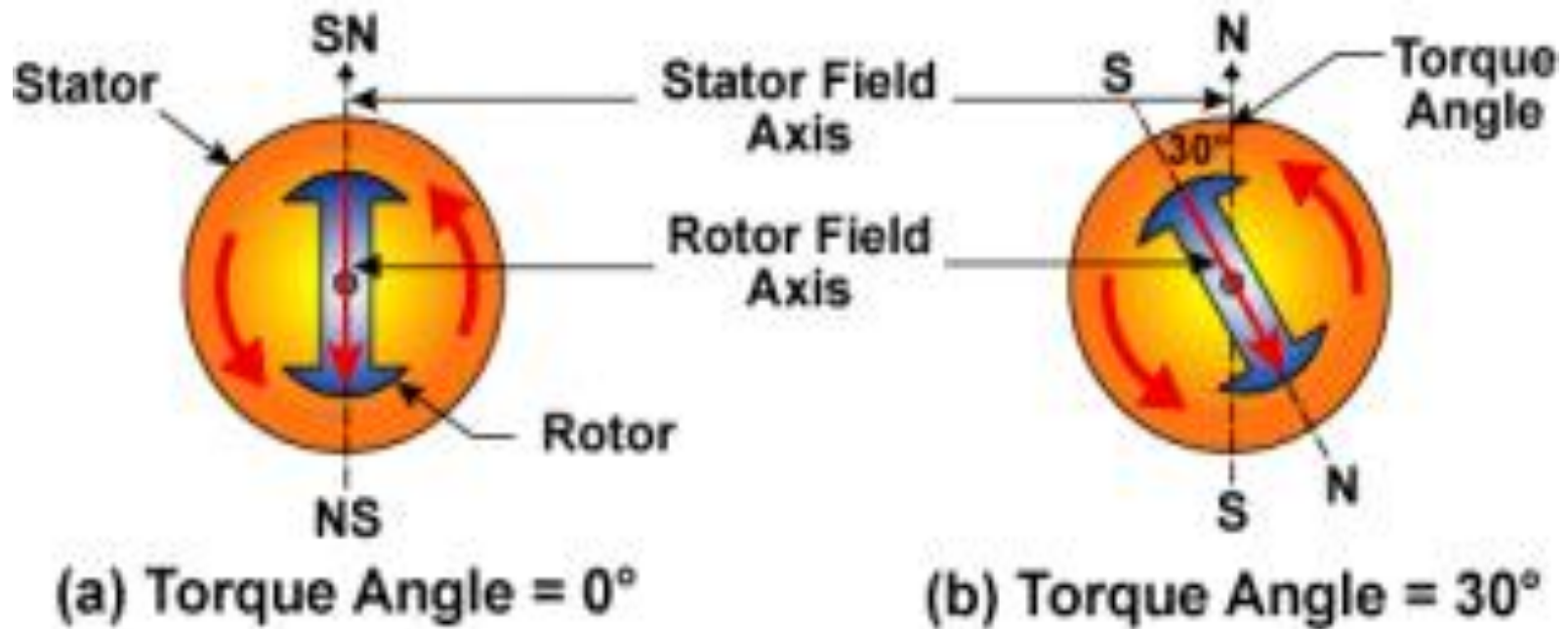
Ángulo de rotación

La interacción entre estos dos campos es cómo se transfiere la energía desde el motor principal, la turbina, al sistema de energía.

- En condiciones normales, los dos campos giran a la misma velocidad.
- Cuando ocurren pequeños cambios de carga, la diferencia angular entre los dos campos aumenta ligeramente, pero el generador se ajusta a este nuevo ángulo.
- Cuando ocurre un cambio de carga repentino o grande, la diferencia angular entre los dos campos aumenta repentinamente y es posible que el generador no pueda ajustarse a este nuevo ángulo para cumplir con el nuevo requisito de potencia.

Conceptos básicos del generador

Ángulo de rotación



Conceptos básicos del generador

Ángulo de rotación

- Cuando el ángulo del rotor se vuelve demasiado grande, la fuerza magnética no puede mantener el rotor en sincronismo.
- Bajo esta condición, se dice que el generador está fuera de sincronía (OOS) con el sistema de potencia.
- Cuando el generador pierde el sincronismo con el sistema de energía, lo más probable es que los relés lo desconecten.

Voltaje del generador al sistema

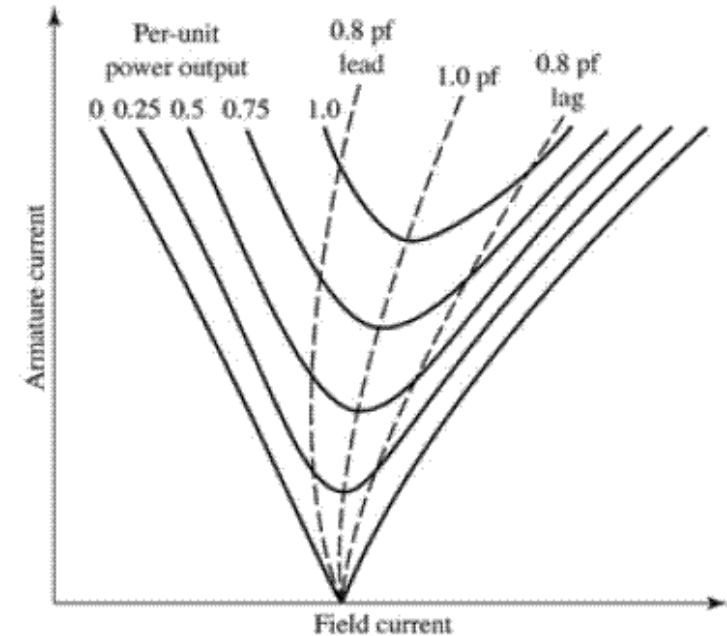
El voltaje de salida del generador depende de:

- número de vueltas en el devanado del estator (inducido)
- intensidad del campo magnético (el número de líneas de flujo producidas por el campo)
- Los generadores generalmente tienen voltajes de salida en el rango de 12 kV a 18 kV
- Los ingenieros de diseño equilibran los requisitos de voltaje de salida con aislamiento, costos de cobre, costos de acero y requisitos mecánicos

Conceptos básicos del generador

Características de funcionamiento del generador

- **curvas en V** mostrar la relación entre la corriente de campo y la corriente de armadura para diferentes niveles de potencia de salida
- El ajuste de la corriente de campo (suministrada por el excitador) cambia la salida VAR (factor de potencia) del generador

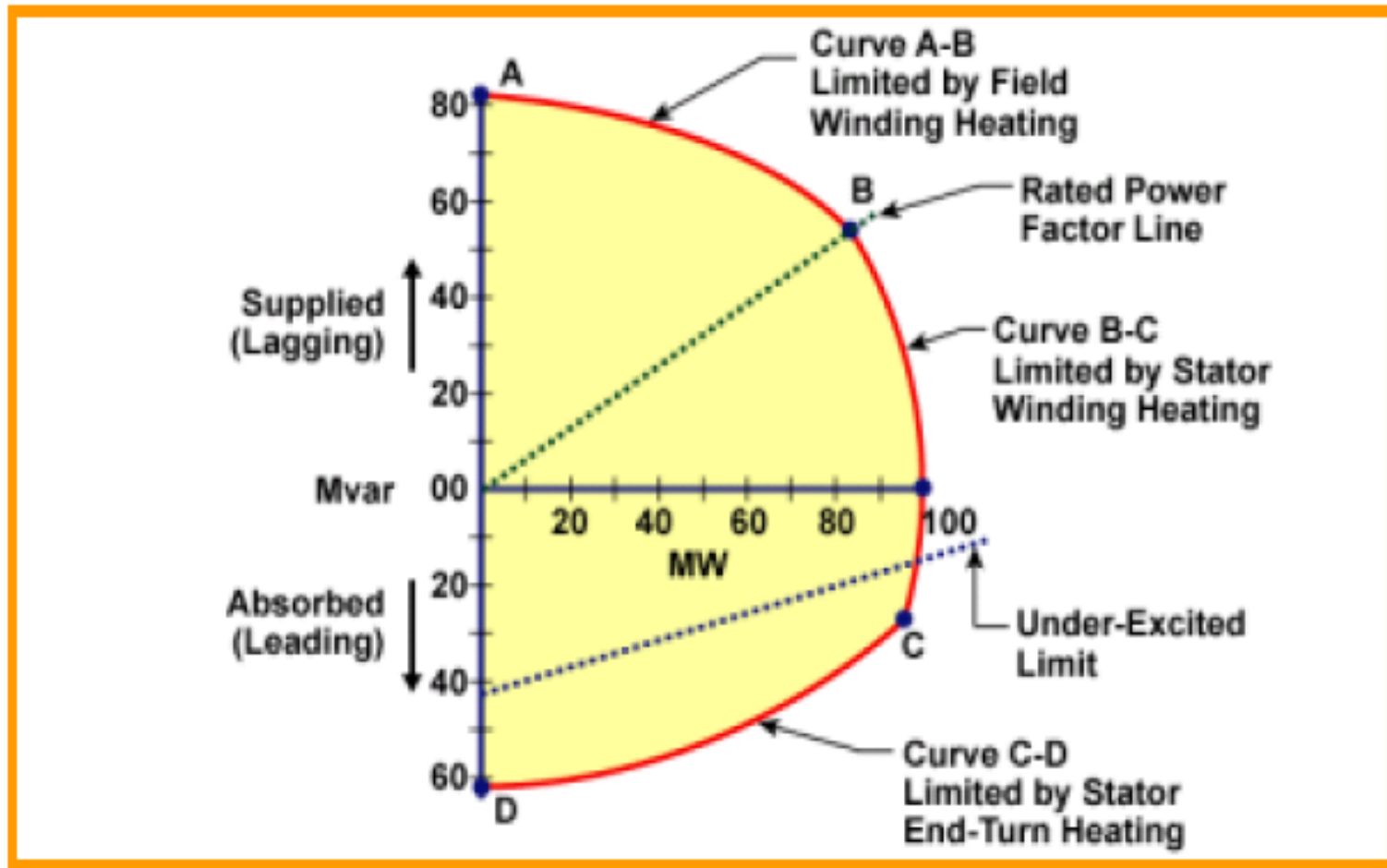


Curva característica del generador (curva D)

- El ***Curvas características del generador*** mostrar la cantidad máxima de potencia real y reactiva que un generador puede proporcionar
- Las curvas características del generador también se denominan ***Curvas D***...por su forma
- La potencia máxima de salida depende de la refrigeración. Con frecuencia se muestran varias curvas dependiendo de los niveles de enfriamiento

Conceptos básicos del generador

Curva D



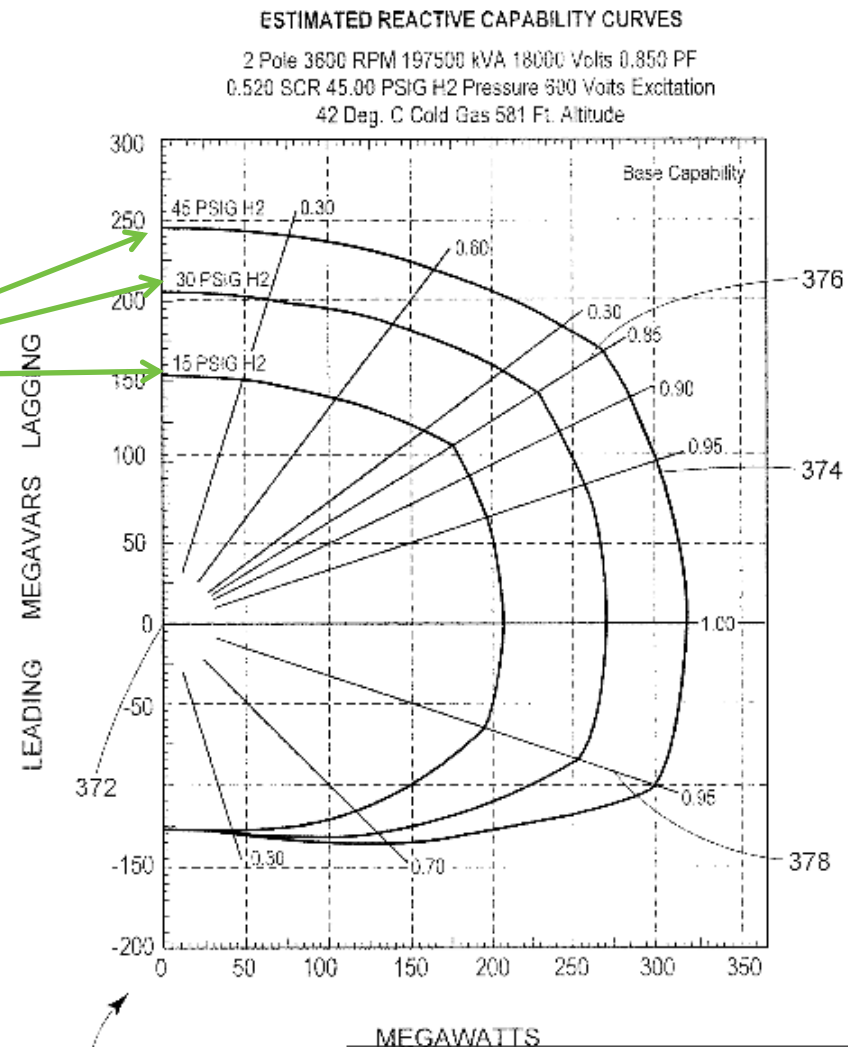
Conceptos básicos del generador

Características de funcionamiento del generador

Generador de curvas D

Capacidad con
enfriamiento diferente
niveles

Este generador se enfría
con gas hidrógeno.



Conceptos básicos del generador

Características de funcionamiento del generador

Controles del generador

- Regulador Automático de Voltaje (AVR)
- Control Automático del Generador (AGC)
- Estabilizador del sistema de potencia (PSS)
- Sistema de control digital (DCS)
- Interfaz hombre-máquina (HMI)
- Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA)

Conceptos básicos del generador

Características de funcionamiento del generador

Regulador Automático de Voltaje (AVR)

- Supervisa el voltaje en los terminales del generador
- Acepta la entrada del operador para un punto de ajuste de voltaje o VAR
- Ajusta automáticamente la corriente que el excitador alimenta al rotor para cumplir con el voltaje requerido o la salida VAR

Características de funcionamiento del generador

Control Automático del Generador (AGC)

- Un sistema para ajustar la potencia de salida de múltiples generadores en diferentes centrales eléctricas en respuesta a cambios en la carga
- Puede responder a cambios en la frecuencia del sistema: si la frecuencia disminuye, indica a los generadores que suministren más energía
- Puede responder a objetivos de despacho económico para minimizar los costos generales de generación

Conceptos básicos del generador

Características de funcionamiento del generador

Estabilizador del sistema de potencia

- Un sistema de control que funciona con el AVR y Exciter
- Supervisa los voltajes de salida en busca de oscilaciones del sistema que puedan afectar la estabilidad
- Proporciona una señal al excitador para contrarrestar las oscilaciones

Características de funcionamiento del generador

Sistema de control distribuido (DCS)

- Un sistema de control que se coordina con elementos de control en toda la estación generadora
- Los operadores usan el DCS para monitorear y controlar varios procesos en toda la planta, incluido el suministro de combustible, el funcionamiento de la caldera, la presión de la turbina, la temperatura, la salida del generador y los controles de contaminación de escape.

Características de funcionamiento del generador

Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA)

- Las entradas, salidas y controles de toda la planta se convierten en señales analógicas o digitales
- Las señales están conectadas a una unidad SCADA central
- Los datos del SCADA se transmiten por teléfono, microondas o equipo de comunicaciones de fibra óptica a un centro de control u operaciones.
- Los operadores del sistema pueden monitorear, analizar datos y enviar señales de control a la planta o subestación a través del sistema SCADA

Turbinas y Conversión de Energía

El eje del generador está conectado y girado por el *Fuerza motriz* -generalmente un *Turbina*

- Principales Tipos de Turbinas utilizadas en Generación
 - Turbina de vapor
 - Turbina de Combustión
 - turbina de agua
 - Turbina eólica

Turbinas y Conversión de Energía

- Una turbina convierte la fuerza motriz de alta presión en energía mecánica que convierte el rotor del generador
- La eficiencia de la turbina es una función de la diferencia entre la *alta presión* entrando y el *baja presión* saliendo. (y un montón de otros factores)
- La velocidad de la turbina se controla mediante el equilibrio entre la energía mecánica que entra y los vatios que salen.

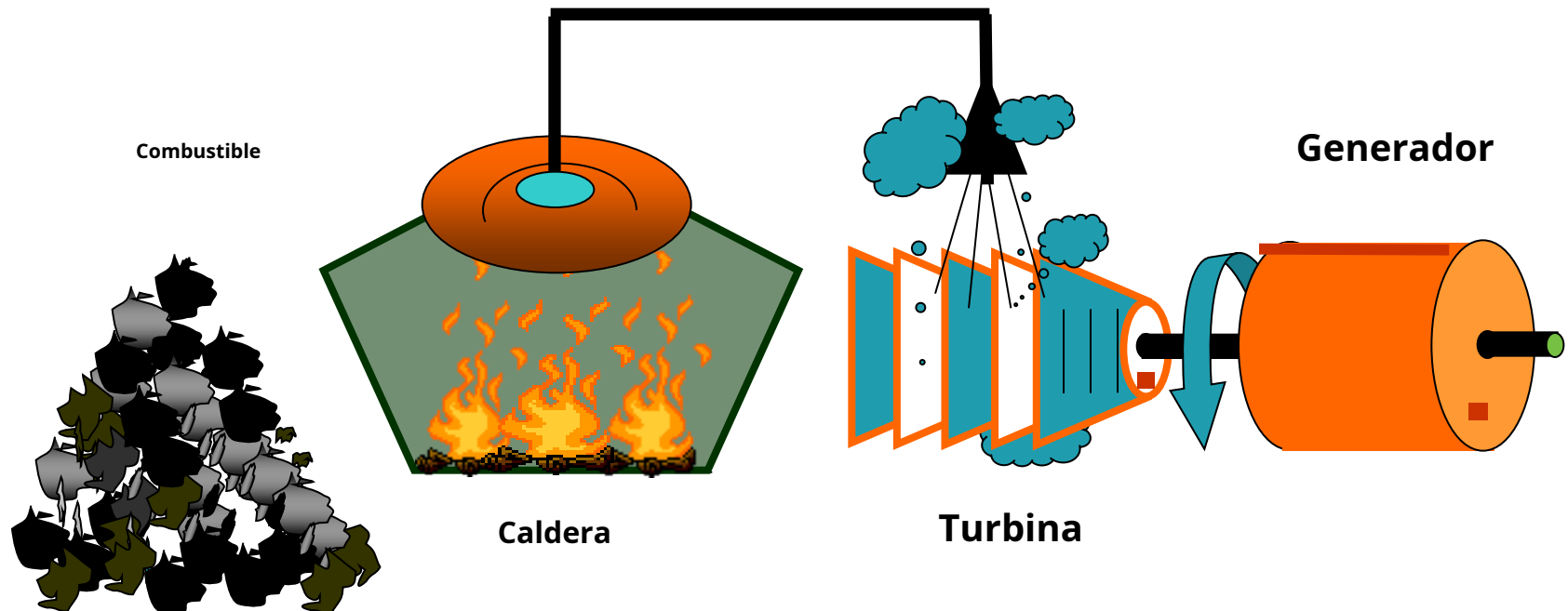
Tipos de Turbinas - Vapor

- **Turbinas de vapor**—El vapor, producido por la combustión (carbón, petróleo, gas, residuos), la energía nuclear, solar o geotérmica impulsa la turbina
- Uso de plantas de vapor **múltiples turbinas** con presiones y temperaturas de entrada y salida variables para maximizar el uso de energía

Generación Térmica

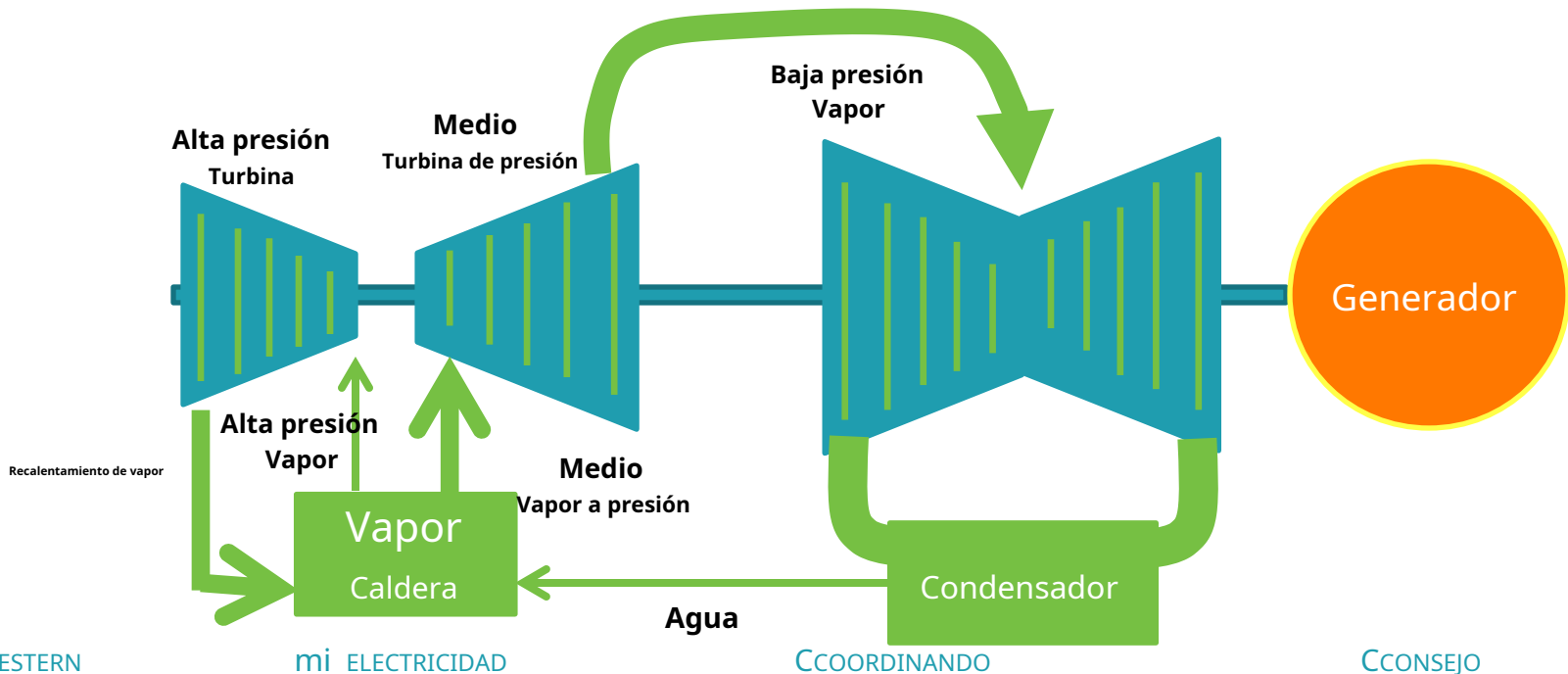
Caldera de vapor

Carbón, gas, petróleo, nuclear, biomasa, biogás, calor residual, geotermia



Tipos de turbinas: vapor

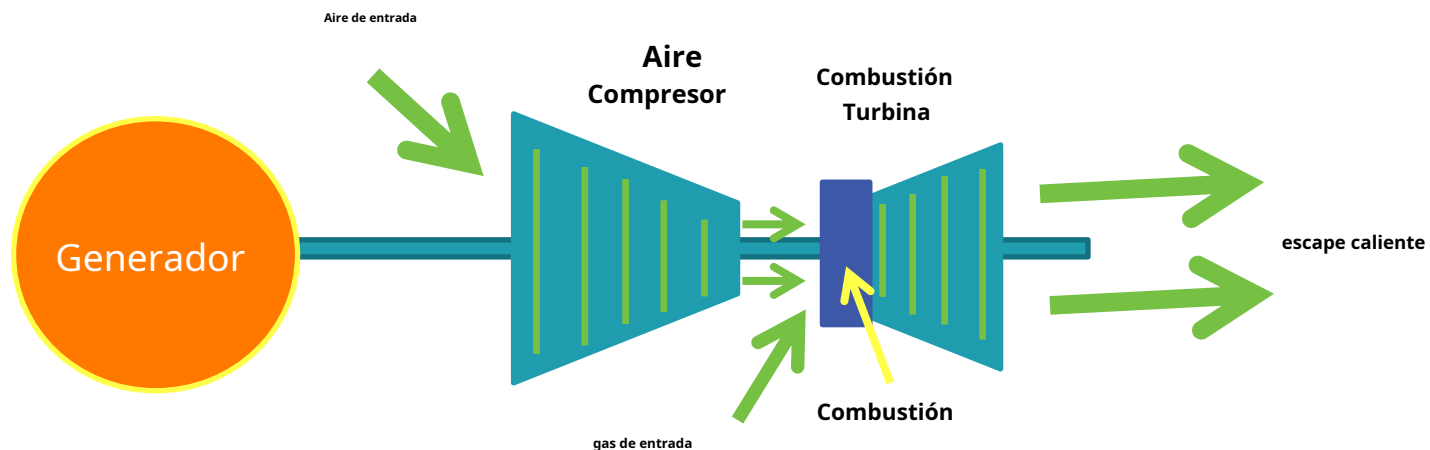
Se puede usar una combinación de turbinas de alta, media y baja presión para capturar la mayor cantidad de energía posible del vapor.





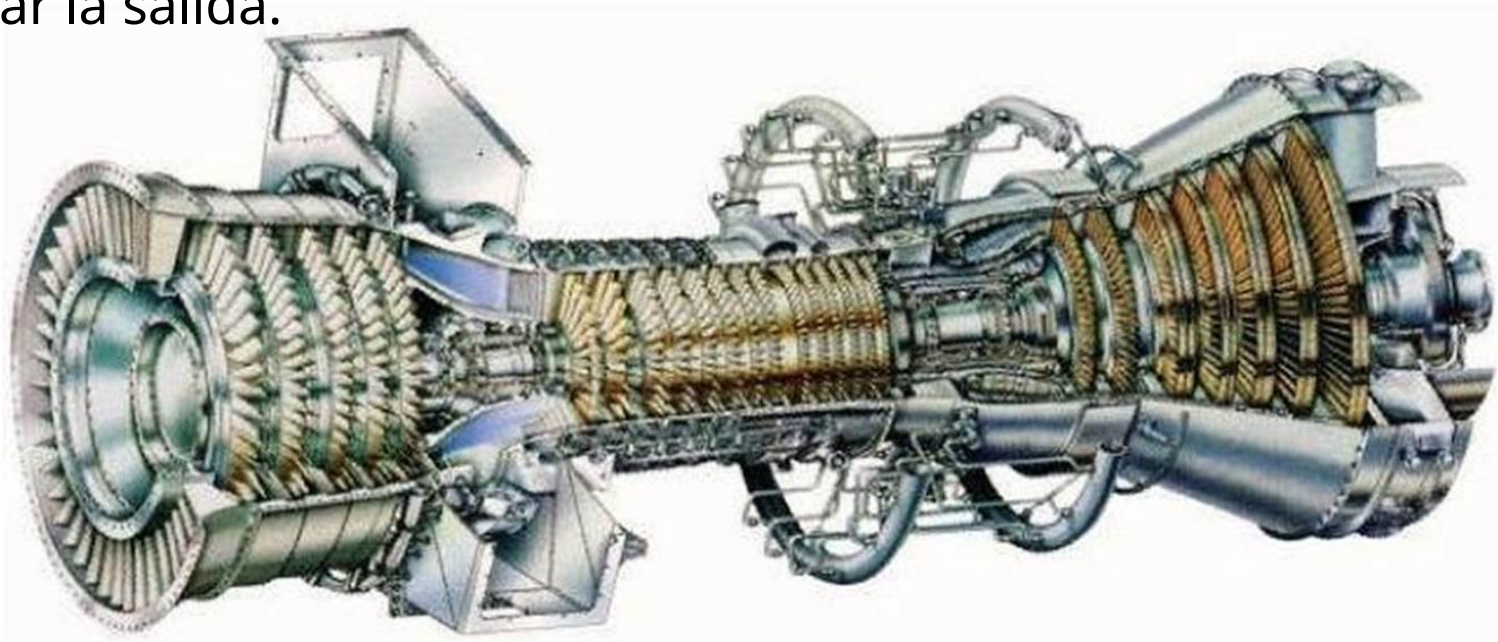
Tipos de turbinas - Combustión

Turbinas de Combustión-Una mezcla de aire comprimido y combustible se enciende y se expande a través de la turbina.



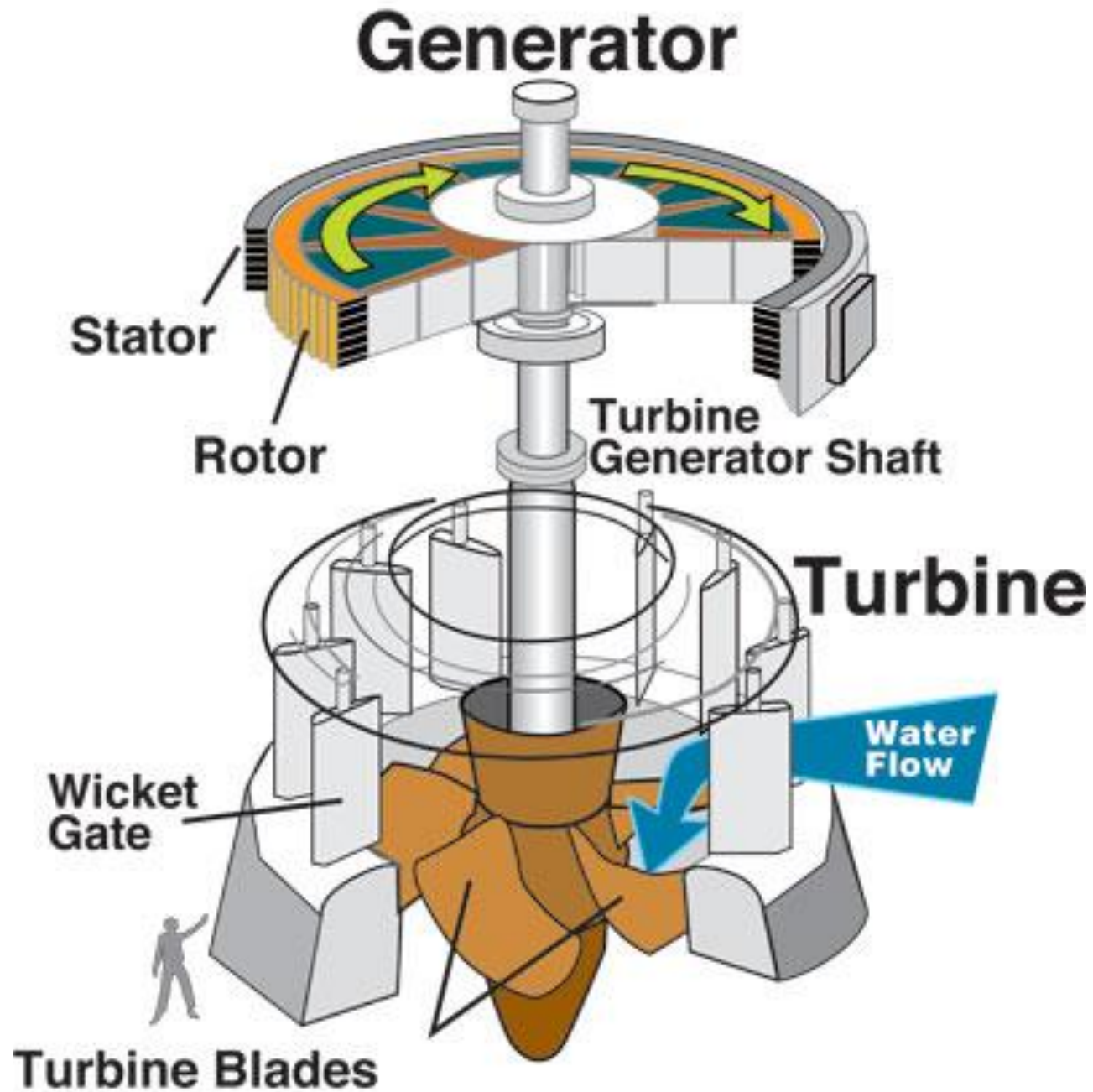
Tipos de turbinas - Combustión

Turbinas de Combustión—se ven afectados por la temperatura y la presión del aire de entrada. El enfriamiento de etapa intermedia del aire comprimido y la inyección de vapor se pueden usar para optimizar la salida.



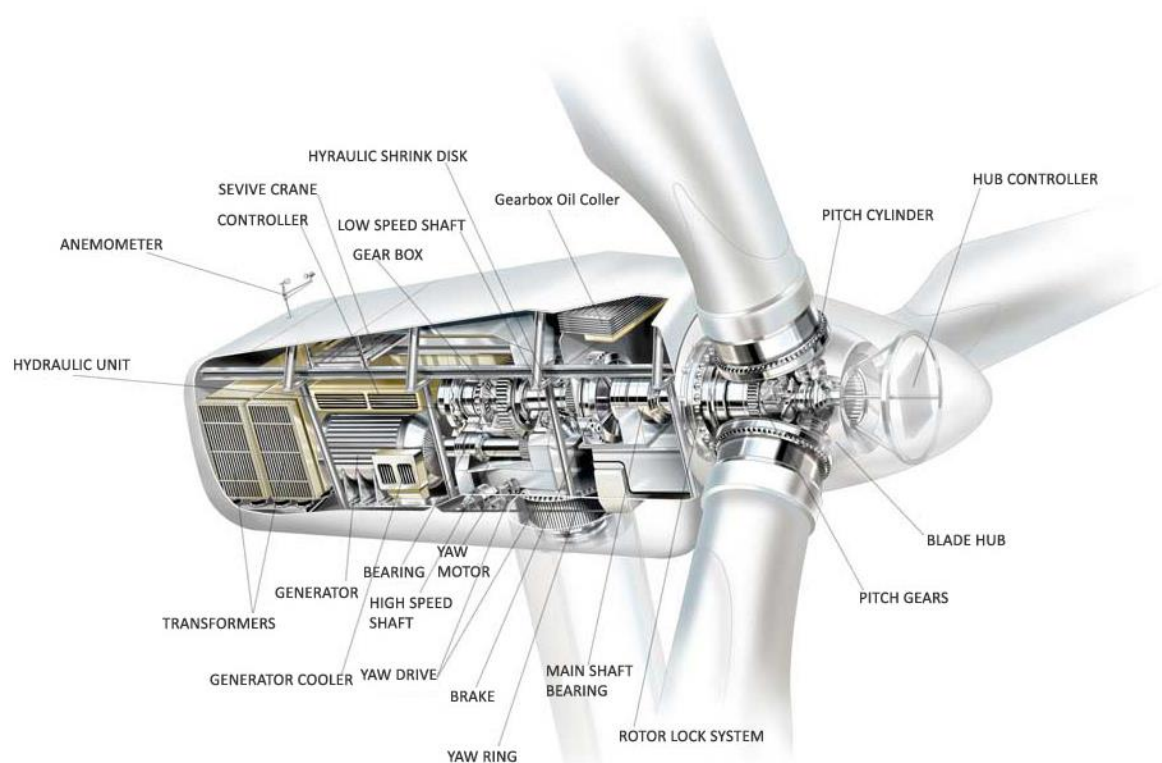
Tipos de turbinas: hidroeléctrica

- **Turbinas Hidroeléctricas**— El agua que fluye de las elevaciones más altas a las más bajas impulsa la turbina
- La salida depende de la presión y el volumen... y las restricciones de flujo



Tipos de turbinas

Turbinas de viento—Los aerogeneradores modernos están diseñados para maximizar la producción de energía.



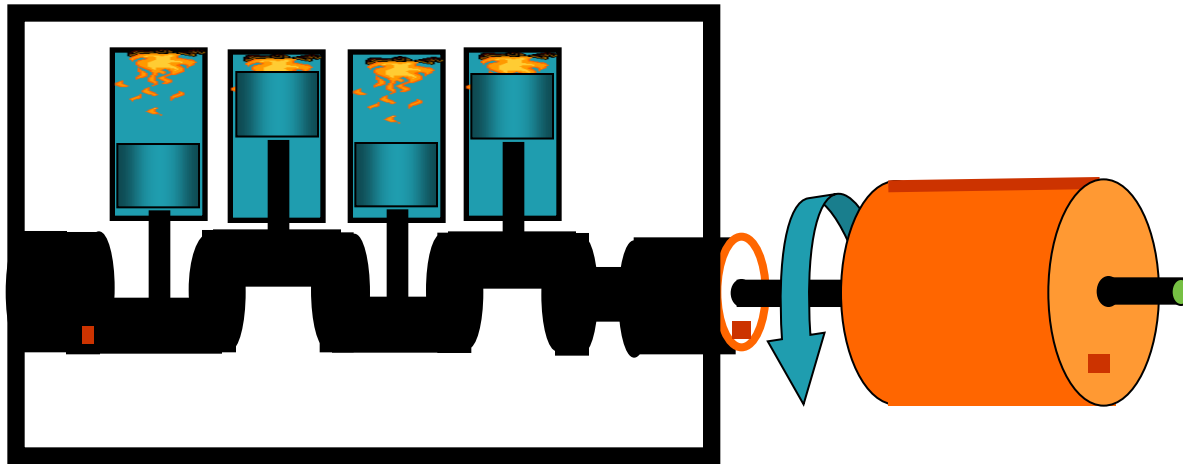
Motores de combustión interna

- **accionado por pistón**o**Motores alternativos de combustión interna**también se utilizan para alimentar generadores
- La mayoría de los grandes motores de combustión interna utilizados para generación utilizan combustible diésel

Conceptos básicos del generador

Generación Térmica

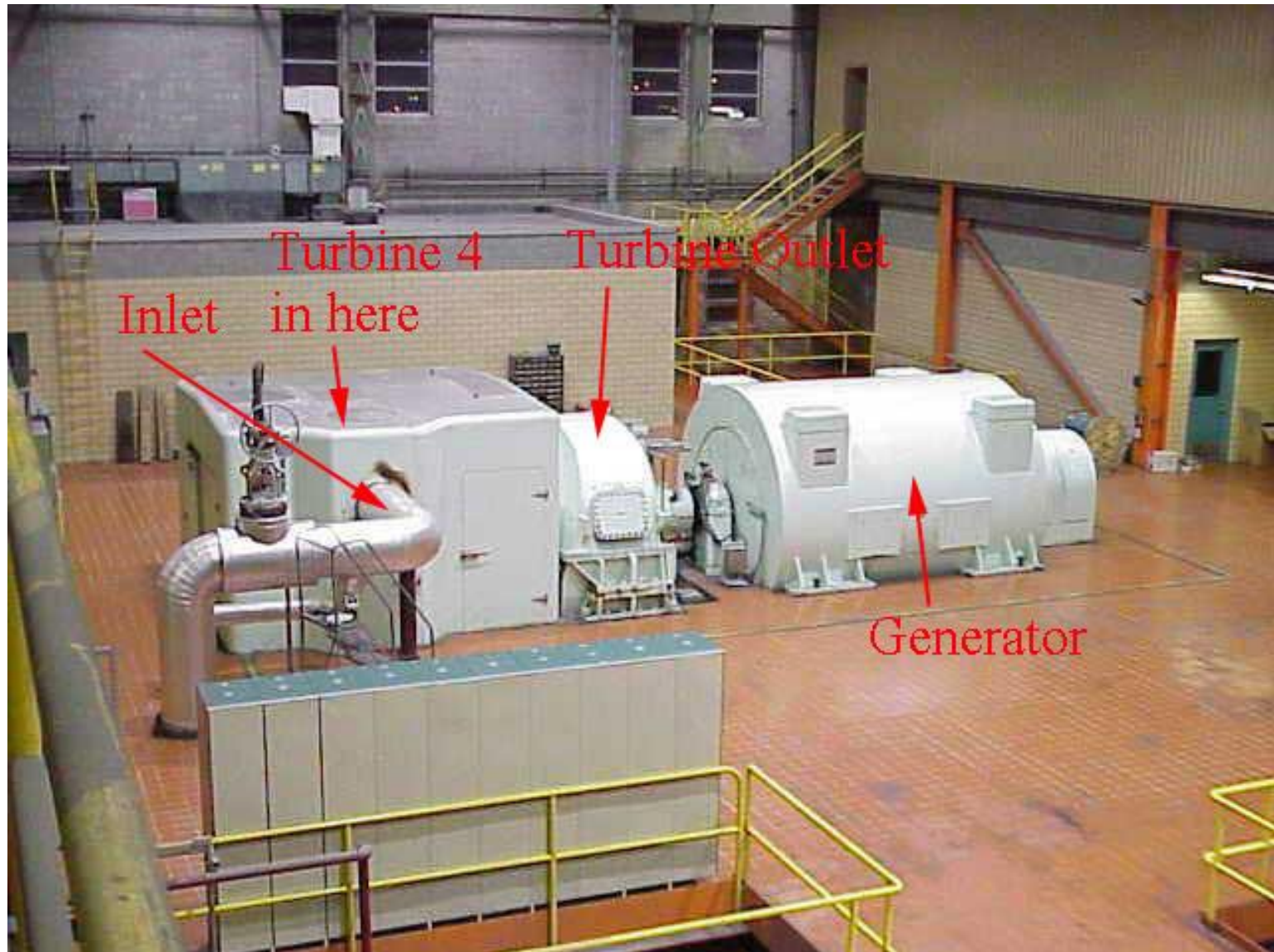
Combustión interna



Impulsado por pistón

Motor diesel

Generador













Conversión de energía

Conversión de energía

Turbinas y Conversión de Energía

Otros métodos de conversión de energía sin rotación incluyen:

- **fotovoltaica**–los fotones del sol golpean el panel solar y liberan electrones de los átomos. Los electrones liberados fluyen en el circuito.
- **Baterías**–la energía química almacenada en la batería se convierte en electricidad a medida que los electrones fluyen de un terminal al otro... a través del circuito y de regreso

Conversión de energía

Turbinas y Conversión de Energía

Continuado...

- **Pila de combustible**–El combustible de gas natural reacciona con el oxígeno en una membrana dentro de la celda, los electrones van en una dirección creando una corriente
- **termoiónico, Par termoeléctrico, Piezoeléctrico, Magneto-hidro-dinámico** – estos no tienden a ser comercialmente viables a gran escala

Fuentes de energía

Fuentes de energía

Para producir electricidad se necesita una fuente... Las fuentes de energía incluyen

- Sol
- Tierra
- Luna
- Estrellas

Fuentes de energía

Sol

- **Ligero** -es utilizado por las plantas (fotosíntesis) para convertir el CO₂ en Carbón, Petróleo, gas natural, Madera, maíz, etc. que pueden ser utilizados como **combustible**
- **Ligero** -se puede convertir directamente en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos o mediante procesos solares térmicos
- **Calor** -evapora el agua y la eleva a ríos y lagos más altos donde se puede utilizar en **Hidro**Generación
- **Calor** -hace que sople el viento, que se puede utilizar en **Viento**generadores y **Ola**generación de energía

Fuentes de energía

Sol

- **Carbón, Petróleo y Gas**–son llamados *Combustibles fósiles* fueron creados hace mucho tiempo y atrapados en la tierra
- *Biomasa, madera, residuos* y otros combustibles cosechados tales como *Etanol*–a veces se les llama renovables porque podemos crecer más

Fuentes de energía

Tierra

- **Rotación** -provoca un calentamiento desigual del aire y ayuda a crear el viento y las olas
- **Calor** -de puntos calientes en la corteza terrestre cerca de la superficie se puede utilizar para la energía geotérmica
- **Elementos Radiactivos**-puede ser extraído y refinado y utilizado para la energía nuclear

Fuentes de energía

Luna

- **acción de la marea** -causada por la luna que orbita alrededor de la tierra es la fuente de generación de energía de las olas y las mareas

Estrellas

- Los elementos pesados de la tierra y la luna son el resultado de estrellas anteriores que han cocinado su combustible nuclear y luego explotado.
- *“Somos polvo de estrellas”...carl sagan*

Fuentes de energía

Las cosas que NO son fuentes de energía incluyen...

- Baterías - Almacenamiento de bombas
- Aire comprimido - Hidrógeno
- Transformadores - Generadores
- ¿¿¿Otros???
- Estos dispositivos almacenan o convierten energía...
no son la fuente de energía

Esquema del curso

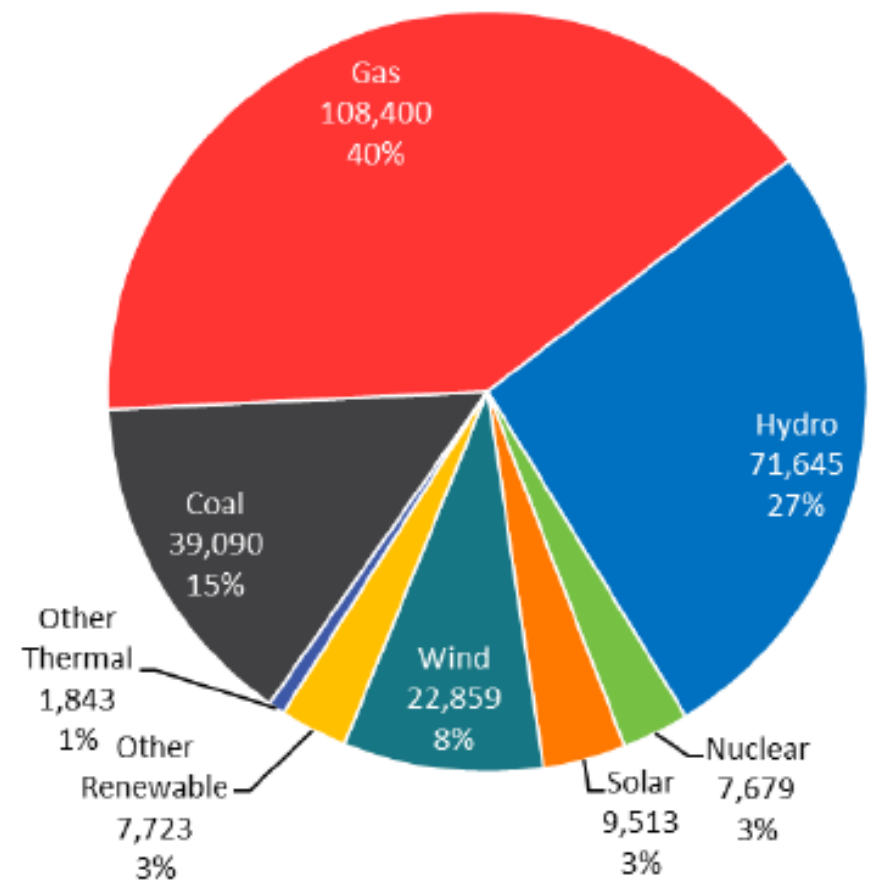
1. Introducción al WECC
2. Fundamentos de la Electricidad
3. Descripción general del sistema de energía
- 4. Principios de Generación**
5. Descripción general de la subestación
6. Transformadores
7. Transmisión de potencia
8. Protección del sistema
9. Principios de funcionamiento del sistema

Plantas Generadoras



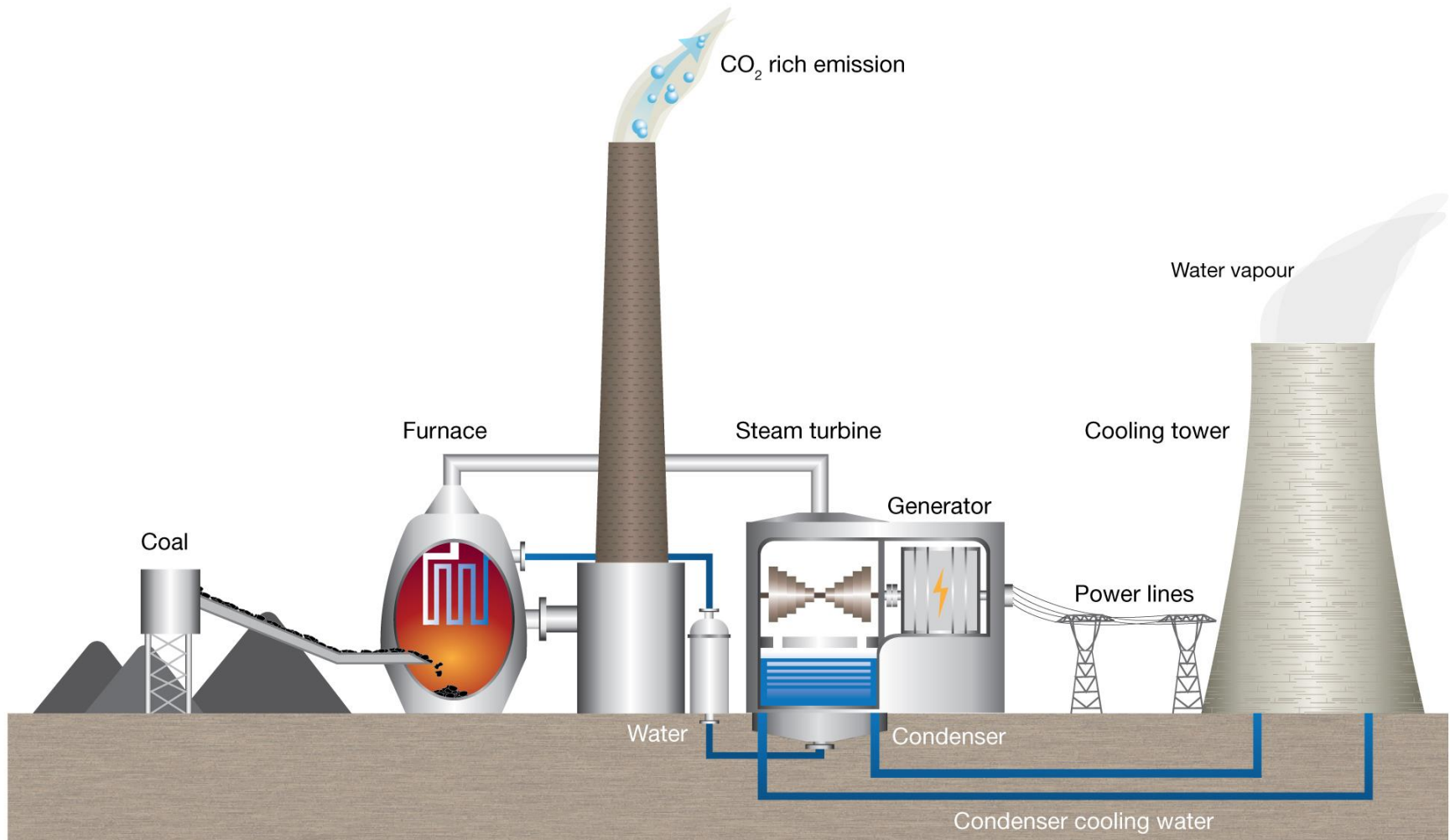
Generación

Nameplate Capacity, 2015 (MW)¹



Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón



© CO2CRC

Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón

- Carbón: subterráneo o extraído a cielo abierto
- Transporte: tren, camión o transportador
- Almacenamiento – Pila grande cerca de la planta
- Procesamiento: pulverizado y soplado en caldera

Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón

- Quema: el carbono en el carbón se une con dos átomos de oxígeno
- Cada tonelada de Carbón produce ~ 3 toneladas de CO₂...Y
alrededor de 1/4 de tonelada de Ceniza

...Y unos 2800 KWH de energía

Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón

- Una libra de carbón contiene alrededor de 14000 btu
- Tasa de calor típica $\sim 10,000\text{btu/kwh}$
- Dando 1.4 KWH de energía recuperable por libra
- Hacer funcionar una secadora de ropa durante aproximadamente una hora usa una libra de carbón... y crea 3 libras de CO₂

Plantas Generadoras

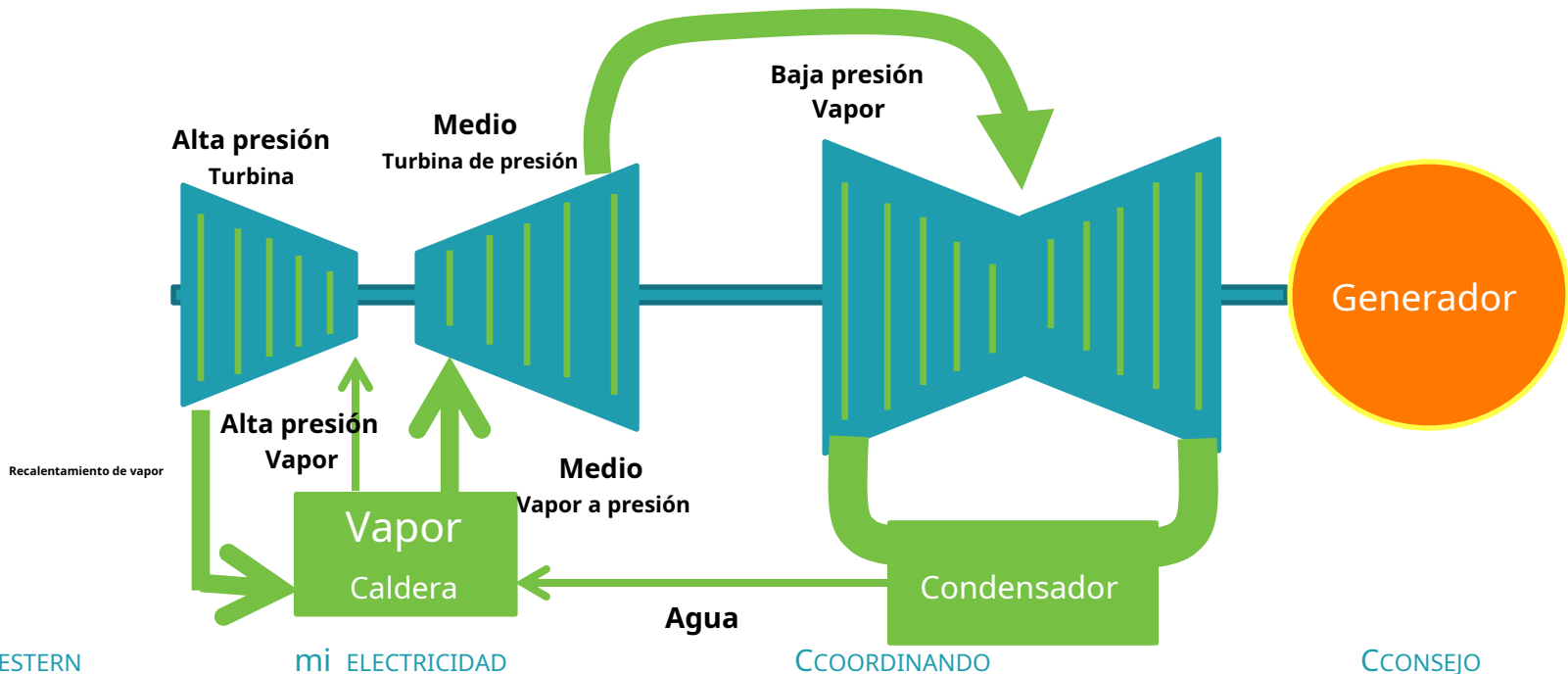
Plantas de Generación a Carbón

- Una central eléctrica de 1000 MW podría producir...
 - 24 horas * 1000MW = 24000MWH por día
- Y consumir...
 - 24000 MWH * 1000 KWH/MWH* 1 tonelada/2800 KWH = 8600 toneladas
- ¡Eso son 72 vagones de tren cargados por día!

Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón

- El carbón pulverizado se quema en la caldera
- El objetivo es extraer la máxima cantidad de calor de la combustión.



Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón

Caldera Moderna

- quema carbón
- Calienta el agua para crear vapor crítico-supercrítico
- Sobrecalienta el vapor y lo envía a HP Turbine
- Recalienta el vapor de retorno y lo envía a las turbinas MP y LP
- Calienta el agua del condensador en el Economizador y la devuelve a la caldera
- Calienta el aire entrante para la combustión.

Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón

- El agua en el sistema de vapor debe ser ultrapura para evitar que se ensucien o corroan los tubos y las turbinas.
- Para maximizar la eficiencia, se inyecta vapor en las turbinas a la presión más alta...
- y extrajo la parte posterior de la turbina LP a la presión más baja posible

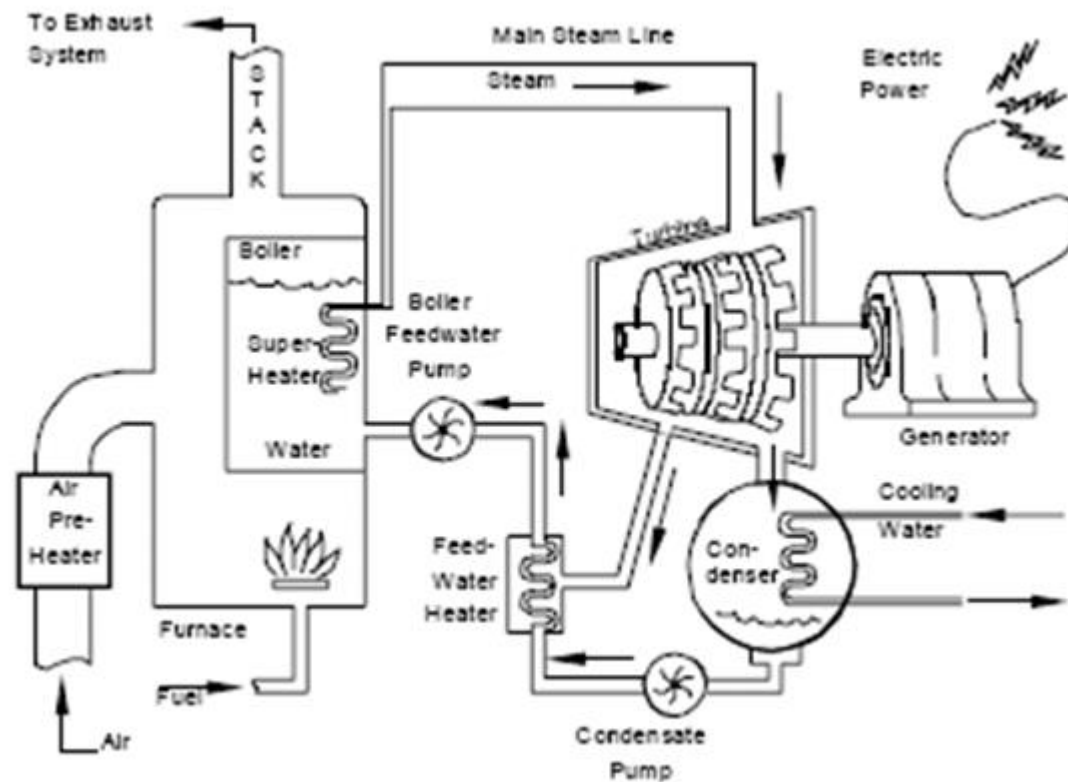
Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón

- Se utiliza un sistema de enfriamiento separado para enfriar y condensar el vapor gastado
- Con diferencia, la mayor parte del agua utilizada en una planta de vapor se encuentra en el sistema de agua de refrigeración.
- El penacho de vapor del sistema de enfriamiento a menudo es visible por millas

Plantas Generadoras

Generación de vapor térmico



Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón

El escape de combustión incluye

- SO_x (Azufre y Oxígeno – crea Lluvia ácida)
- NO_x (nitrógeno: crea PM10 y neblina regional)
- Rocas (polvo y ceniza)
- CO₂ (gas de efecto invernadero)
- Mercurio (nativo del carbón y la tierra, se transporta por el aire en el humo) afortunadamente en concentraciones muy pequeñas

Plantas Generadoras

Plantas de Generación a Carbón

El control de la contaminación incluye:

- Precipitadores electrostáticos: la electricidad estática atrae partículas contaminantes
- Bag-house: las bolsas de aspiradora gigantes filtran el aire
- SCR (convertidor catalítico selectivo) Rocíe amoníaco en el escape y luego envíelo a través de un convertidor catalítico
- Depurador: rocíe polvo de piedra caliza húmeda en el escape; reacciona con el NOx y el SOx.



Estación Cherokee – Carbón/Gas de Denver 700MW



Central eléctrica de carbón en Boardman, Oregón





Torre de enfriamiento

Plantas Generadoras

Unidades nucleares

- Manejo de combustible
- Fundamentos de los reactores nucleares
- Generación de vapor

Plantas Generadoras

Manejo de combustible

- Todo el combustible nuclear se almacena dentro del propio reactor nuclear.
- Cuando se agota el combustible, la unidad se apaga y se vuelve a cargar combustible.
- Esto se llama un ***corte de reabastecimiento de combustible*** suele combinarse con una parada de mantenimiento
- Las unidades nucleares requieren una parada de recarga de combustible aproximadamente cada 18-36 meses

Plantas Generadoras

Combustible nuclear (NewClear)

- El combustible nuclear es un compuesto de dióxido de uranio (UO_2) que consta de uranio natural (U-238) e isótopos de uranio, como el U-235
- El combustible cerámico viene en pequeños gránulos cilíndricos.
- Las barras de combustible contienen pilas de gránulos. Las barras de combustible tienen entre 12 y 14 pies de largo. Grupos de barras de combustible, llamados *manojos*, se montan verticalmente dentro del reactor

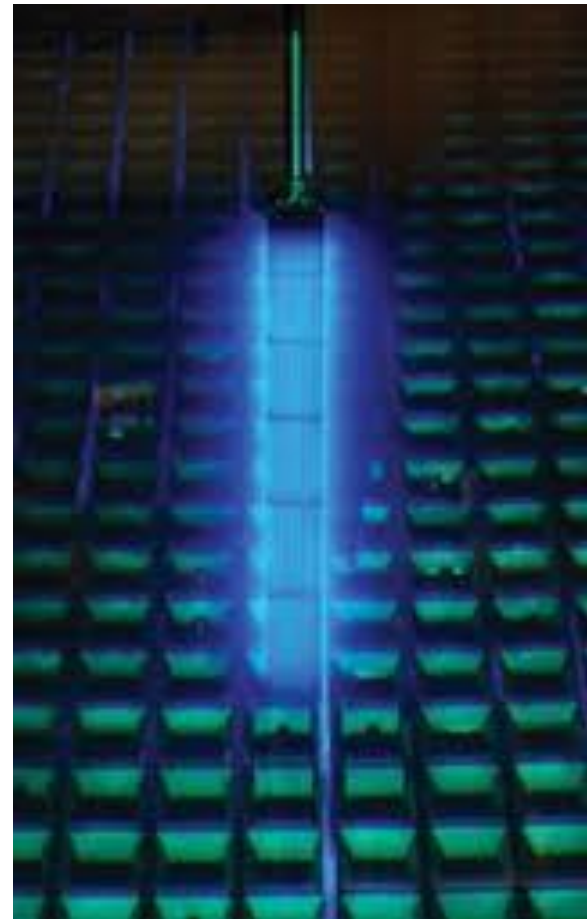
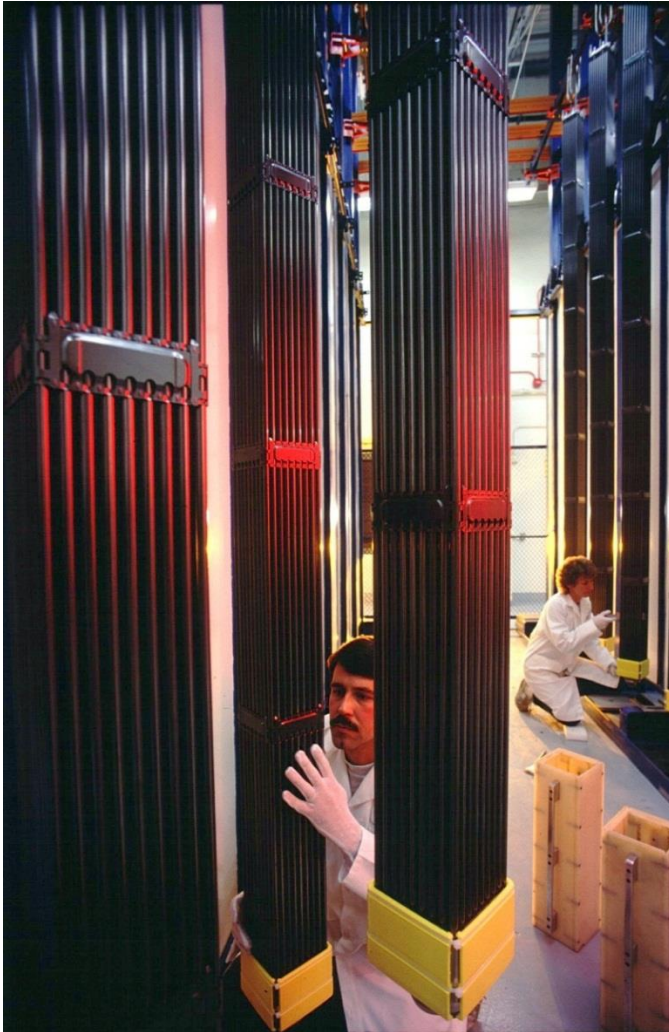
Plantas Generadoras

Pellets de combustible nuclear



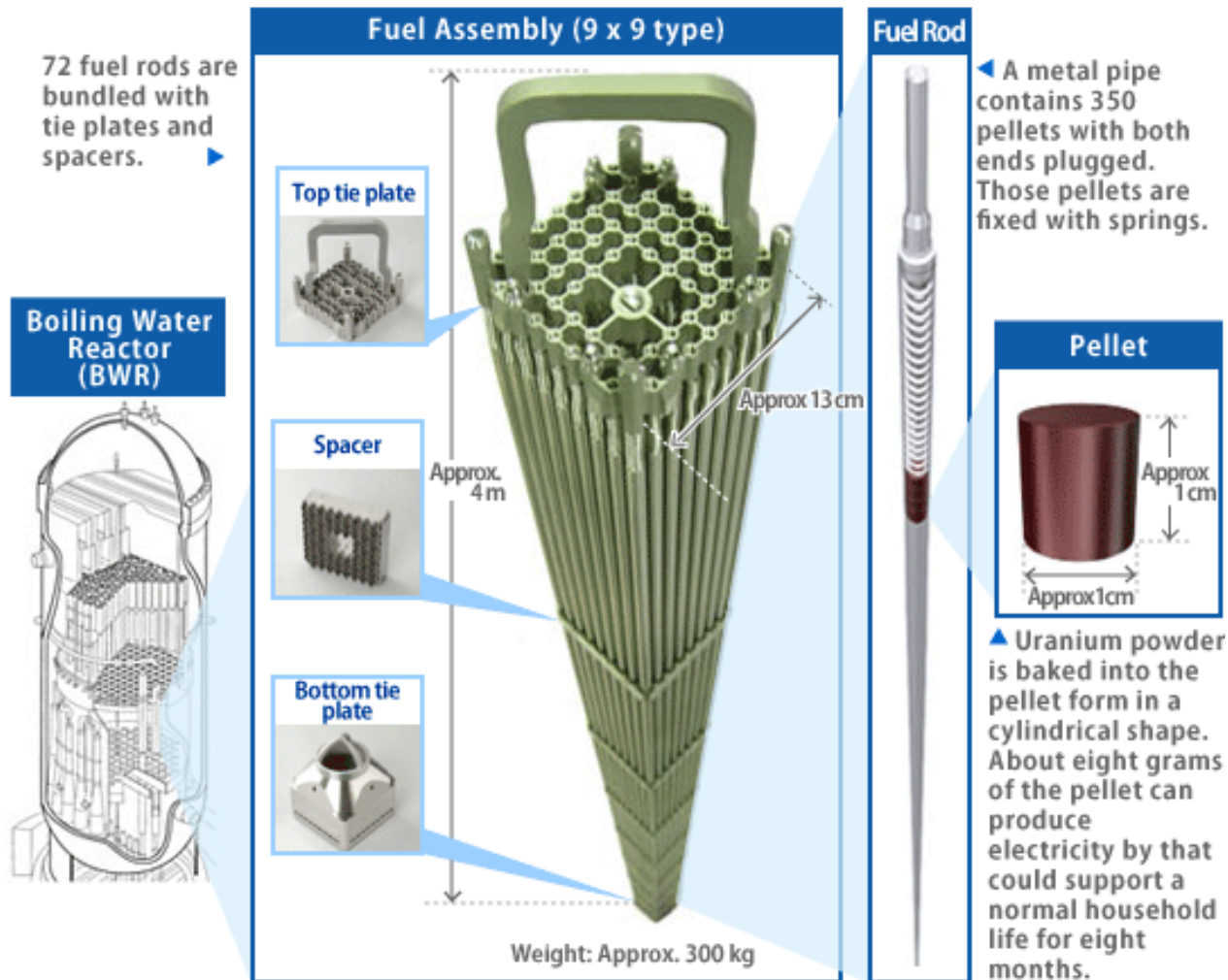
Plantas Generadoras

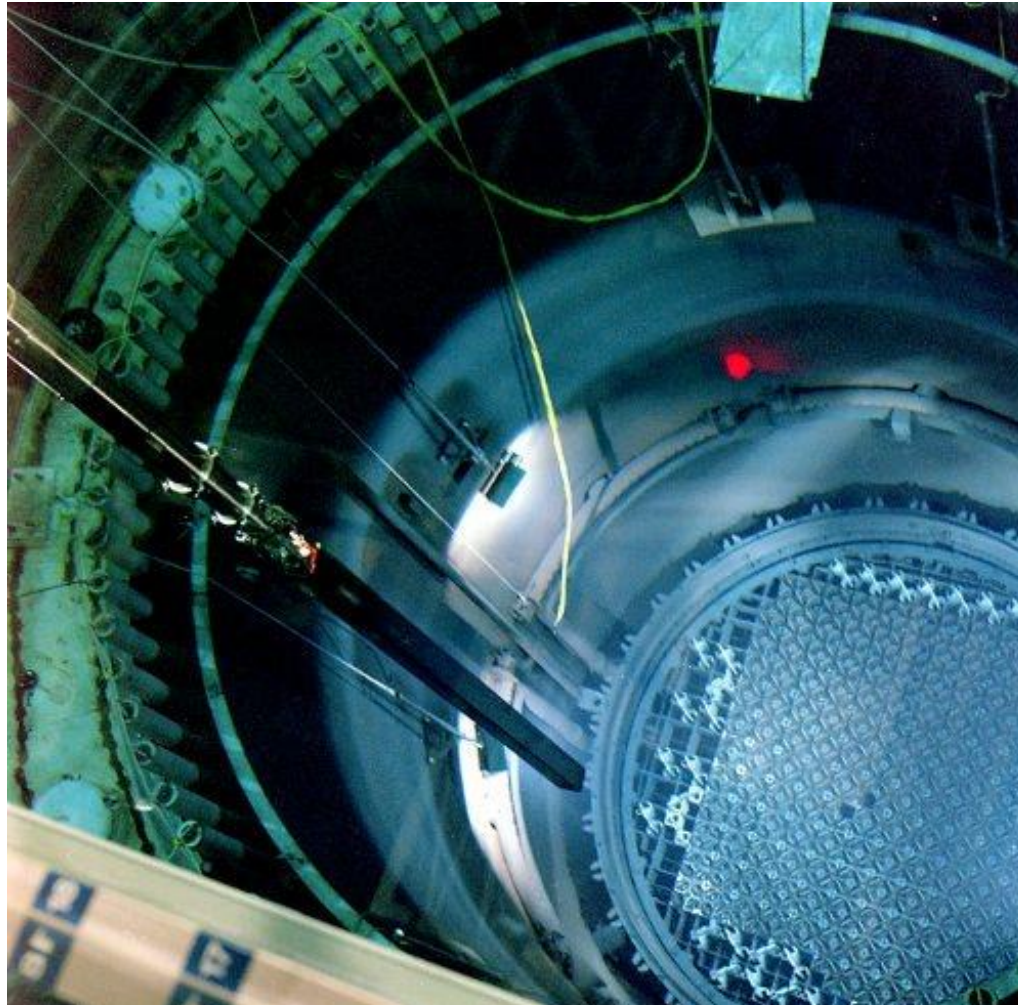
Barras de combustible nuclear (paquetes)



Plantas Generadoras

Barras de combustible nuclear (paquetes)

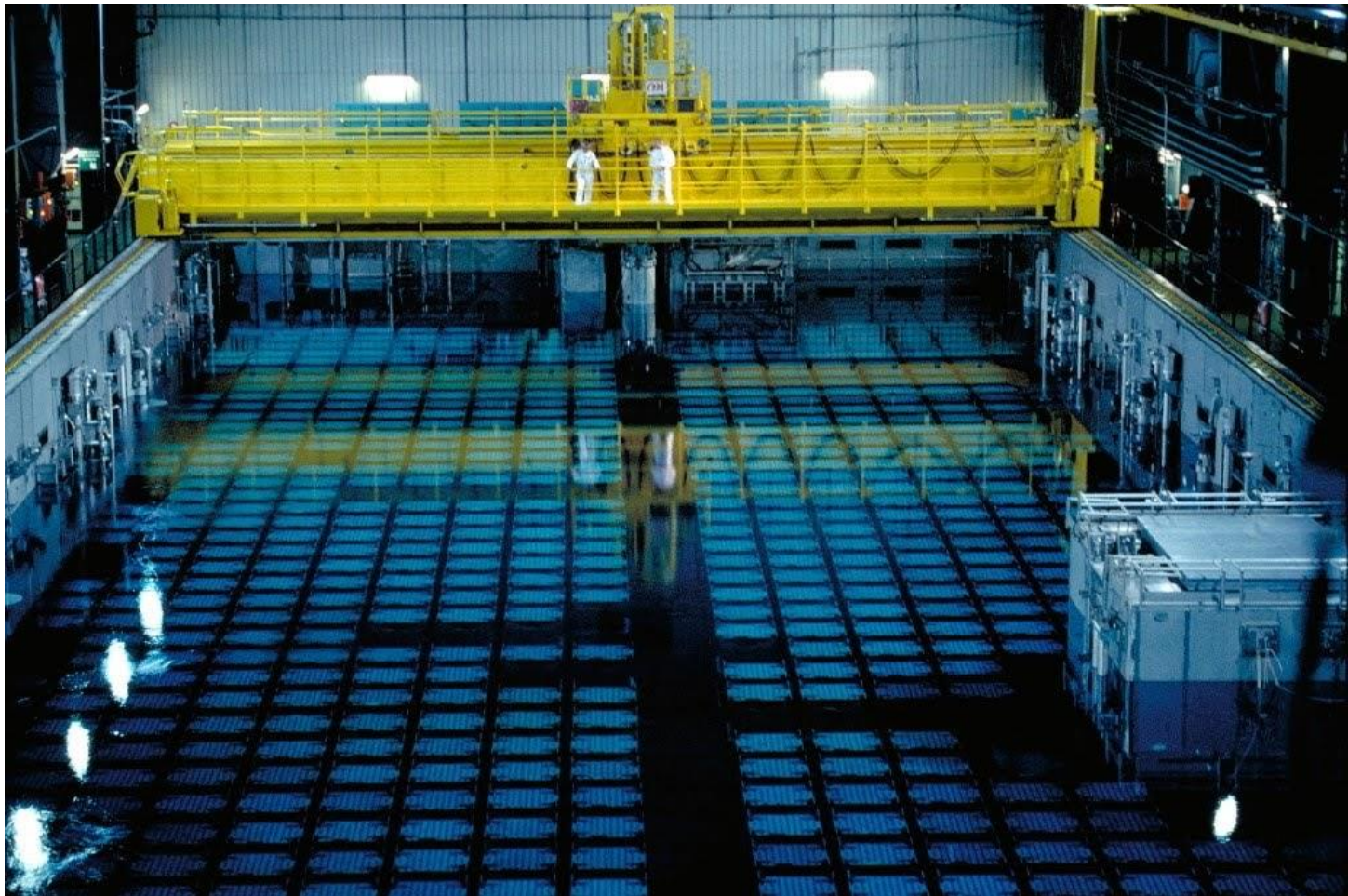




Núcleo del reactor



Piscina de almacenamiento de combustible



Almacenamiento de combustible gastado (usado)

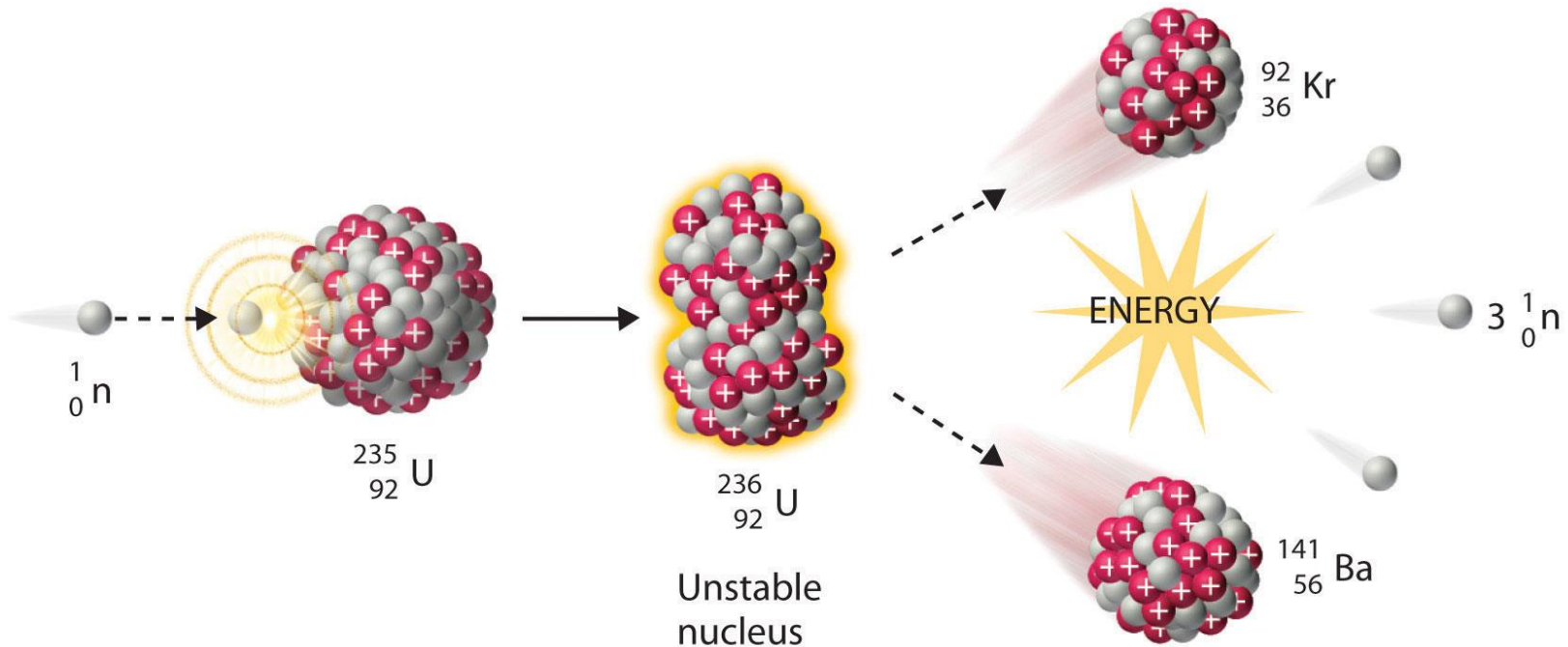
Plantas Generadoras

Fisión nuclear

- El calor requerido para producir vapor se genera en un reactor nuclear mediante un proceso llamado ***Fisión nuclear***
- Cuando un neutrón choca con un átomo de uranio, el núcleo se divide en numerosos fragmentos.

Plantas Generadoras

Fisión nuclear



Plantas Generadoras

Fisión nuclear

- Cada colisión libera una pequeña cantidad de energía en forma de calor ($\sim 177\text{MeV}$)
- Algunos fragmentos chocan con otros átomos, lo que hace que estos átomos se dividan y generen calor adicional.
- Dentro del reactor nuclear, millones de estas reacciones tienen lugar continuamente, creando grandes cantidades de calor que se utilizan para hervir el agua.

Plantas Generadoras

Fisión nuclear

Entonces, ¿cuánto tiempo tardan estas reacciones?

Dentro de 1 segundo, un neutrón puede resultar en 10,000 a 10,000,000 de otras reacciones.

Subcrítico, Crítico, Supercrítico

Plantas Generadoras

control nuclear

- La fisión debe ser controlada. Ciertos materiales, como el boro, el carbono y el gadolinio, pueden absorber neutrones y otras partículas.
- El control del reactor se logra con varillas hechas de materiales absorbentes de neutrones.
- Insertar una barra de control reduce la cantidad de neutrones en el reactor, reduciendo la cantidad de calor generado

Plantas Generadoras control nuclear

- Retirar una barra de control aumenta el número de neutrones disponibles para reaccionar
- Los reactores nucleares incluyen cientos de estas barras de control. La inserción completa de todas las varillas apaga la unidad. Esto se llama SCRAM

Plantas Generadoras

Generación de vapor nuclear

- El calor generado por las barras de combustible es absorbido por el agua que se bombea a través del reactor.
- Se utilizan dos diseños básicos de reactores nucleares:
 - Reactores de agua en ebullición (BWR)
 - Reactores de agua a presión (PWR)

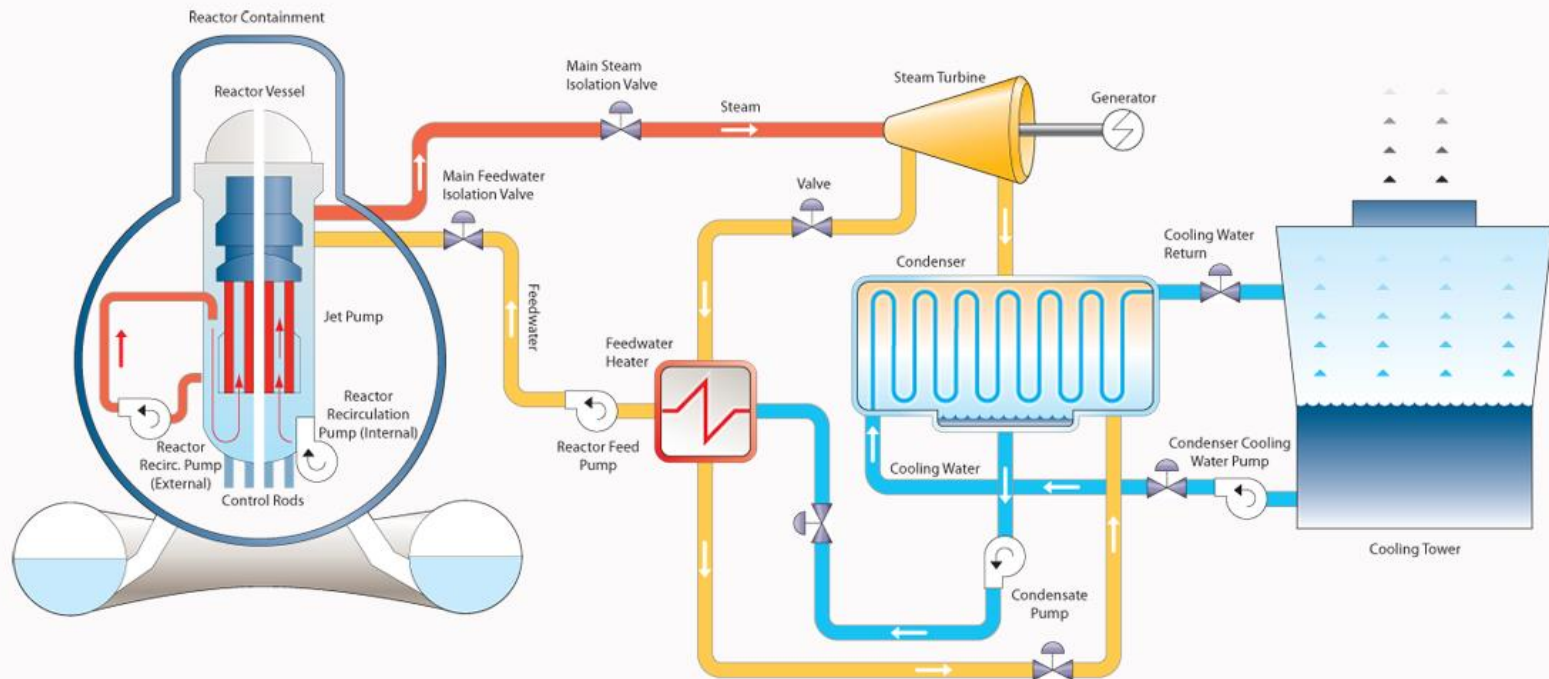
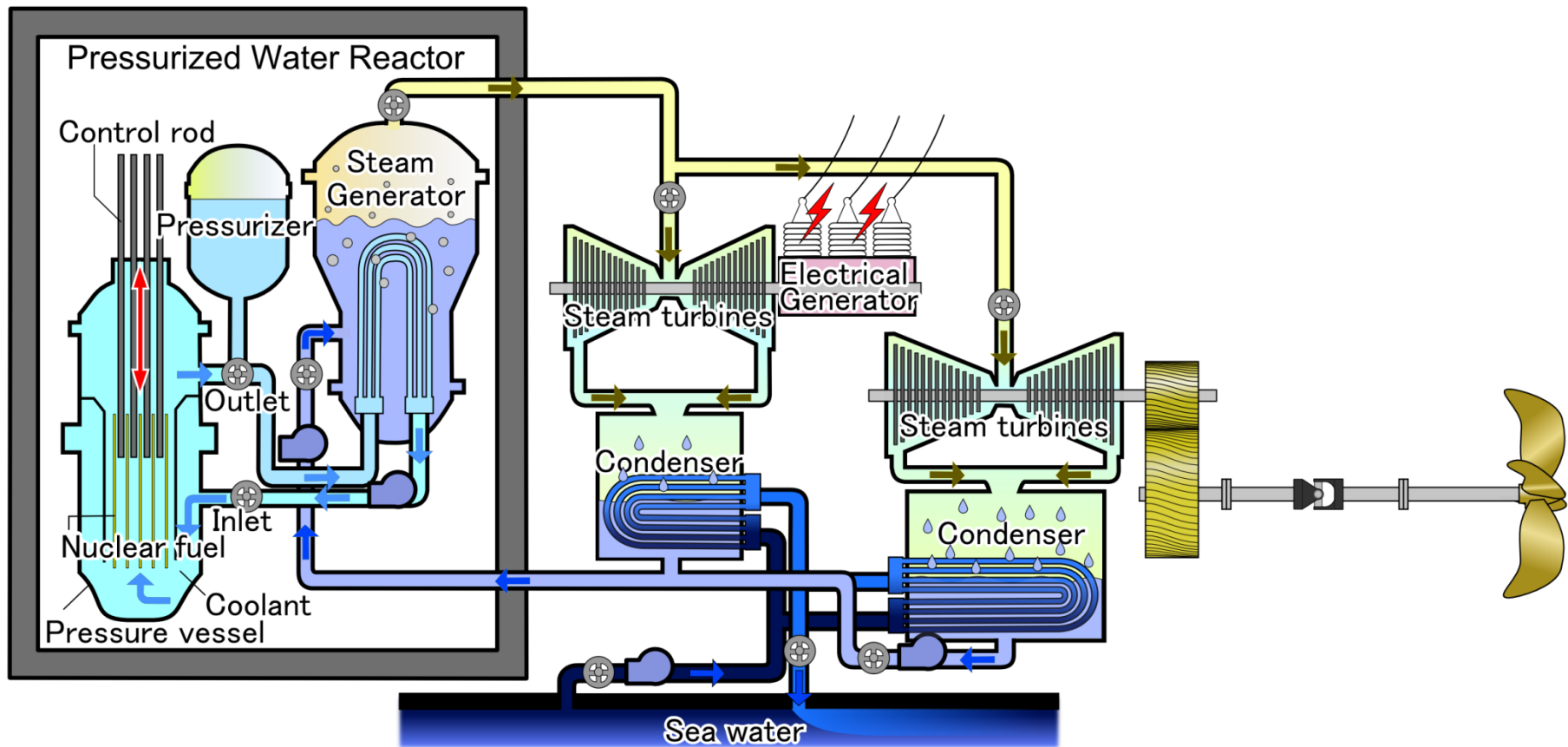


Diagrama de proceso del reactor nuclear de agua en ebullición (BWR)

Plantas Generadoras

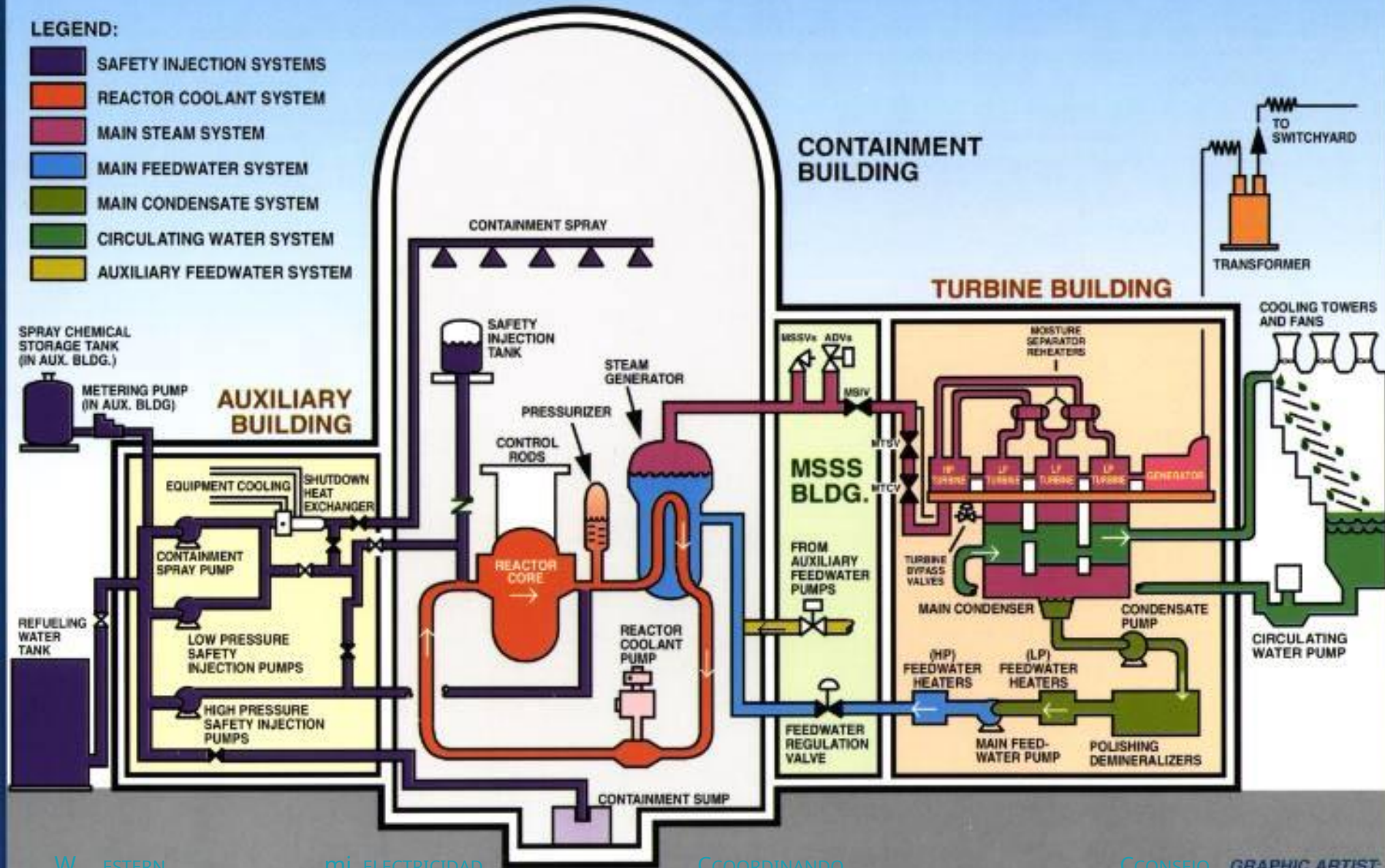
Reactor de agua a presión



GENERAL SYSTEM DIAGRAM OF PALO VERDE NUCLEAR GENERATING STATION

LEGEND:

- SAFETY INJECTION SYSTEMS
- REACTOR COOLANT SYSTEM
- MAIN STEAM SYSTEM
- MAIN FEEDWATER SYSTEM
- MAIN CONDENSATE SYSTEM
- CIRCULATING WATER SYSTEM
- AUXILIARY FEEDWATER SYSTEM





Estación Nuclear Palo Verde



Estación Nuclear Palo Verde

Courtesy of Palo Verde Nuclear Generating Station

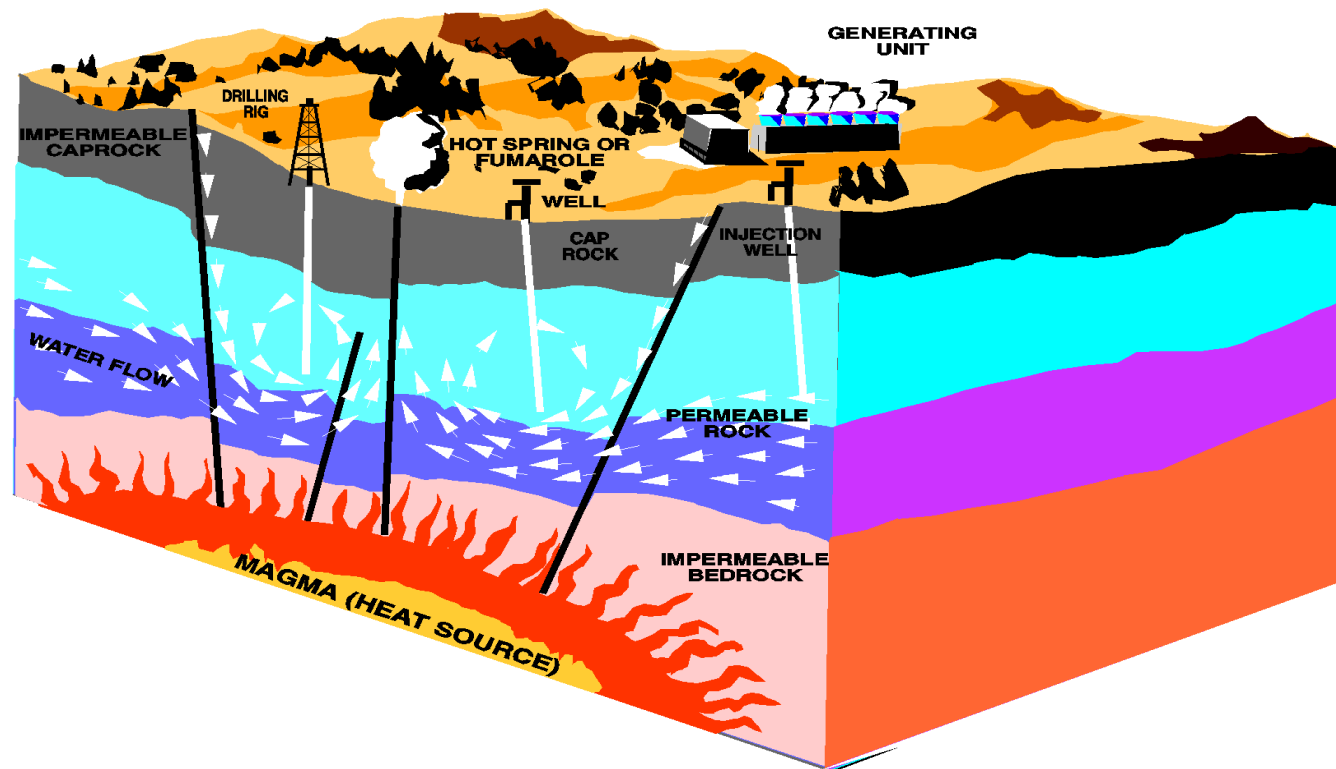
Plantas Generadoras

Unidades Geotérmicas

- La generación geotérmica se basa en la energía térmica que se origina en el núcleo de la Tierra y se transfiere a la superficie a través de fisuras mediante vapor o salmuera caliente.
- ***fisuras*** son roturas o grietas de considerable longitud y profundidad en la superficie terrestre
- ***Salmuera*** es agua saturada con sal y otros minerales. El calor extraído de la fuente de energía geotérmica genera vapor que impulsa la turbina.

Plantas Generadoras

Unidades Geotérmicas



Plantas Generadoras

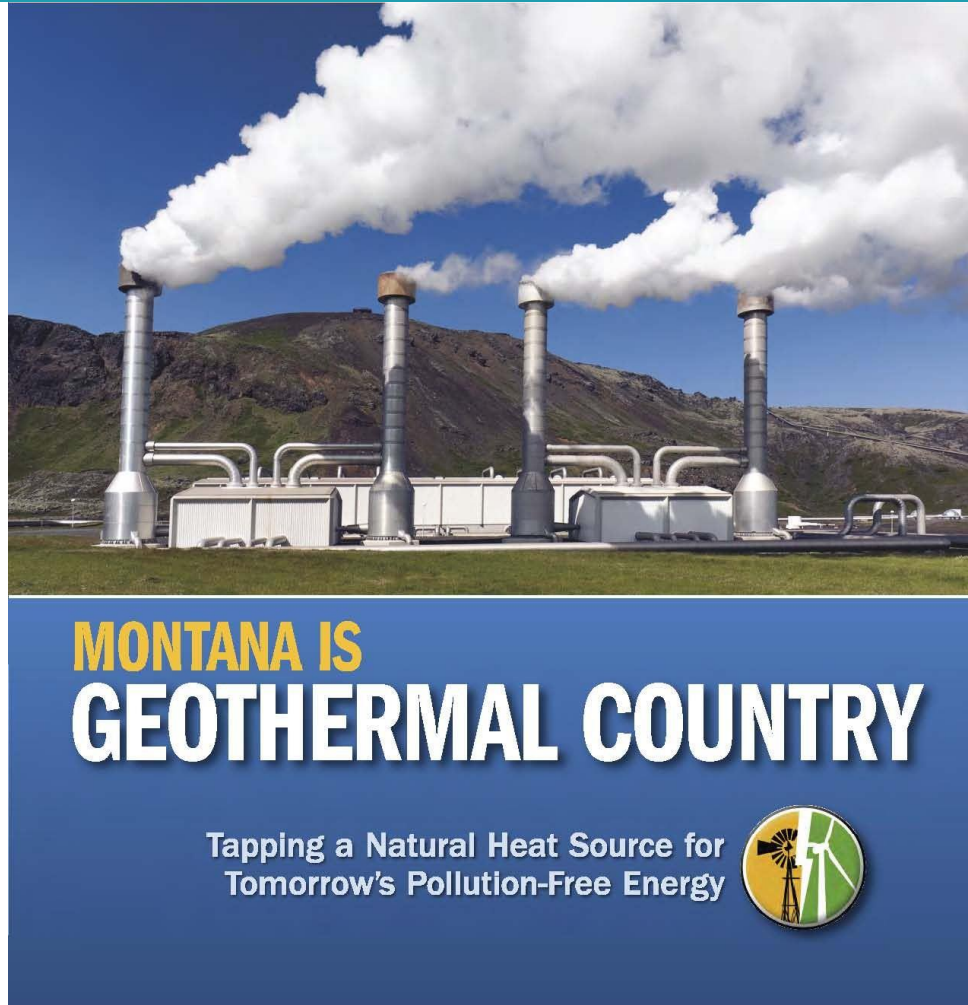
Unidades Geotérmicas

Hay dos tipos básicos de unidades geotérmicas:

- **vapor seco**—El vapor geotérmico sobrecalentado impulsa directamente los generadores de turbinas y luego se condensa, enfría y reinyecta en la tierra.
- **vapor húmedo**—hay dos enfoques disponibles:
 - La salmuera caliente fluye naturalmente hacia los pozos donde la liberación de presión provoca la ebullición. Comúnmente se afirma que el agua se "flashea" en vapor. El vapor impulsa la turbina de vapor de baja presión
 - La salmuera calienta un fluido secundario (de trabajo) con una temperatura de ebullición más baja que el agua. Luego, el vapor del fluido secundario en ebullición impulsa la turbina.

Plantas Generadoras

Unidades Geotérmicas



Plantas Generadoras

Unidades Geotérmicas

La capacidad de desarrollo depende de...

- Cercanía a la superficie
- Disponibilidad de agua
- Acceso a la Red
- Preocupaciones ambientales
- En los Estados Unidos, este tipo de fuente de energía se limita a áreas en el tercio occidental del país donde las condiciones de vapor favorables (80-90 por ciento de humedad) lo hacen factible.

Plantas Generadoras

Unidades Hidroeléctricas

- La generación hidroeléctrica es una fuente grande e importante de electricidad
- La producción de la planta es proporcional a **Cabeza** (qué tan lejos cae el agua)
- Y para **tasa de flujo** (la cantidad de agua que puede pasar por un punto en un tiempo determinado)

Plantas Generadoras

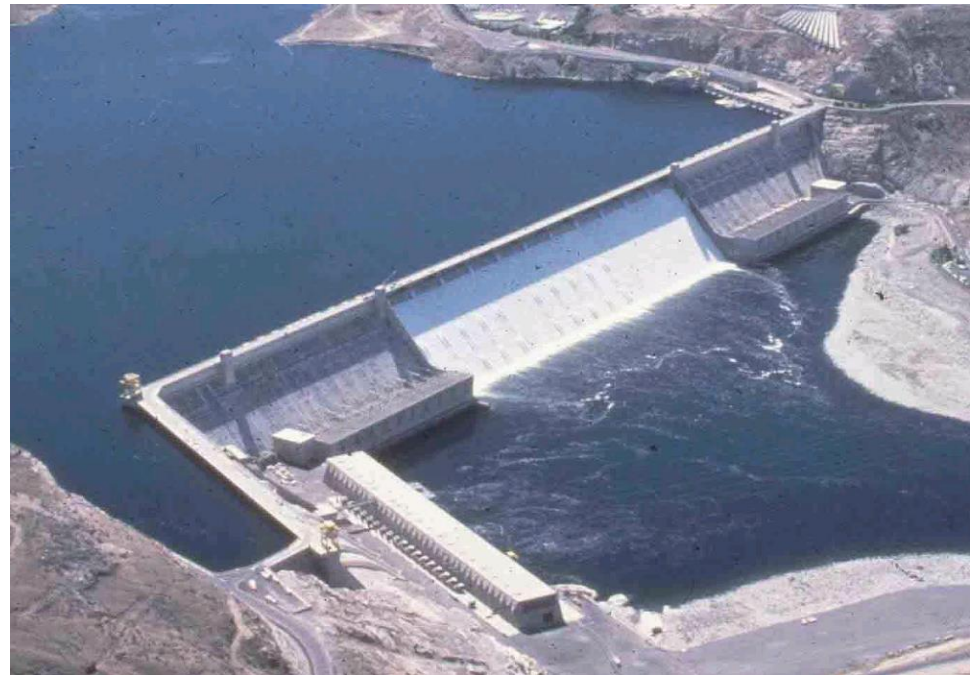
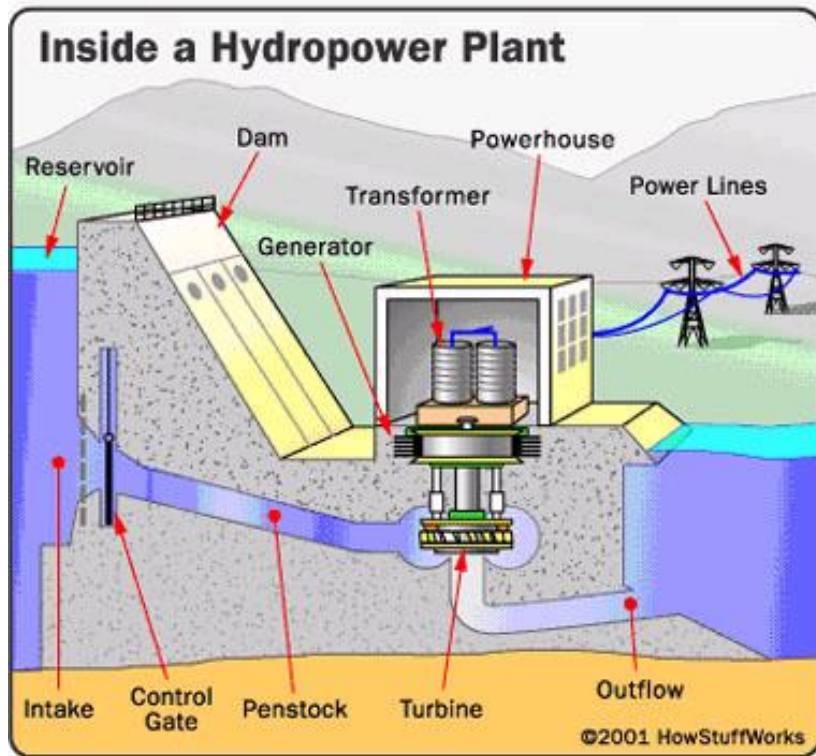
Unidades Hidroeléctricas

Los operadores de planta tienen numerosas restricciones a seguir relacionadas con:

- Límites del embalse
- corriente de río
- Requisitos de desove de peces
- **Requisitos aguas abajo**
- Necesidades de riego

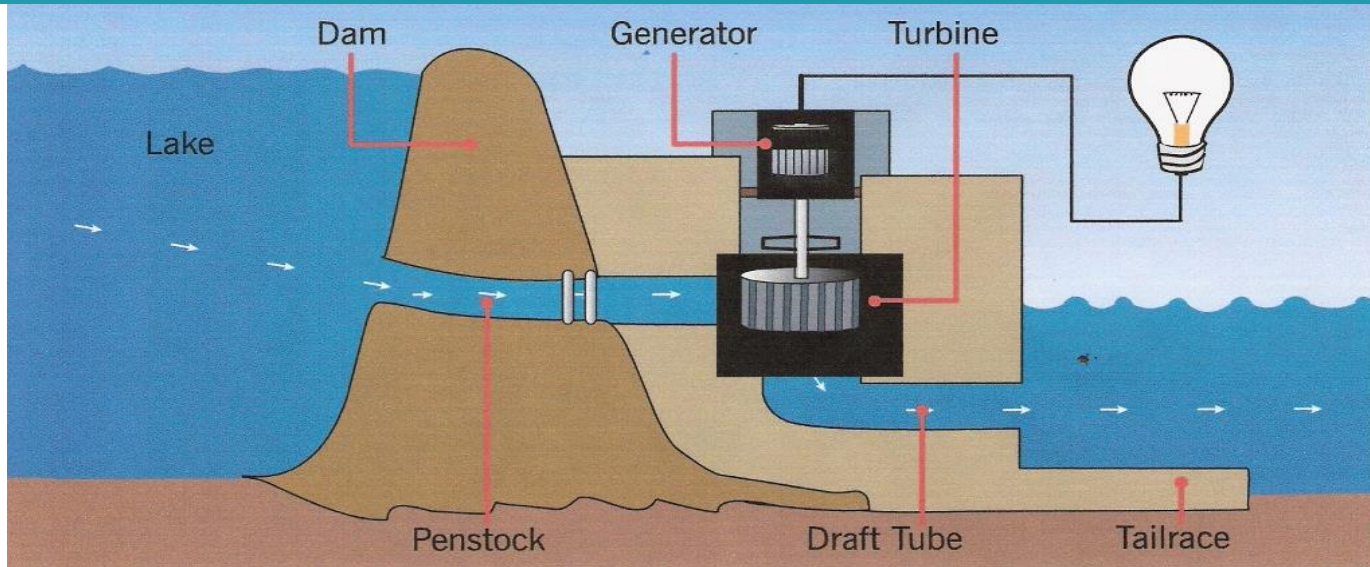
Plantas Generadoras

Generación hidroeléctrica



Plantas Generadoras

Cómo funcionan las plantas hidroeléctricas



1. Embalse

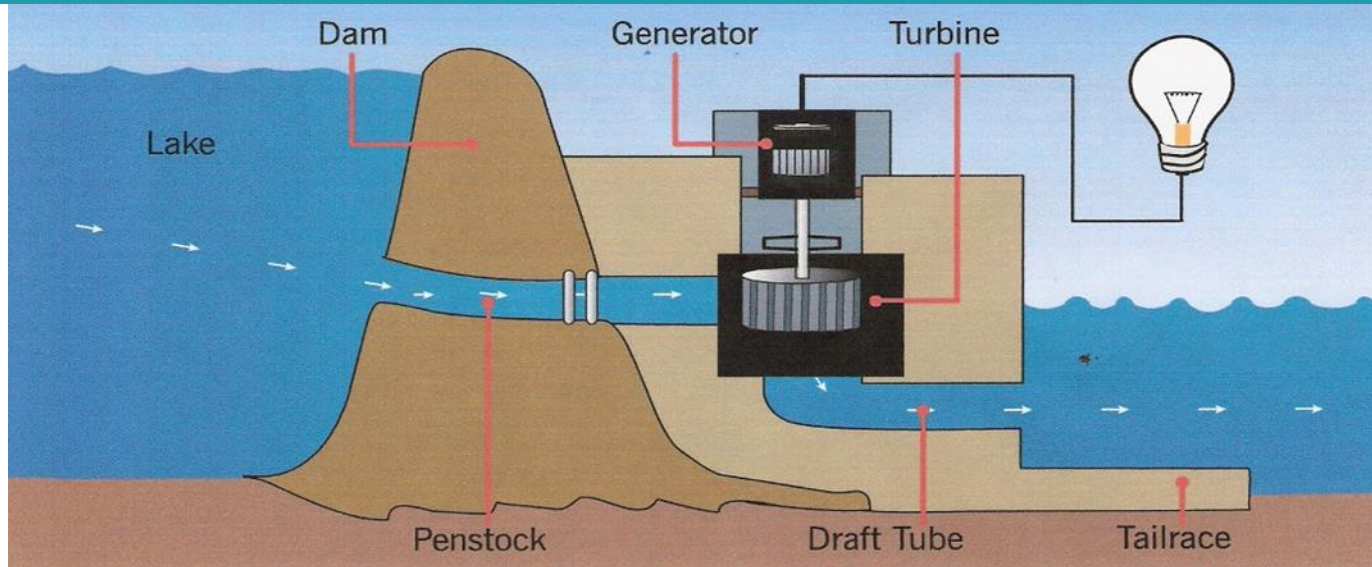
El agua se mantiene en un depósito, o lago, detrás de la presa.

2. Compuerta forzada

Las compuertas conducen el agua a una cámara que alberga la turbina. El agua se mantiene a una altura superior a la de la turbina, de modo que puede caer con suficiente fuerza para golpear las palas de la turbina y hacer que gire.

Plantas Generadoras

Cómo funcionan las plantas hidroeléctricas



3. turbina

La rueda de la turbina está unida por un eje a un generador.

4. Tubo de tiro y Tailrace

El agua regresa al río pasando a través de un tubo de tiro debajo de la turbina y hacia el conducto de descarga.

Plantas Generadoras

Características hidráulicas

- Uso de turbinas hidráulicas **cuchillas o baldes** conformado y posicionado de modo que la fuerza del agua haga que la turbina gire
- El **corredor de turbina** es la parte de la turbina en la que se montan las palas o los cubos
- Paletas móviles, llamadas **puertas de wicket**, regular la salida de potencia de la turbina mediante el control de la cantidad de agua que ingresa al rodete de la turbina

Plantas Generadoras

Características hidráulicas

Las empresas de servicios públicos utilizan dos tipos básicos de turbinas en las centrales hidroeléctricas:

- **Impulso**—Las boquillas dirigen el agua a alta velocidad hacia baldes en forma de copa. Este tipo de turbina se usa comúnmente para plantas que tienen una cabeza alta (más de 1000 pies)
- **Reacción**—La salida de la turbina se obtiene de una combinación de la presión y la velocidad del agua que llena por completo los conductos de agua de la turbina y el corredor.

Plantas Generadoras

Tipos de Plantas Hidroeléctricas

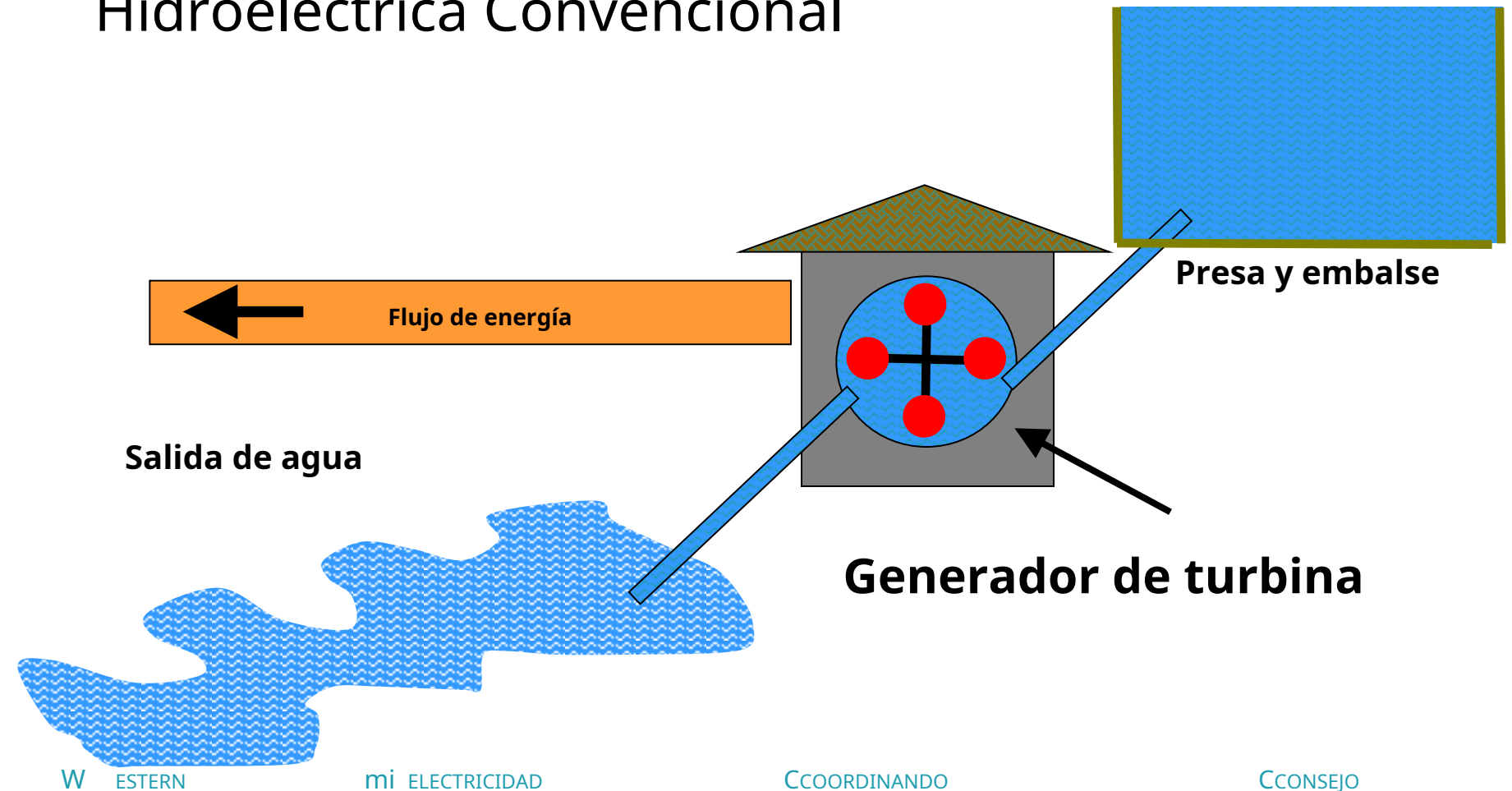
Hay tres tipos de unidades hidroeléctricas que las empresas de servicios públicos utilizan para la generación:

- **Convencional**
- Almacenamiento bombeado
- **de pasada**

Plantas Generadoras

Generación hidroeléctrica

Hidroeléctrica Convencional





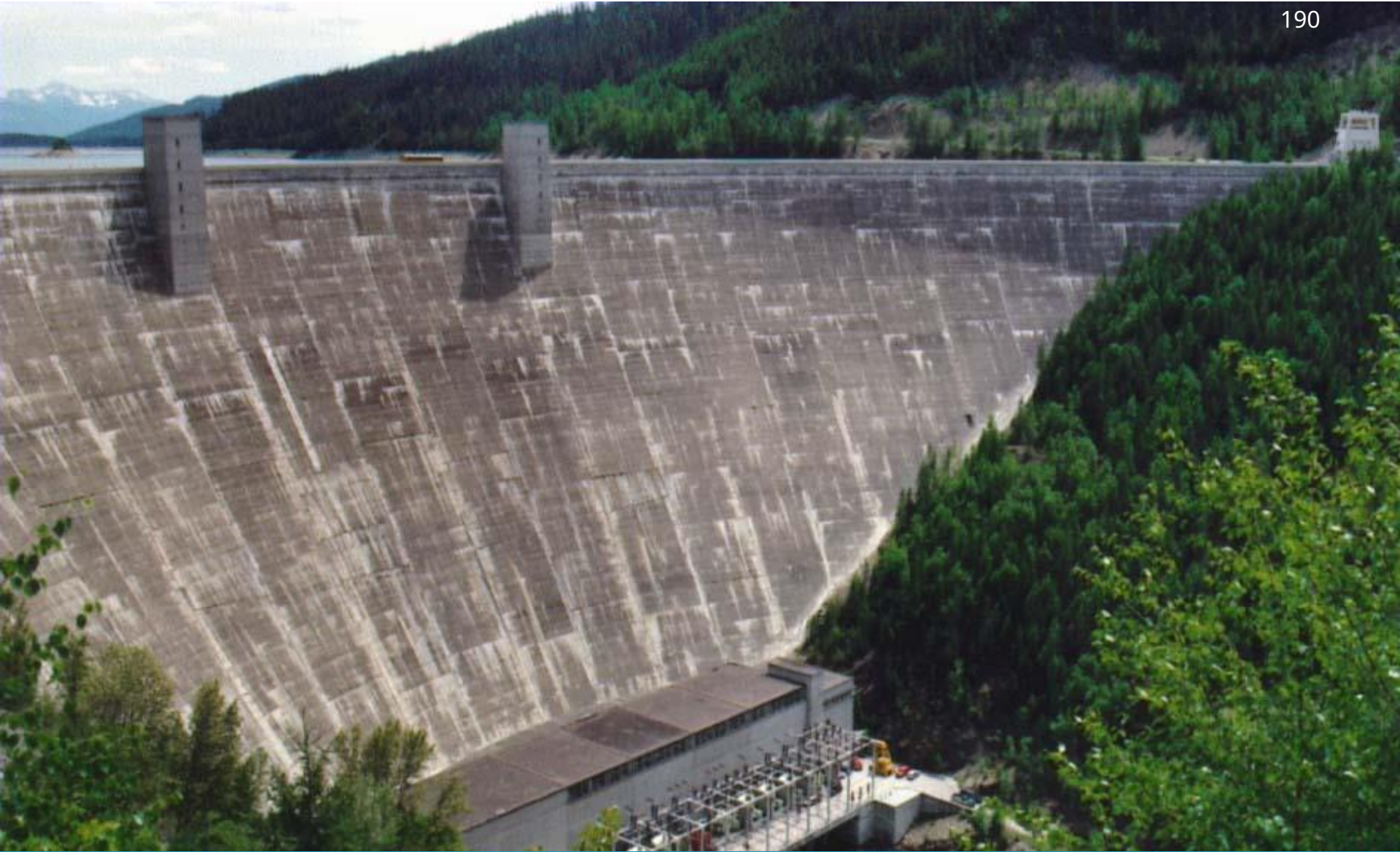
Presa Hoover California-Nevada 2.080 MW

WESTERN

MI ELECTRICIDAD

COORDINANDO

CONSEJO



Proyecto Hungry Horse Montana 428 MW

WESTERN

mi ELECTRICIDAD

COORDINANDO

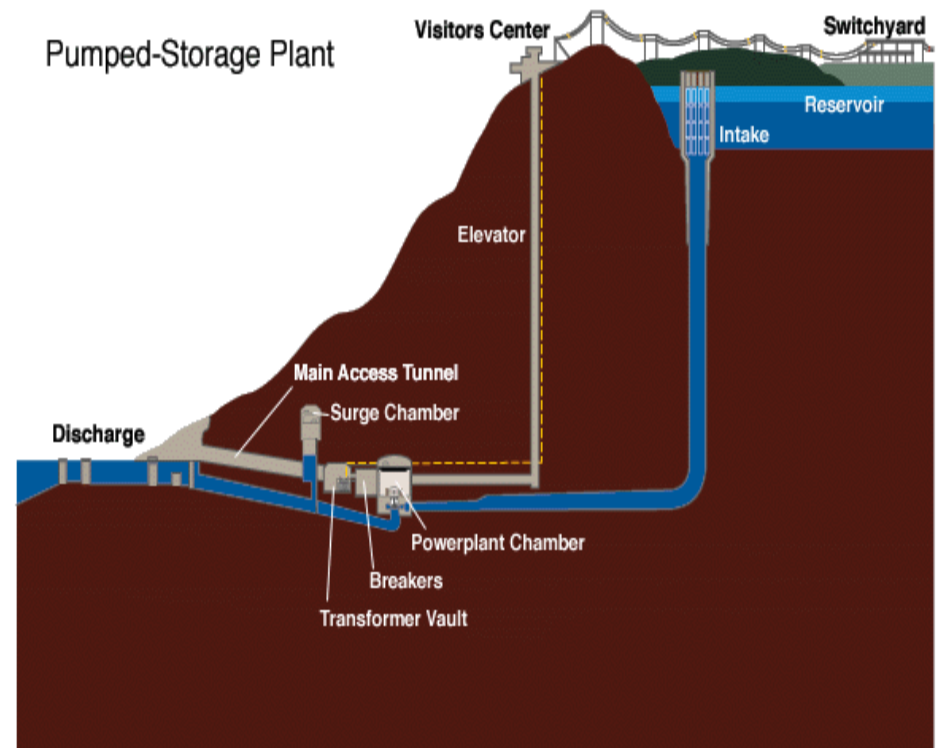
CONSEJO



Jefe Joseph Hydro Washington 2.600 MW

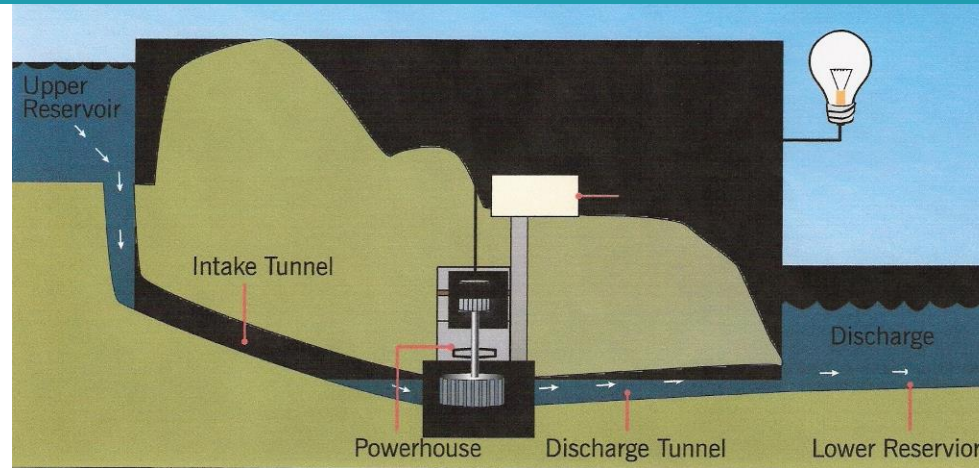
Plantas Generadoras

Centrales Hidroeléctricas de Bombeo



Plantas Generadoras

Cómo funcionan las plantas de almacenamiento por bombeo



1. Depósito superior

Cuando se necesita energía de la planta, el agua almacenada en un depósito superior se libera en un túnel subterráneo.

2. Túnel de entrada

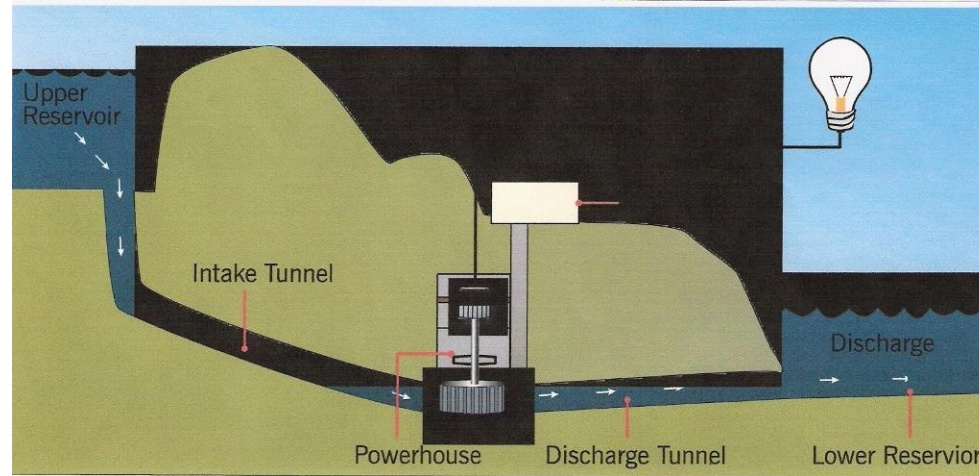
El agua corre por el túnel de entrada.

3. Turbinas

La fuerza del agua impulsa enormes turbinas, que se encuentran bajo tierra en la base de una presa. Las turbinas giratorias están conectadas a grandes generadores, que producen la electricidad.

Plantas Generadoras

Cómo funcionan las plantas de almacenamiento por bombeo



4. Túnel de Descarga

Luego, el agua fluye a través de un túnel de descarga hacia un depósito inferior.

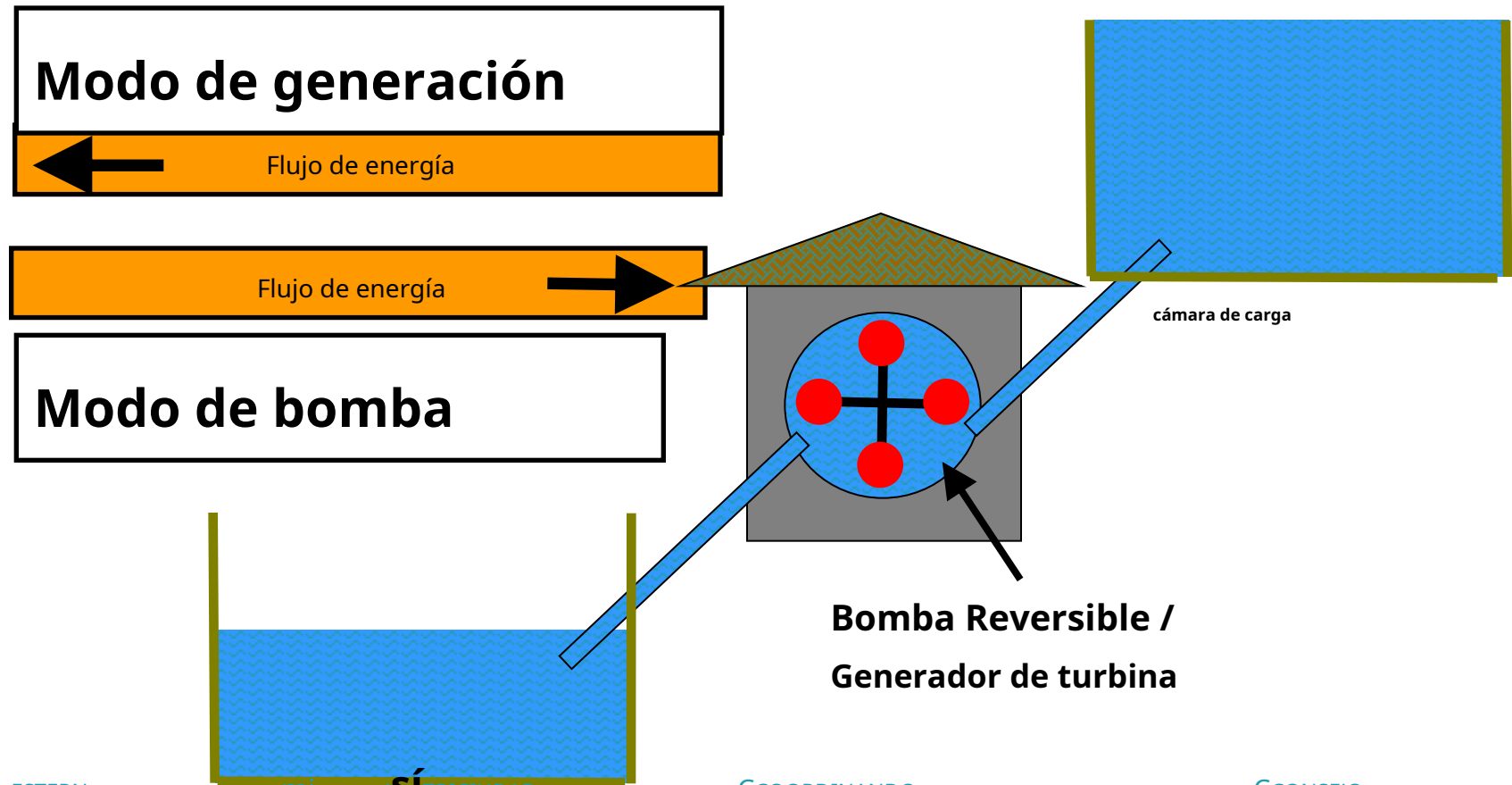
5. Recarga

Cuando la demanda de electricidad es lenta, las turbinas giran hacia atrás y bombean el agua hacia el depósito superior para que esté disponible para generar electricidad cuando sea necesario.

Plantas Generadoras

Generación hidroeléctrica

Hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo





Almacenamiento de bombas Cabin Creek



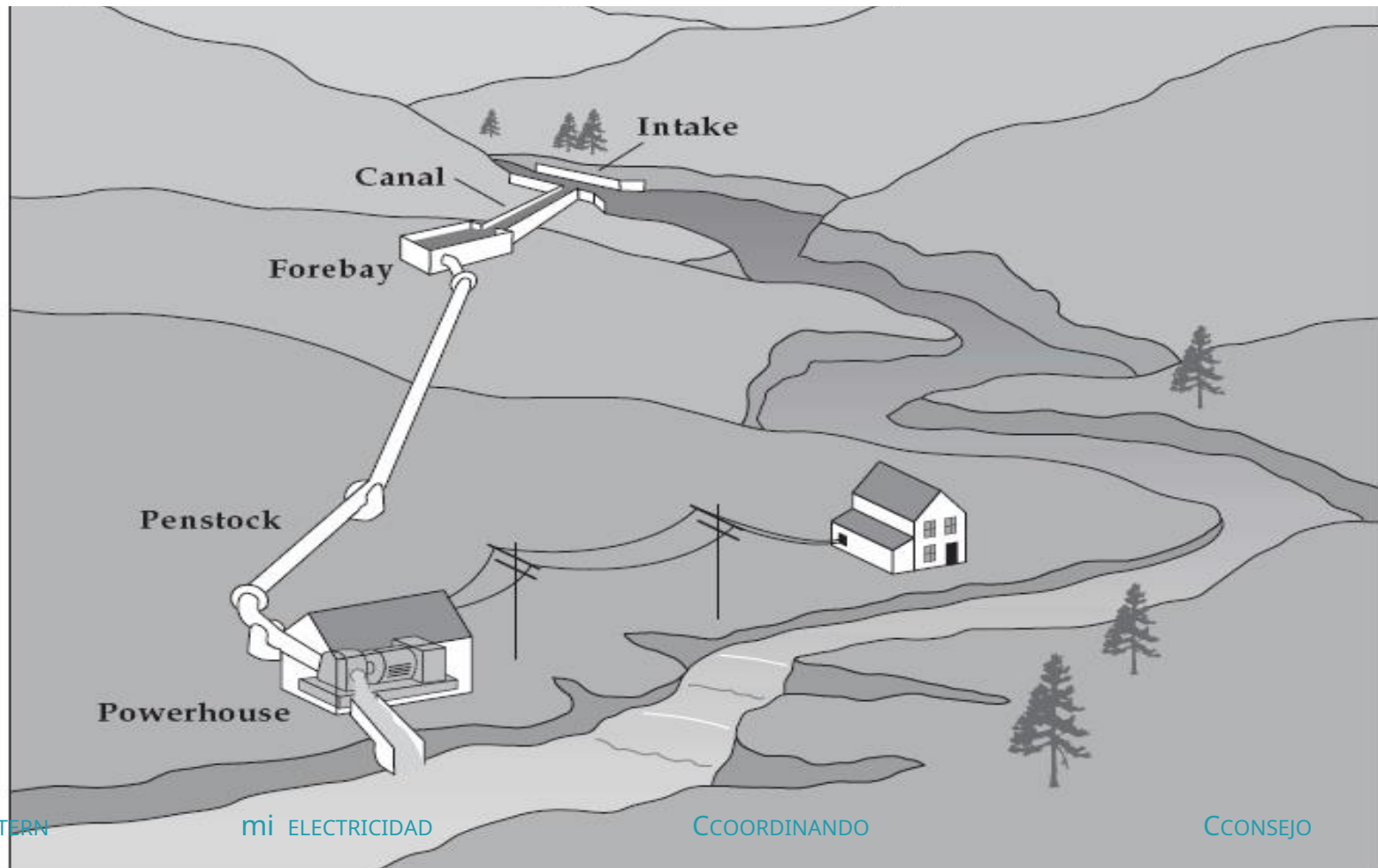


Almacenamiento por Bombeo Castaic 1.500 MW

Plantas Generadoras

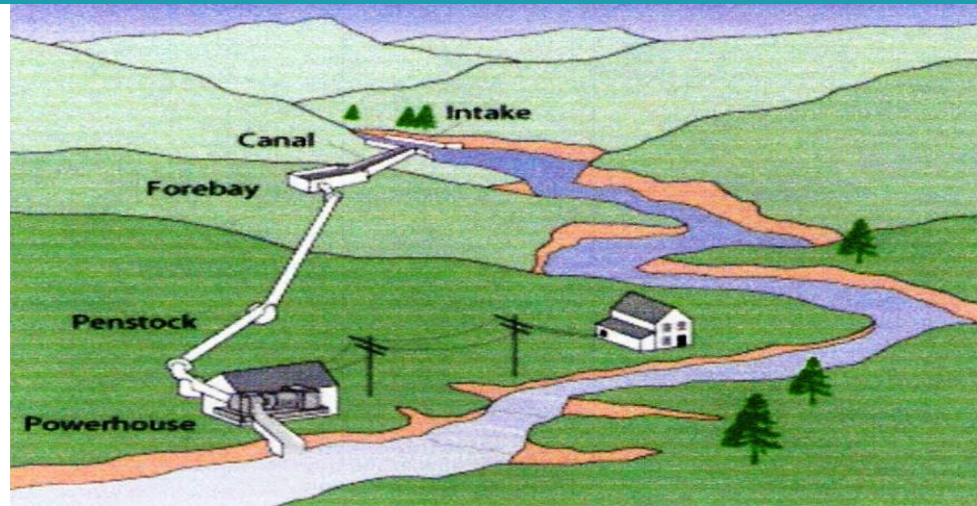
Generación hidroeléctrica

Run of the River Hydro



Plantas Generadoras

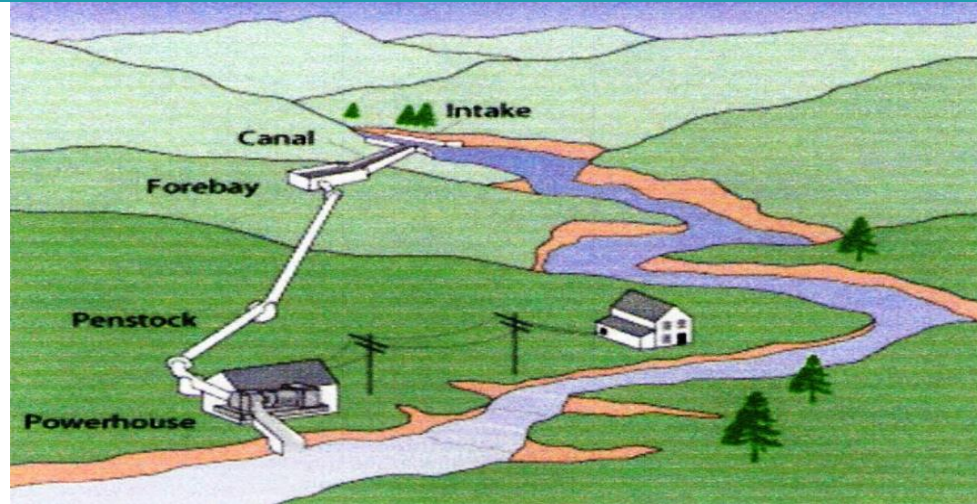
Cómo funcionan las centrales hidroeléctricas de pasada



Este tipo de generación hidroeléctrica no requiere almacenamiento de agua, sino que desvía parte del agua del río que se canaliza a lo largo del costado del valle antes de "caer" en la turbina a través de una tubería forzada y luego devuelve el agua al río a través de una descarga. canal. La turbina impulsa un generador que proporciona electricidad.

Plantas Generadoras

Cómo funcionan las centrales hidroeléctricas de pasada



1. Canal de entrada

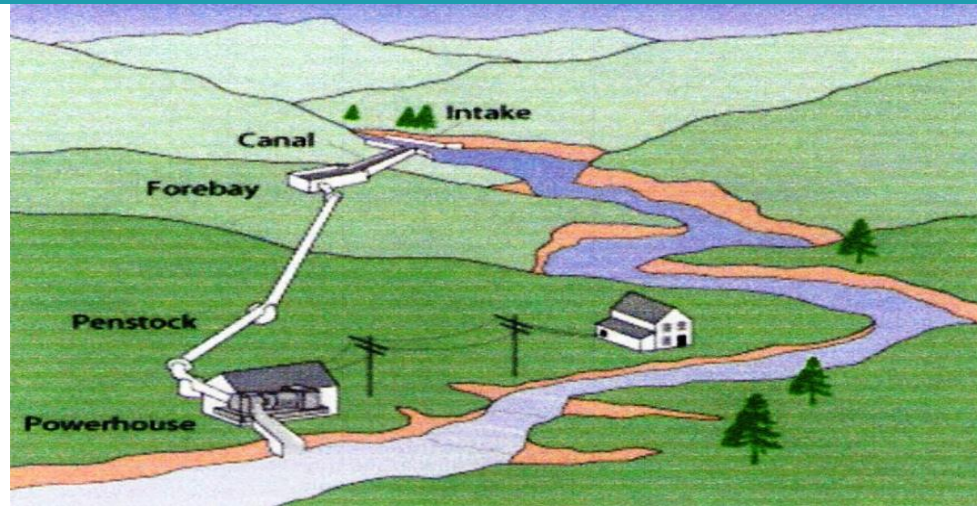
El canal de desvío y toma recoge el agua y la dirige a la cámara de carga.

2. Compuerta forzada

La tubería forzada transporta el agua desde la cámara de carga hasta la turbina.

Plantas Generadoras

Cómo funcionan las centrales hidroeléctricas de pasada



3. Turbina-Generador

La turbina y el generador convierten la energía cinética y la energía potencial del agua en energía eléctrica.

4. Canal de descarga

Devuelve el agua al río después de haber pasado por la turbina.

Plantas Generadoras

Centrales Hidroeléctricas de Pasada



Plantas Generadoras

Problemas de hidro....



Plantas Generadoras

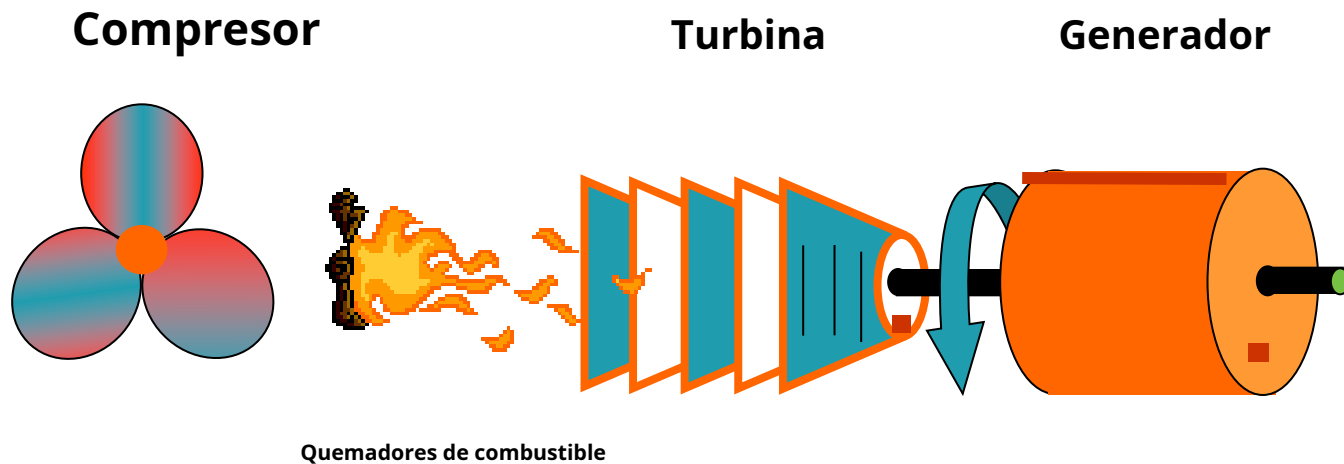
Turbinas de Combustión

- Funciona de manera similar a un motor a reacción.
- Cambia la energía química del combustible directamente en energía mecánica que convierte un generador
- Las turbinas de combustión eliminan el uso de vapor para energía térmica
- El escape caliente se puede usar para producir vapor para una turbina de vapor

Plantas Generadoras

Generación Térmica

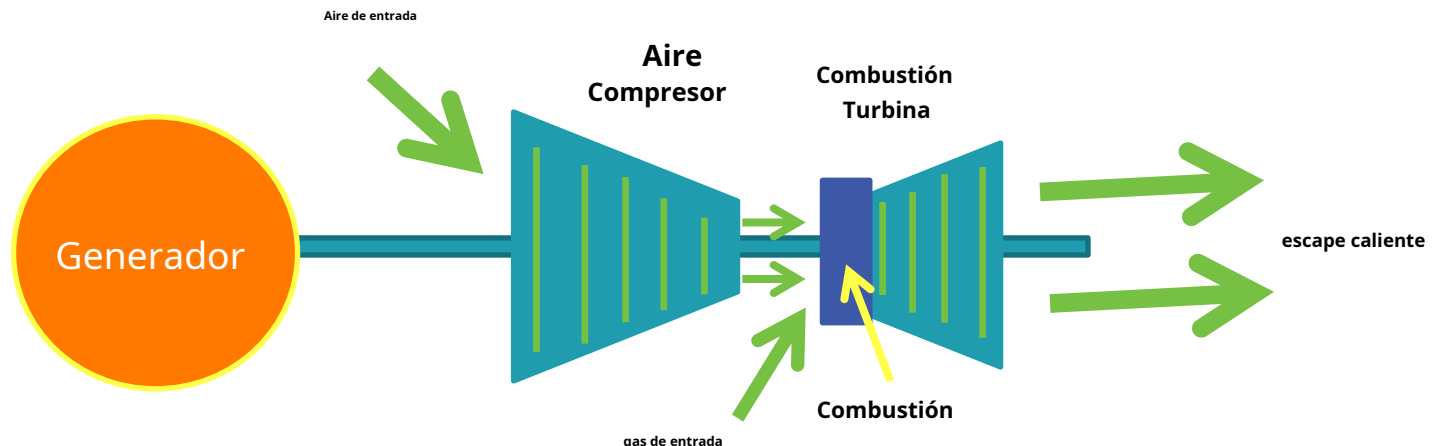
Turbina de combustión (también llamada CT o GT) Gas, Petróleo



Plantas Generadoras

Turbinas de Combustión

- El aire comprimido y el combustible se encienden y se expanden a través de la turbina
- La turbina hace girar el compresor de aire y el generador



Plantas Generadoras

Turbinas de Combustión

La mayoría de las turbinas de combustión son de ciclo abierto: el gas expandido se expulsa a la atmósfera, como ocurre con el motor a reacción de un avión.

- Muchas turbinas de combustión se basan en el diseño de motores a reacción de aeronaves; se denominan **Turbinas de Combustión Aeroderivadas**
- Las unidades más grandes se construyen sobre un marco basado en el suelo. Estos se llaman unidades de marco

Plantas Generadoras

Turbinas de Combustión

- Ventajas de la turbina de gas de combustión
 - puesta en marcha rápida (5-10 minutos)
 - bajo costo de inversión
 - corto tiempo de construcción
 - muy adecuado para fines de espera y picos
- Sin embargo, la eficiencia térmica es baja... y la generación es costosa

Plantas Generadoras

Turbinas de Combustión

- Ventajas – Continuación
 - No requiere agua de refrigeración
 - Las emisiones son relativamente bajas
 - Sin ceniza
 - El combustible es fácil de manejar (relativamente)
- El tamaño varía de aproximadamente 15 a 250 MW

Plantas Generadoras

Turbina de Combustión

- Suministro de combustible: gas natural (metano o CH_4)
- Se combina con 4 átomos de oxígeno para producir
- CO_2 y 2- H_2O Moléculas de O (agua)
- Si hay azufre en el combustible, también produce algo de SO_x .
- También se produce algo de NO_x

Plantas Generadoras

Turbina de Combustión

- Las tasas de calor pueden rondar los 9000 btu/kwh
- El calor de escape se puede utilizar en un sistema de ciclo combinado.
- La salida se ve afectada por la temperatura del aire de entrada; a veces, se utilizan enfriadores o enfriadores por evaporación para enfriar el aire.
- La producción se ve afectada por la densidad del aire: la misma máquina a menor altura producirá más

Plantas Generadoras

Turbina de Combustión

La contaminación se puede reducir con

- Uso seco: quemadores de bajo NO_x: temperatura de combustión controlada
- Use convertidores catalíticos selectivos (SCR): rocíe amoníaco en la corriente de escape, luego pase el escape a través de un laberinto de material catalítico cerámico para reaccionar con el NO_x y convertirlo en N₂ y H₂O

Turbina de Combustión



W ESTER

MI ELECTRICIDAD

COORDINANDO

CONSEJO

Turbinas de Combustión







Plantas Generadoras

Unidades de Ciclo Combinado

- A **Ciclo combinado** planta incluye una o más turbinas de combustión combinadas con una turbina de vapor
- El escape de la turbina de combustión (CT) se utiliza para calentar el vapor
- Los gases de escape de la turbina salen a una caldera, llamada generador de vapor de recuperación de calor (HRSG), donde el calor se utiliza para convertir el agua en vapor.

Plantas Generadoras

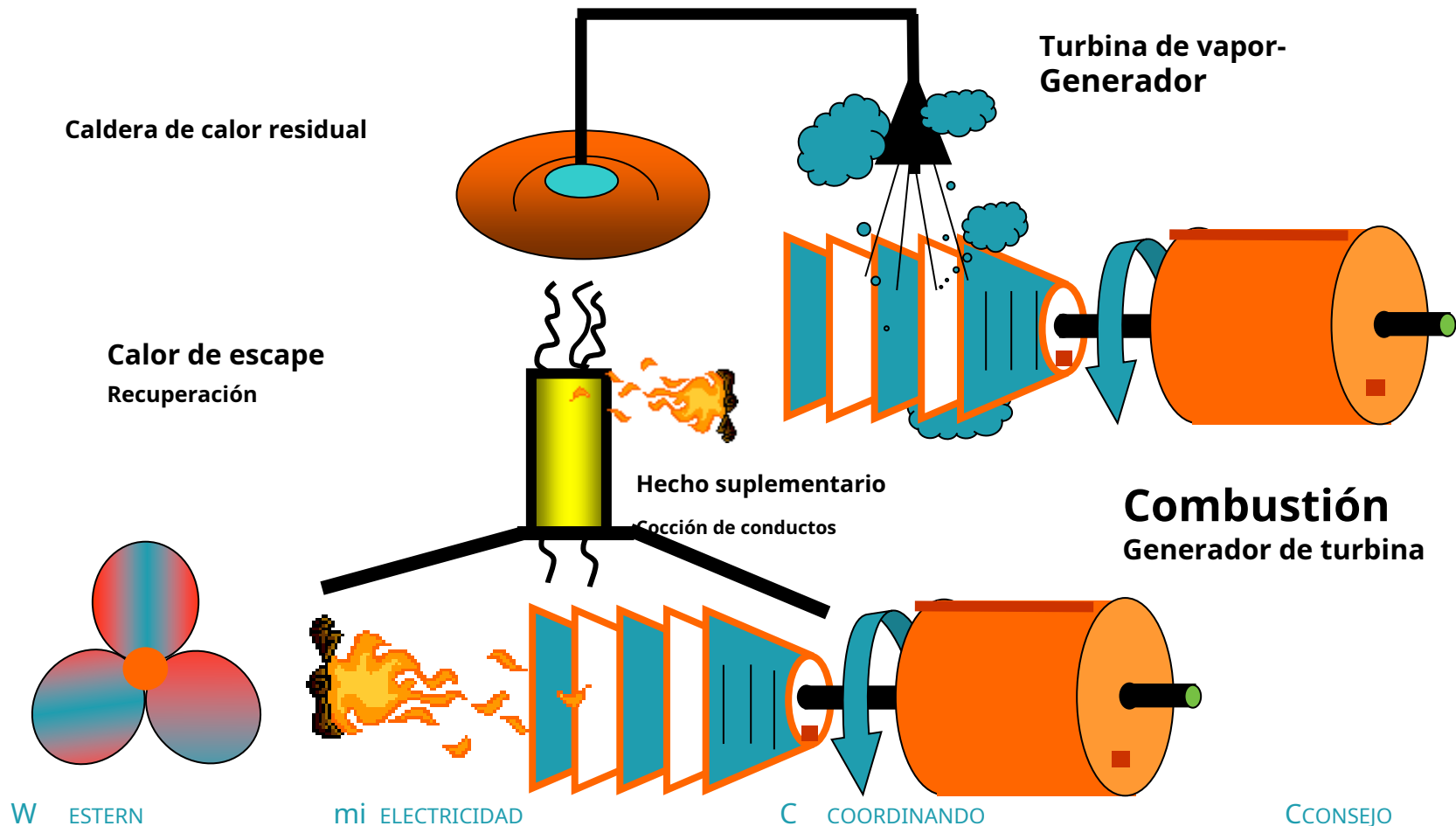
Unidades de Ciclo Combinado

- El vapor impulsa una turbina de vapor separada para generar electricidad adicional
- La eficiencia aumenta drásticamente ya que esta energía se genera sin el consumo de combustible adicional
- Cada generador está conectado a la red eléctrica a través de disyuntores independientes

Plantas Generadoras

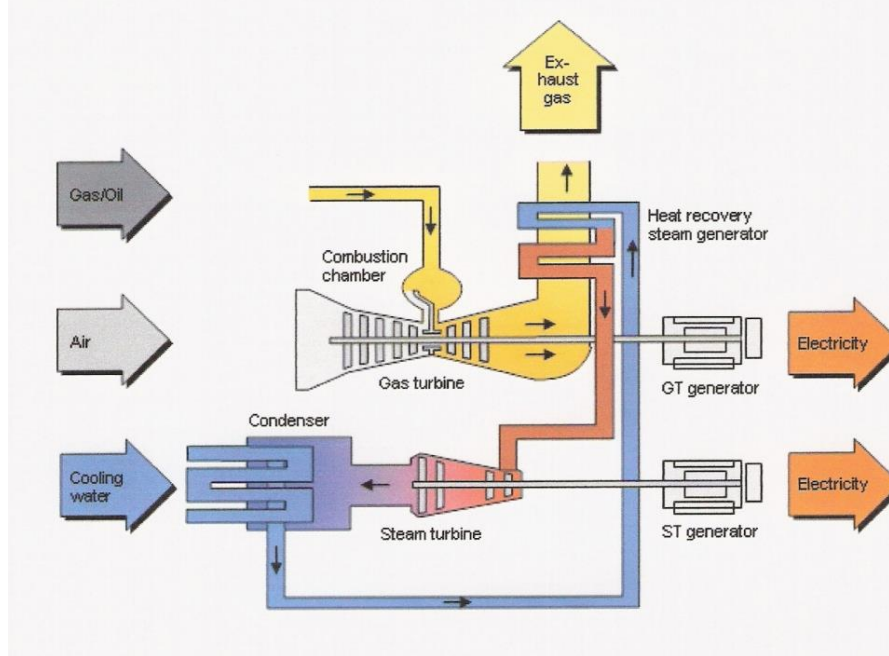
Generación Térmica

Ciclo combinado



Plantas Generadoras

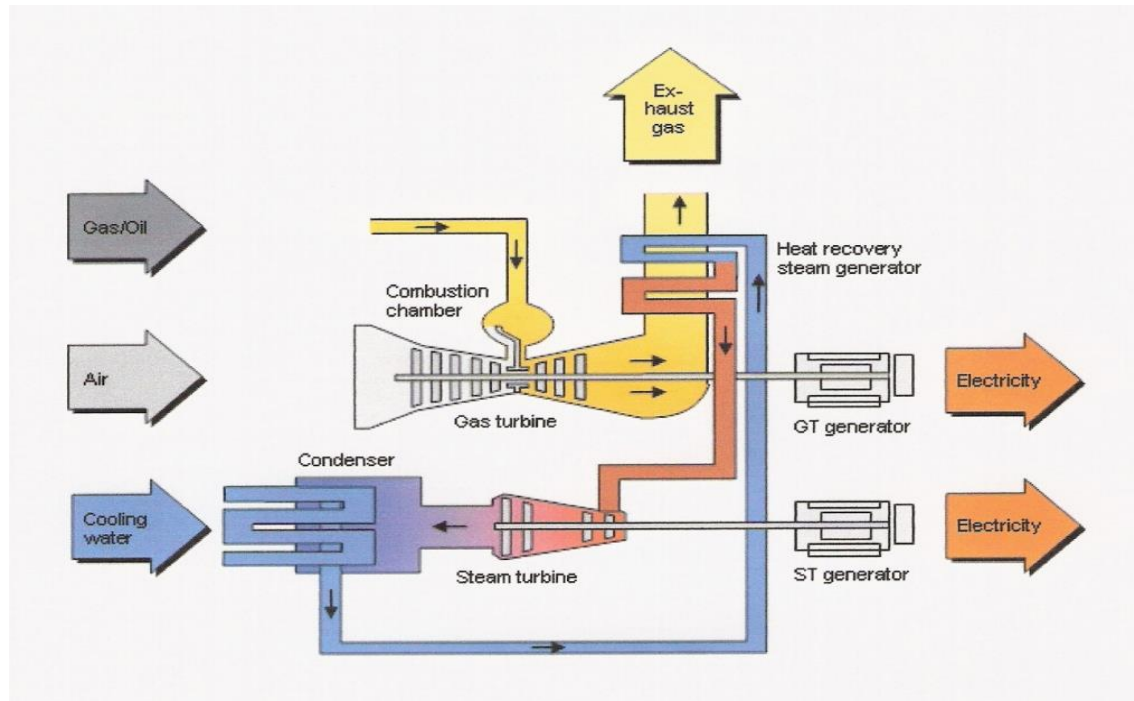
Cómo funcionan las centrales de ciclo combinado



El escape de la turbina de combustión pasa a través de un generador de vapor de recuperación de calor (HRSG), donde el calor del escape se usa para producir vapor. Luego, el vapor fluye a través de una turbina de vapor sin recalentamiento para impulsar un generador. La capacidad de la planta varía de 100 MW a más de 1000 MW. Todas las plantas usan una sola turbina de vapor con de una a cuatro turbinas de combustión. La combinación de turbinas de gas y vapor permite generar energía eléctrica con la más alta eficiencia.

Plantas Generadoras

Cómo funcionan las centrales de ciclo combinado



En una disposición de múltiples ejes (como se muestra en la imagen), tanto la turbina de gas como la turbina de vapor, cada una está conectada a un generador. En una disposición de un solo eje, la turbina de gas y la turbina de vapor impulsan el mismo generador para producir electricidad.

Southwest Generation-Denver Ciclo Combinado 130 MW



W. ESTERNA

M. ELECTRICIDAD

PUBLIC SERVICE
SHIPPING & RECEIVING

COORDINANDO

CONSISTO

Plantas Generadoras

Unidades de Ciclo Combinado



Plantas Generadoras

Unidades de Ciclo Combinado

Las plantas de ciclo combinado combinan algunas de las mejores características de las turbinas de gas de combustión y las unidades de vapor:

- Al igual que las turbinas de gas, las partes de las turbinas de gas de las unidades de ciclo combinado se ponen en marcha rápidamente y responden rápidamente a los cambios en la demanda de energía. Las porciones del generador de vapor tardan más en ponerse en uso
- Las plantas de ciclo combinado de nueva tecnología funcionan con una eficiencia térmica del 50 por ciento o más, que es casi la eficiencia de las plantas generadoras de vapor de ciclo simple. Analizamos la eficiencia con más detalle más adelante en este módulo.

Plantas Generadoras

Unidades de Ciclo Combinado

- Aproximadamente a partir del año 2000, las plantas de ciclo combinado comenzaron a proliferar en la región WECC.
- Actualmente constituyen el 75-80 por ciento de toda la nueva capacidad de generación que se está instalando
- Eficiencia incrementada
- Menores costos de capital
- Menor tiempo de construcción (dos años en comparación con los cinco años de una planta a carbón)
- Uso de gas natural ambientalmente aceptable para reducir las emisiones

Plantas Generadoras

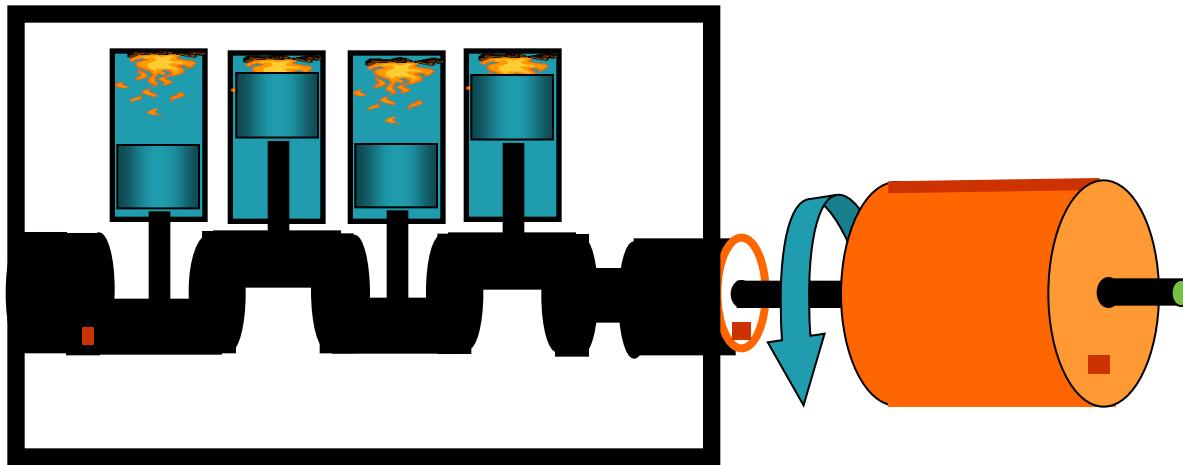
Unidades de Ciclo Combinado

- **Conducto de cocción** se puede utilizar para aumentar la producción
- El gas natural se inyecta en los conductos de escape y se enciende en el HRSG para proporcionar calor y vapor adicionales.
- El enfriamiento se puede proporcionar con un condensador enfriado por agua convencional (torre de enfriamiento) o con un condensador enfriado por aire

Plantas Generadoras

Generador de motor diésel

Combustión interna



Impulsado por pistón

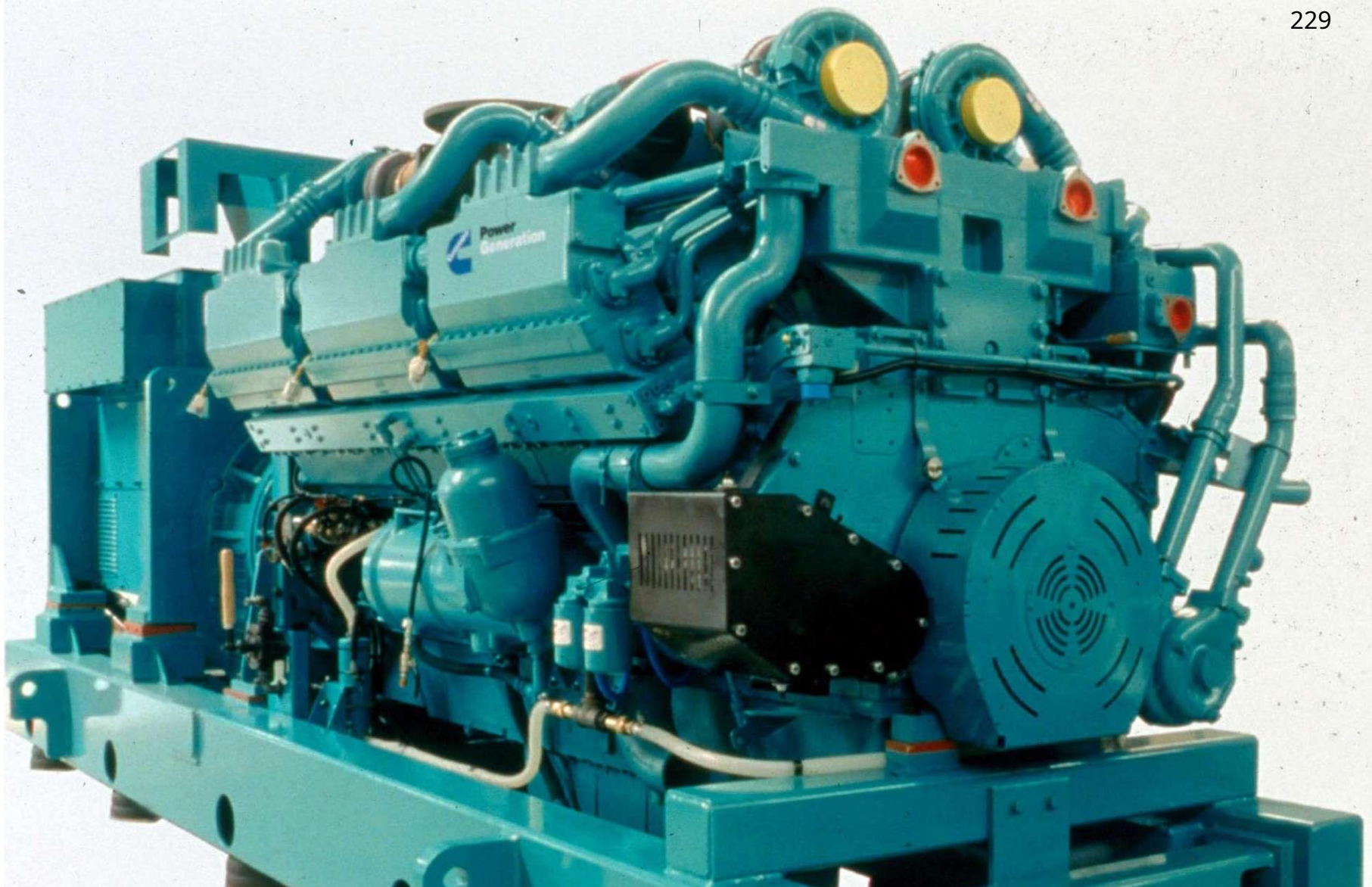
Motor diesel

Generador

Plantas Generadoras

Generador de motor diésel

- La alta relación de compresión y la alta temperatura de funcionamiento de los motores diésel los hacen muy eficientes
- El costo del combustible es alto
- Vienen en muchos tamaños, desde unos pocos kilovatios hasta alrededor de 15 megavatios.
- Puede ser portátil para moverse en eventos especiales o soporte del sistema



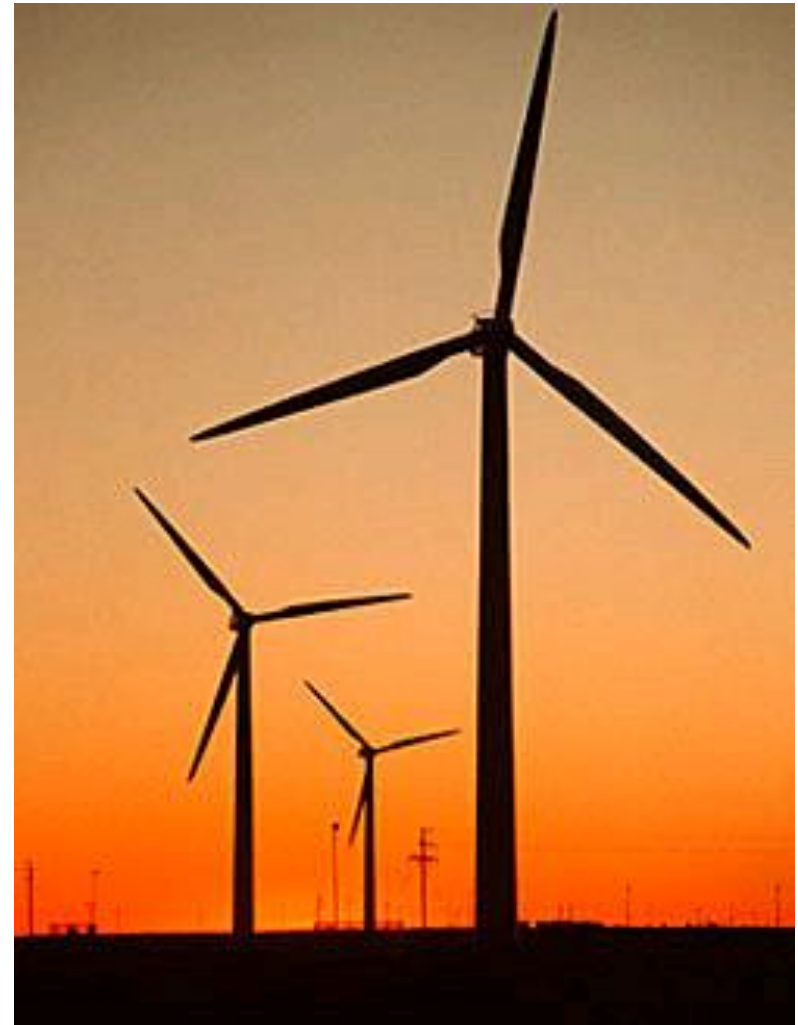
Generador de diesel





Fuentes de energía

Generación Eólica



W ESTERN

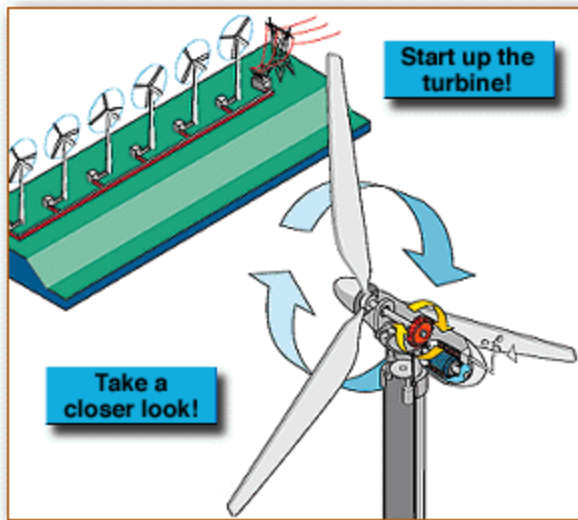
mi ELECTRICIDAD

CCOORDINANDO

CCONSEJO

Plantas Generadoras

Turbinas de viento



El viento es una forma de energía solar. Los vientos son causados por el calentamiento desigual de la atmósfera por el sol, las irregularidades de la superficie terrestre y la rotación de la tierra.

Los patrones de flujo del viento son modificados por el terreno de la tierra, los cuerpos de agua y la vegetación.

Los términos energía eólica o energía eólica describen el proceso mediante el cual se utiliza el viento para generar energía mecánica o electricidad.

Las turbinas eólicas convierten la energía cinética del viento en potencia mecánica. Esta energía mecánica se puede utilizar para tareas específicas o un generador puede convertir esta energía mecánica en electricidad.

Plantas Generadoras

Turbinas de viento

¿Cómo producen electricidad las turbinas eólicas?

En pocas palabras: una turbina eólica funciona al revés de un ventilador

- En lugar de usar electricidad para hacer viento, como un ventilador, las turbinas de viento usan el viento para hacer electricidad
- El viento hace girar las aspas, que hacen girar un eje, que se conecta a un generador.

Plantas Generadoras

Tipos de aerogeneradores

Las turbinas eólicas modernas se dividen en dos grupos básicos:

1. Diseño de eje horizontal

- Las turbinas de eje horizontal tienen dos o tres palas.
- Se operan "contra el viento" con las palas mirando hacia el viento.



Aerogenerador de eje horizontal



W ESTERN

mi ELECTRICIDAD

CCOORDINANDO

CCONSEJO



Plantas Generadoras

Tipos de aerogeneradores

2. El segundo tipo de turbina eólica es el diseño de eje vertical (como un batidor de huevos) llamado modelo Darrieus.

Estos no son tan comunes y son difíciles de ampliar.





Aerogenerador de eje vertical

Plantas Generadoras

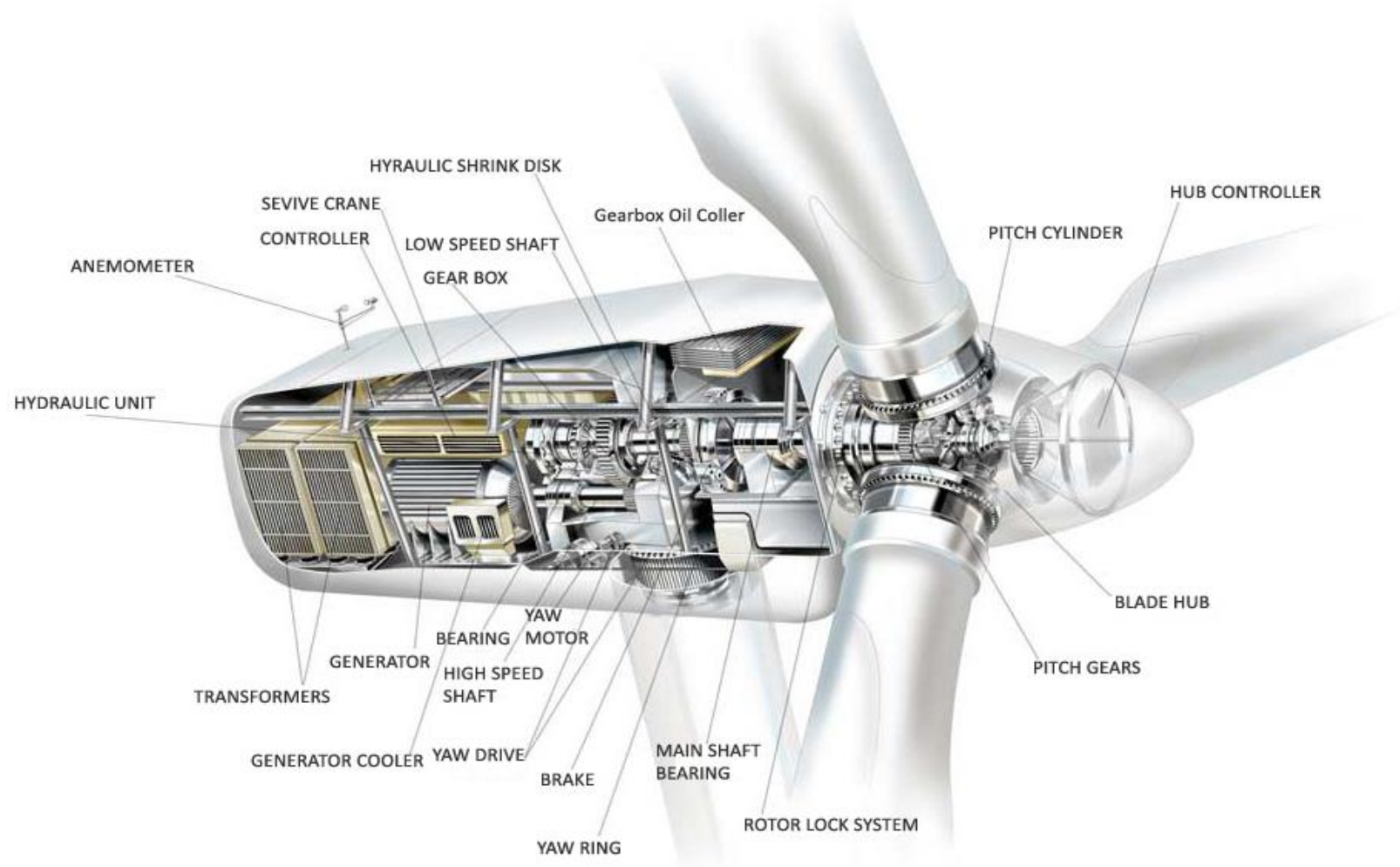
Tamaño de las turbinas eólicas

Las turbinas a escala de servicios públicos varían en tamaño desde 100 kilovatios hasta varios megavatios.



Plantas Generadoras

Cómo funcionan las turbinas eólicas



Cómo funcionan las turbinas eólicas



2. Cuchillas

3. Freno

Un freno de disco, que se puede aplicar mecánica, eléctrica o hidráulicamente para detener el rotor en caso de emergencia.

El controlador pone en marcha la máquina a velocidades de viento de aproximadamente 8 a 16 millas por hora y apaga la máquina a aproximadamente 55 mph. Las turbinas no funcionan con vientos de más de 55 mph porque los vientos fuertes pueden dañarlas.

Cómo funcionan las turbinas eólicas



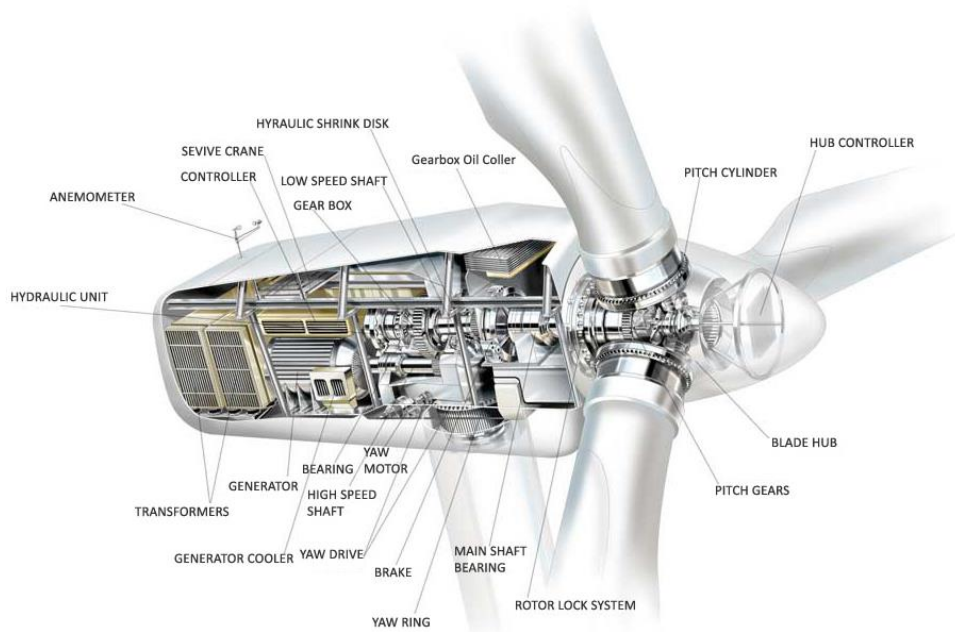
7. Eje de alta velocidad

Impulsa el generador.

Los engranajes conectan el eje de baja velocidad con el eje de alta velocidad y aumentan las velocidades de rotación de 30 a 60 rpm a 1000 a 1800 rpm. La caja de cambios es una parte costosa (y pesada) de la turbina eólica. Los ingenieros están explorando generadores de “accionamiento directo” que funcionan a velocidades de rotación más bajas y no necesitan cajas de engranajes.

Plantas Generadoras

Cómo funcionan las turbinas eólicas



8. Eje de baja velocidad

El rotor gira el eje de baja velocidad a aproximadamente 30 a 60 rpm.

9. Góndola

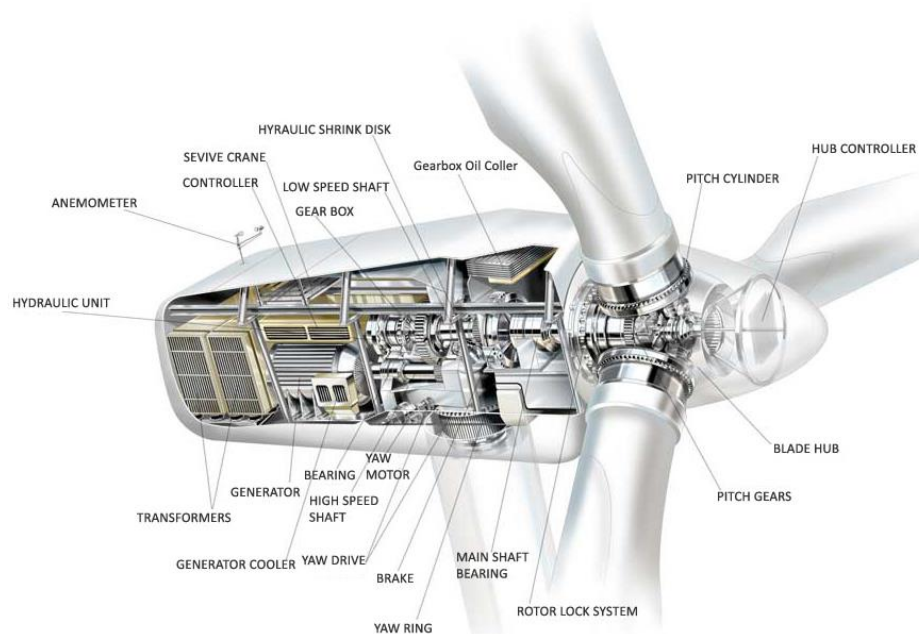
La góndola se asienta sobre la torre y contiene la caja de cambios, los ejes de baja y alta velocidad, el generador, el controlador y el freno. Algunas góndolas son lo suficientemente grandes como para que aterrice un helicóptero.

10. tono

Las aspas se giran o inclinan fuera del viento para controlar la velocidad del rotor y evitar que el rotor gire con vientos que son demasiado altos o demasiado bajos para producir electricidad.

Plantas Generadoras

Cómo funcionan las turbinas eólicas



11. rotor

Las palas y el cubo juntos se llaman el rotor.

12. Torre

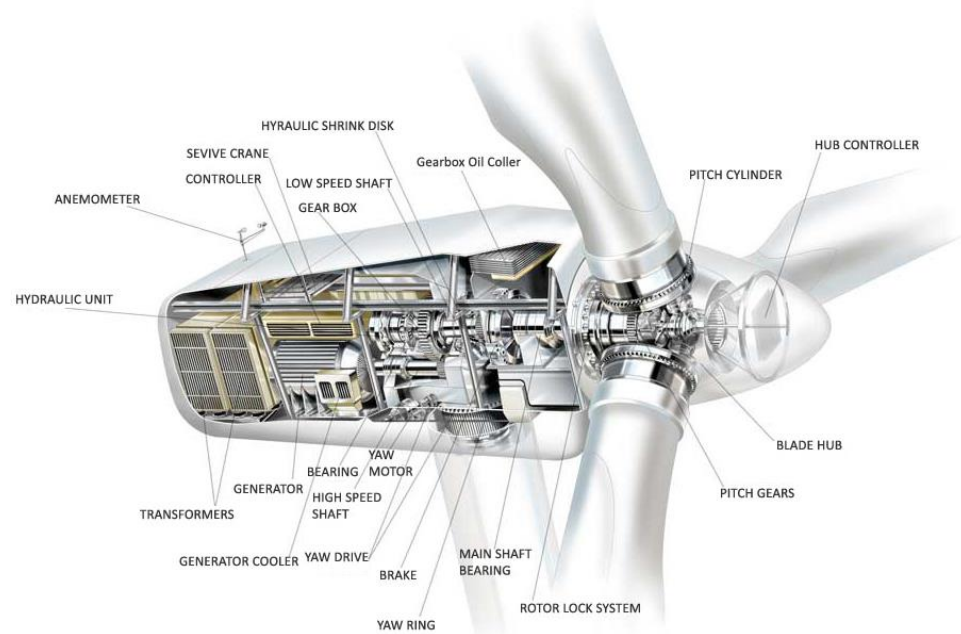
Las torres están hechas de acero tubular, hormigón o celosía de acero. Debido a que la velocidad del viento aumenta con la altura, las torres más altas permiten que las turbinas capturen más energía y generen más electricidad.

13. Dirección del viento

Se trata de un aerogenerador "upwind", llamado así porque opera de cara al viento. Otras turbinas están diseñadas para funcionar "a favor del viento", de espaldas al viento.

Plantas Generadoras

Cómo funcionan las turbinas eólicas



14. Veleta

Mide la dirección del viento y se comunica con el motor de guiñada para orientar correctamente la turbina con respecto al viento.

15. Impulsión de guiñada

Las turbinas ascendentes miran hacia el viento; el accionamiento de guiñada se utiliza para mantener el rotor orientado hacia el viento a medida que cambia la dirección del viento. Las turbinas a favor del viento no requieren un impulso de guiñada, el viento sopla el rotor a favor del viento.

17. Motor de guiñada

Alimenta la unidad de guiñada.

Plantas Generadoras

Parques eólicos

- Un parque eólico típico puede utilizar de 60 a 100 aerogeneradores individuales
- Cada Turbina puede producir de 1 a 2 MW cada una
- Las turbinas estarán espaciadas entre 700 y 1500 pies de lado a lado y media milla de distancia de adelante hacia atrás
- El diseño depende del terreno: intente colocar las turbinas laterales en la parte superior de las crestas o colinas

Plantas Generadoras

Parques eólicos

- Tal parque eólico puede estar situado en un 10.000 a Sitio de 15,000 acres (15 a 23 millas cuadradas)
- La agricultura y el pastoreo de ganado están relativamente tranquilos.
- Se construirán hasta 25 millas de camino conectando las turbinas
- Las turbinas están conectadas por cable subterráneo de 34,5 kV
- Los cables terminan en una subestación colectora donde se aumenta el voltaje para la red

Plantas Generadoras

Ventajas y desventajas de la energía eólica

- La energía eólica ofrece muchas ventajas, lo que explica por qué es la fuente de energía de más rápido crecimiento en el mundo
- Los esfuerzos de investigación están dirigidos a abordar los desafíos para un mayor uso de la energía eólica.

Plantas Generadoras

Ventajas de la energía eólica

- Alimentado por el viento por lo que es una fuente de combustible limpia
- No contamina como las plantas de combustibles fósiles.
- No produce emisiones atmosféricas que provocan lluvia ácida y gases de efecto invernadero.
- Fuente de energía doméstica
- El suministro de viento es abundante

Plantas Generadoras

Ventajas de la energía eólica

- Confía en la energía renovable del viento
- Una de las tecnologías de energía renovable de menor precio disponible
- Con un costo de entre 4 y 6 centavos por kilovatio hora, dependiendo de la fuente eólica, esto es para cubrir la financiación del proyecto.
- Los costos de operación y mantenimiento son muy pequeños.

Plantas Generadoras

Ventajas de la energía eólica

- Construido en granjas y ranchos que benefician la economía en áreas rurales
- Los propietarios de parques eólicos alquilan la tierra al propietario para ubicar las turbinas
- Importantes incentivos fiscales para empresas que instalen generación eólica

Plantas Generadoras

Desventajas de la energía eólica

- La eólica debe competir con la generación convencional en costes
- Dependiendo de qué tan enérgico sea un sitio eólico, puede que no sea competitivo en costos
- La tecnología requiere una inversión inicial más alta que los generadores de combustibles fósiles
- El viento es intermitente y no siempre sopla cuando se necesita electricidad

Plantas Generadoras

Desventajas de la energía eólica

- La energía eólica no se puede almacenar en cantidades significativas
- No todos los vientos se pueden aprovechar para cumplir con los requisitos de tiempo
- Los buenos sitios suelen estar ubicados en áreas remotas lejos de la carga
- No puede ser controlado por sistemas AGC.
- Sin reservas

Plantas Generadoras

Desventajas de la energía eólica

- Debe generar cuando sopla el viento, otra generación debe retroceder para acomodar
- Cierta preocupación por el ruido producido por las palas del rotor. (usualmente no notas esto porque el viento sopla muy fuerte)
- Peligro para pájaros y murciélagos
- El mantenimiento de componentes grandes requiere una grúa muy grande y costosa

Desventajas de la energía eólica



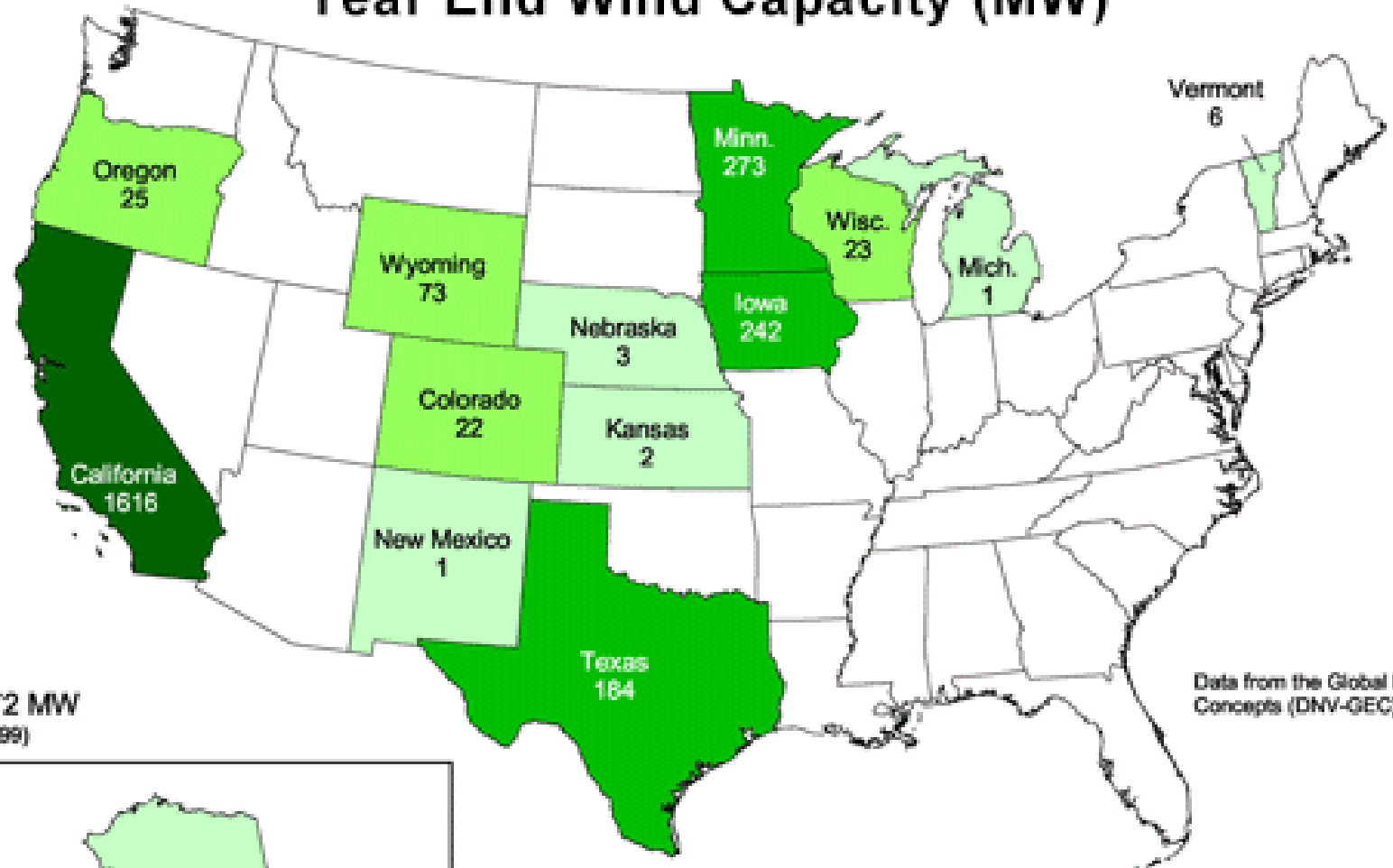
Desventajas de la energía eólica



Desventajas de la energía eólica



1999 Year End Wind Capacity (MW)



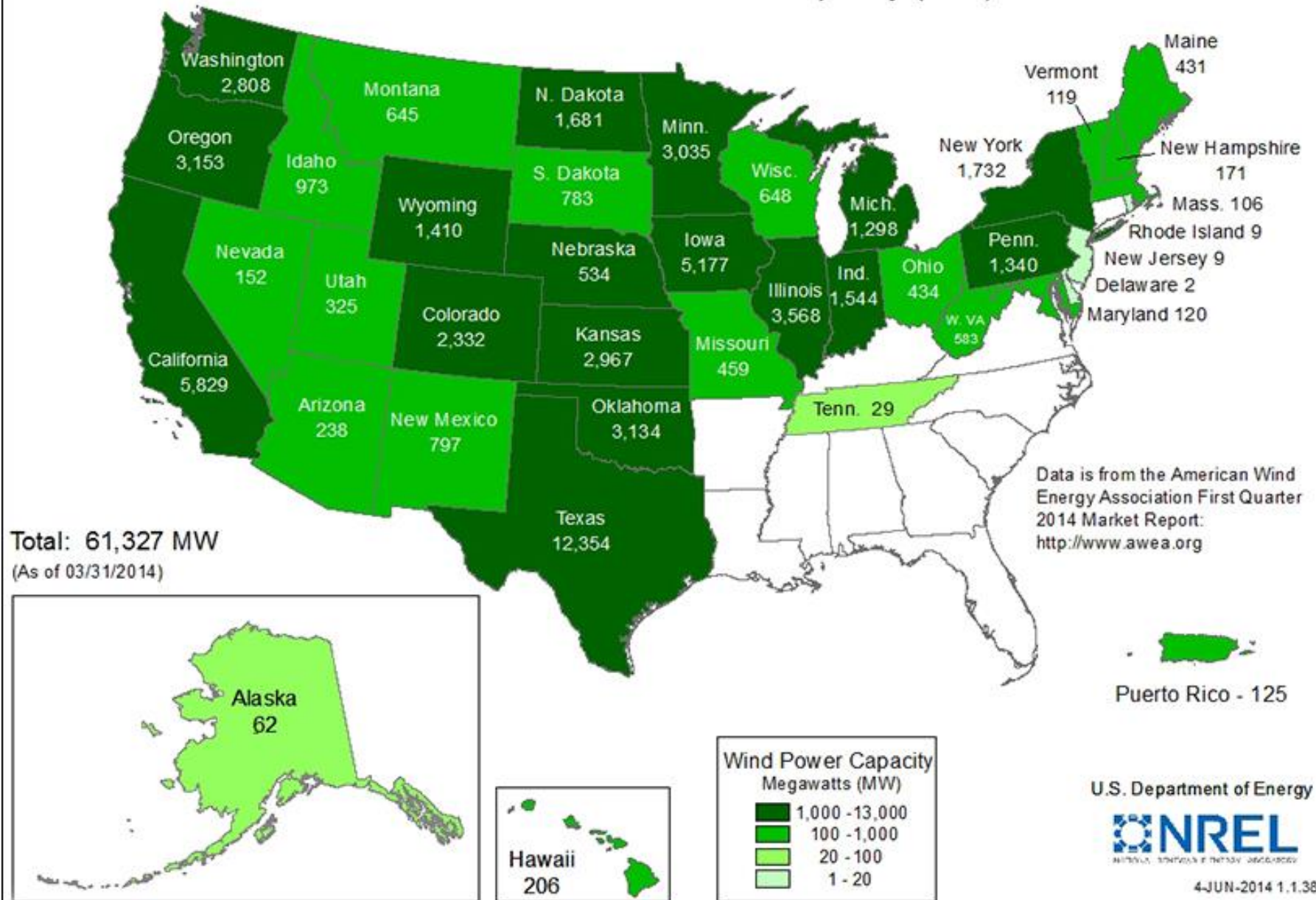
Total: 2,472 MW
(As of 12/31/1999)

Data from the Global Energy
Concepts (DNV-GEC) database.



U.S. Department of Energy
National Renewable Energy Laboratory

Current Installed Wind Power Capacity (MW)



Plantas Generadoras Solar

Dos tipos principales de generación solar

- Fotovoltaica: los paneles solares convierten la luz directamente en energía eléctrica.
- Energía solar térmica: la luz se concentra en tuberías colectoras de calor o en una torre para producir vapor que alimenta una turbina de vapor.

Plantas Generadoras

Fotovoltaica solar

- **fotovoltaica** Los paneles solares consisten en un material semiconductor que reacciona con la luz.
- Los fotones liberan a los electrones para que viajen en un circuito
- **Corriente continua** de múltiples flujos de células fotovoltaicas en circuitos colectores
- La corriente continua es **invertido** a la alimentación de CA para la red



Servicio Público de Arizona Fotovoltaica de 2 MW

Plantas Generadoras

Solar térmica

- Las plantas termosolares enfocan los rayos del sol hacia una torre central o tubos colectores que contienen agua
- El calor crea vapor que se utiliza para hacer funcionar un generador de turbina de vapor.
- Los helióstatos individuales deben ser controlables para rastrear el sol y reflejar la luz hacia la torre central



Solar Thermal One 10MW – Barstow, CA





eSolar Térmica
Sierra SunTower 5 MW
Lancaster, CA

plantas solares
10MW y 20MW
Cerca de Sevilla, España





Solana Solar Arizona 280MW

Plantas Generadoras Solar

La producción de una planta solar depende de...

- Área cubierta (100 vatios/pie cuadrado hasta 5 vatios/pie cuadrado (Planta Solar One))
- Intensidad del sol (las áreas del sur tienen más luz solar directa)
- Cubierto de nubes
- Eficiencia del sistema de recolección (mejorando todo el tiempo)

Plantas Generadoras Solar

Las desventajas incluyen

- Costo
- No despachable: solo se genera cuando brilla el sol
- Utiliza una gran cantidad de tierra
- Preocupación por el peligro para las aves: confunda los paneles con agua o vuele a través del área focal caliente

Plantas Generadoras

Tecnologías de generación

- Viento
- fotovoltaica
- Solar térmica
- **Celdas de combustible**
- almacenamiento de batería
- ola del océano
- Aire comprimido
- Gasificación de carbón
- Cama fluidizada



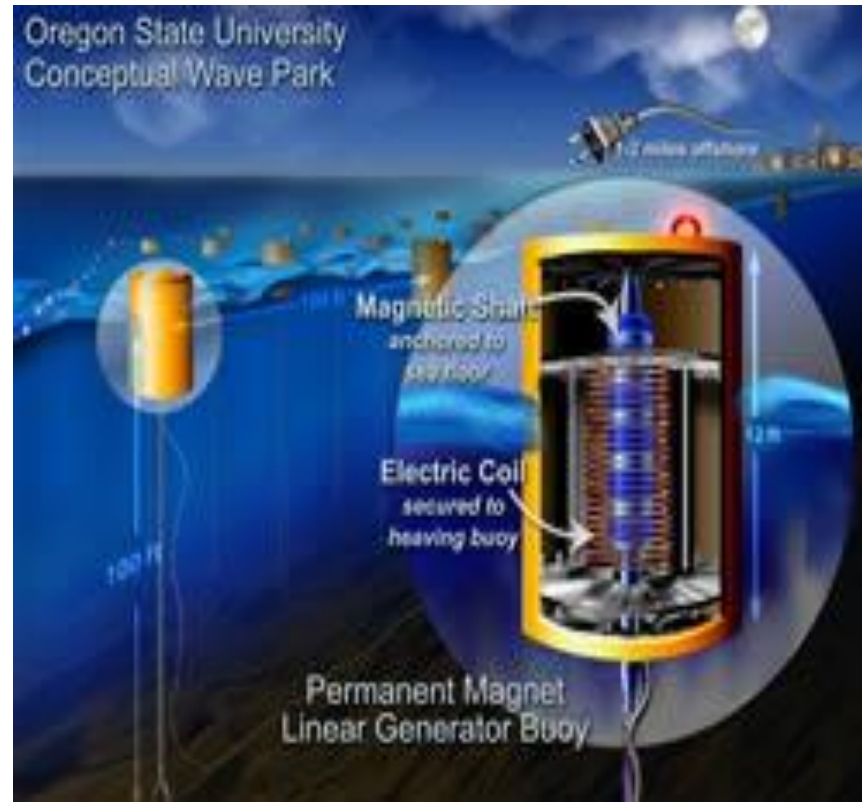
La "caja de flores"

Plantas Generadoras

Tecnologías de generación

- Viento
- fotovoltaica
- Solar térmica
- Celdas de combustible
- **almacenamiento de batería**
- **ola del océano**
- **Aire comprimido**
- **Gasificación de carbón**
- **Cama fluidizada**

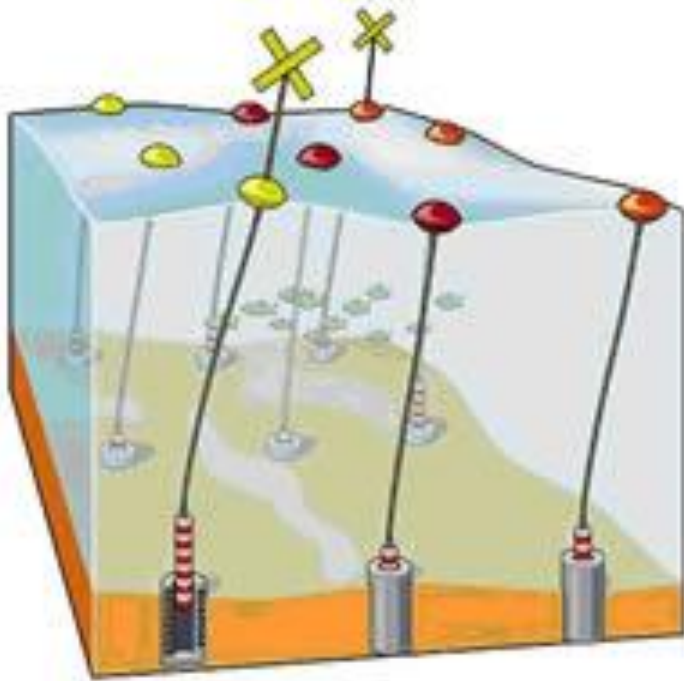




Representación de un parque de olas formado por una boya generadora lineal de imanes permanentes

Plantas Generadoras

Imágenes de la tecnología Ocean Wave



Granja de olas de absorción puntual



Operación del punto de absorción



Dispositivo atenuador de ondas



Dispositivos de desbordamiento

Plantas Generadoras

Características operativas de la unidad generadora

Cada tipo de unidad generadora tiene diferentes características de funcionamiento:

- Eficiencia
- Capacidad de la unidad y carga mínima
- Tasa de respuesta

Plantas Generadoras

Eficiencia

Eficiencia -Salida/Entrada
medida en

- los terminales (**producción bruta**).
- en el transformador elevador (**salida neta**).
- **Producción**es megavatios hora
- **Aporte**es barriles de petróleo, toneladas de carbón, pies cúbicos de agua u otros recursos combustibles; dependiendo del tipo de planta

Plantas Generadoras

Eficiencia

- Mayor eficiencia - bueno - menor costo de combustible, más producción
- Menor eficiencia - malo - mayor costo de combustible, más pérdidas, menos producción

Plantas Generadoras

Eficiencia: Unidades Generadoras de Vapor

- Las unidades de combustible fósil utilizan cantidades masivas de combustible
- Un ligero aumento en la eficiencia significa grandes ahorros para los clientes
- Las compras de combustible son el gasto más alto para la mayoría de las empresas de servicios públicos y ascienden a cientos de millones de dólares al año.
- Los ahorros en dólares derivados de la eficiencia pueden ser sustanciales

Plantas Generadoras

Eficiencia: tasa de calor

Una medida de Eficiencia para unidades generadoras térmicas es

velocidad de calentamiento

- ***Velocidad de calentamiento*** es la cantidad de calor medida en BTU (unidades térmicas británicas) necesaria para producir un kilovatio hora de salida eléctrica
- Las unidades más eficientes tienen una tasa de calor más baja que las unidades menos eficientes

Plantas Generadoras

Eficiencia: tasa de calor

- Las unidades alimentadas con combustibles fósiles más eficientes tienen una tasa de calor de alrededor de 9.800 BTU/kWh. La eficiencia media es de unos 10.500 BTU/kWh
- Las unidades generadoras de vapor están diseñadas para tener la tasa de calor más baja cuando funcionan cerca de la carga máxima
- La tasa de calor de la unidad mejora a medida que aumenta la carga, hasta la calificación de la unidad generadora
- La tasa de calor puede empeorar (más alta) a medida que la carga aumenta más allá de su clasificación

Plantas Generadoras

Eficiencia: Unidades Hidroeléctricas

¿Es importante la eficiencia para las Unidades Hidroeléctricas?

- ¿El agua es gratis?
- ¿Hay una cantidad limitada que puede utilizar el generador?
- Si pudieras generar más electricidad con la misma cantidad de flujo de agua, ¿te gustaría?

Plantas Generadoras

Eficiencia: Unidades Hidroeléctricas

- El agua es un recurso limitado y la eficiencia de las centrales hidroeléctricas es un tema importante
- En áreas afectadas por la sequía, los pequeños arroyos y lagos que normalmente alimentan los embalses utilizados por las plantas hidroeléctricas pueden tener poca agua.
- Esto limita la cantidad de agua disponible para uso de la planta.
- El agua utilizada por las estaciones de almacenamiento por bombeo no es “gratis”
- El precio del agua es el costo de la energía que se necesita para bombear el agua al embalse superior
- Es importante sacar la mayor cantidad de energía posible de cada gota de agua

Plantas Generadoras

Capacidad de la unidad y carga mínima

capacidad de la unidad se refiere a la salida máxima posible de megavatios que la unidad generadora puede producir de manera segura.

- La capacidad de la unidad depende del diseño de la caldera, la turbina y el generador; y en las condiciones del refrigerante, como la temperatura del aire ambiente y la presión de hidrógeno en el sistema de enfriamiento del generador

Plantas Generadoras

Capacidad de la unidad y carga mínima

Carga mínima es la cantidad más pequeña de generación que una unidad puede mantener durante un período prolongado.

- Con carga mínima, la eficiencia de la unidad es mucho menor que con la carga nominal

Plantas Generadoras

Capacidad de la unidad y carga mínima

Unidades generadoras de vapor

- Para las unidades generadoras de vapor, un **Clasificación de la unidad**, es el punto de operación más eficiente, generalmente es ligeramente más bajo que la capacidad máxima de la unidad
- Las unidades generadoras de combustibles fósiles pueden tener dificultades para mantener una combustión de combustible estable con cargas bajas

Plantas Generadoras

Capacidad de la unidad y carga mínima

Unidades hidroeléctricas

- Las unidades hidroeléctricas pueden experimentar **cavitación**, que puede dañar gravemente la turbina
- La cavitación es la formación de burbujas de vapor de agua que pueden implosionar (explotar hacia adentro) o colapsar, lo que genera turbulencia que puede causar "picaduras" en las superficies metálicas.
- La cavitación puede ser causada por bajos niveles de agua en el canal de descarga

Plantas Generadoras

Tasa de respuesta

Tasa de respuesta o tasa de rampa es la tasa de cambio de carga que una unidad generadora puede alcanzar para fines operativos normales en MW/min.

- Las plantas generadoras de vapor deben cambiar la carga con relativa lentitud. Esto se debe a que la caldera o el generador de vapor responden con bastante lentitud a las demandas cambiantes de carga.
- Las unidades generadoras de vapor deben ponerse en marcha lentamente y deben hacer pausas frecuentes durante el arranque para permitir que los componentes alcancen gradualmente su temperatura nominal.

Plantas Generadoras

Tasa de respuesta

- Cuando está en línea, los cambios en la carga de la unidad deben aplicarse con relativa lentitud para mantener la estabilidad de los controles de la unidad. Las unidades más nuevas están diseñadas para responder más rápido
- Como resultado, las unidades generadoras de vapor generalmente se mantienen con una carga constante o se regulan dentro de los límites establecidos en la planta. Una vez que una unidad de vapor está en línea, generalmente se mantiene en línea tanto como sea posible para evitar arranques y paradas innecesarias y frecuentes de la unidad.

Plantas Generadoras

Tasa de respuesta

- Las turbinas de combustión (como un motor a reacción) se pueden poner en marcha en poco tiempo, a menudo en 10 o 15 minutos. Ya que no dependen de una caldera para producir vapor calentado
- Las turbinas de combustión pueden cambiar la carga rápidamente a pedido
- Las turbinas de combustión son las mejores unidades de "pico"
- Durante los períodos de carga máxima, cuando la demanda de carga es alta durante un período breve, es una práctica común iniciar las unidades de carga máxima, hacerlas funcionar durante algunas horas y luego apagarlas.

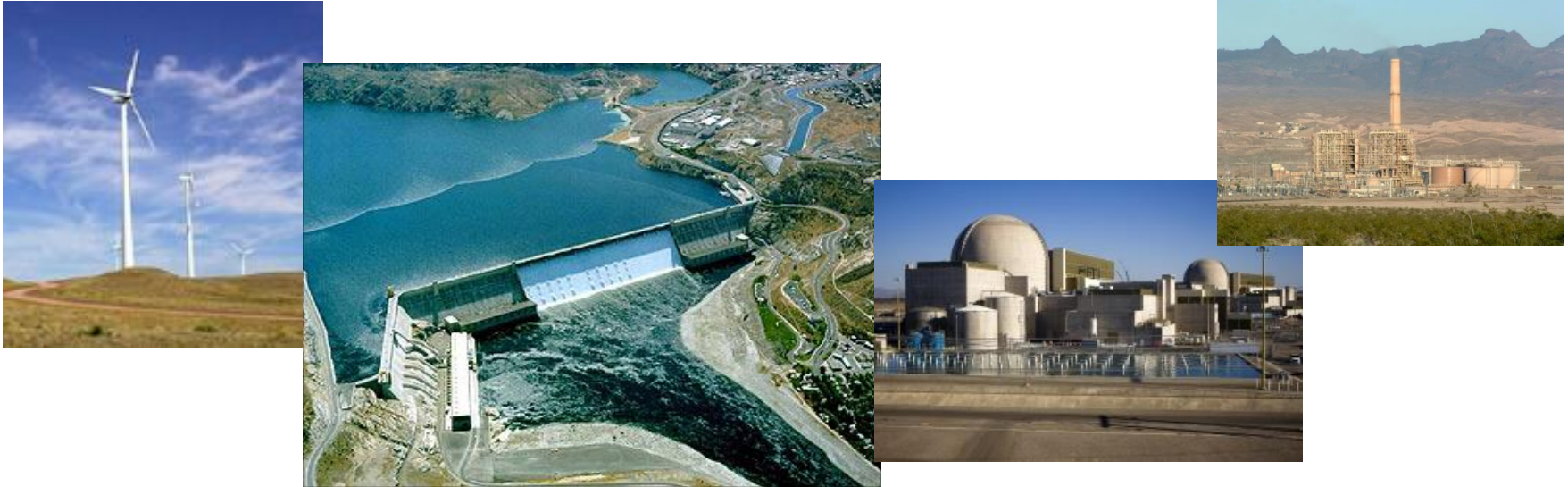
Plantas Generadoras

Tasa de respuesta

Unidades de Regulación

- Las unidades hidroeléctricas pueden responder rápidamente a los cambios de carga. Dado que están en línea tanto como sea posible (debido a su bajo costo operativo), las empresas de servicios públicos suelen utilizarlos como *unidades reguladoras*
- *Unidades de regulación* ajustar sus salidas hacia arriba o hacia abajo a medida que la carga aumenta y disminuye o los horarios de energía cambian

Resumen...

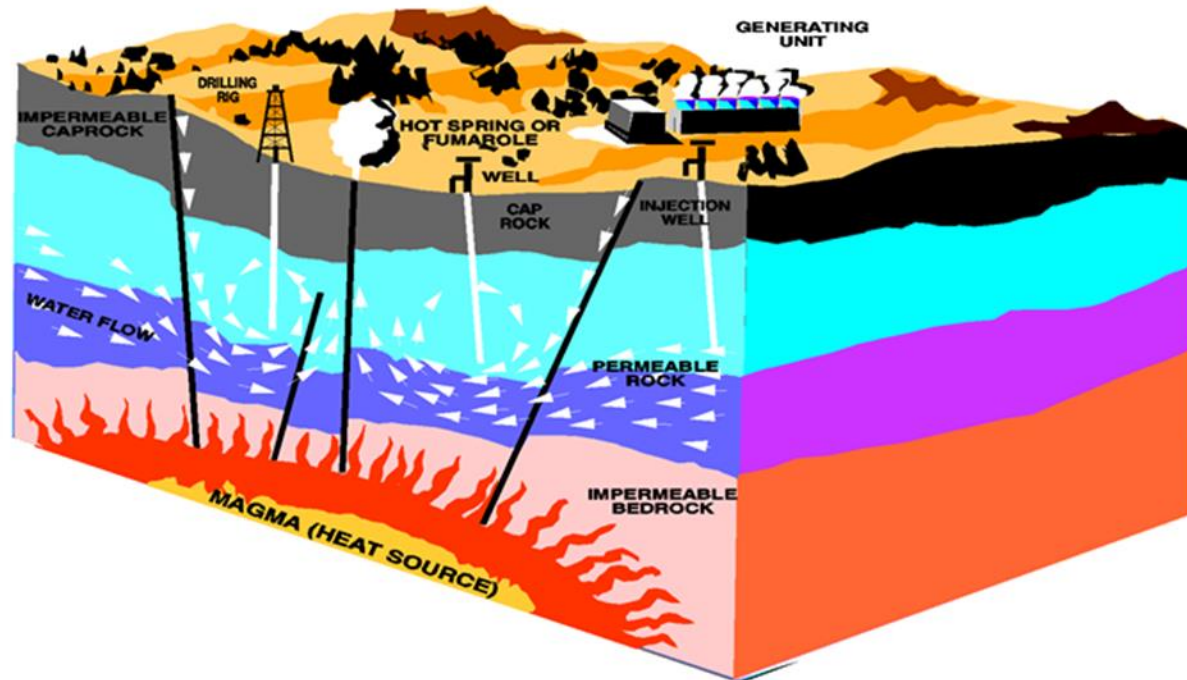


Cada fuente de energía tiene sus ventajas y desventajas...

La red eléctrica necesita una MEZCLA de fuentes de energía...
y UNA sola fuente no puede satisfacer todas las necesidades de la red.

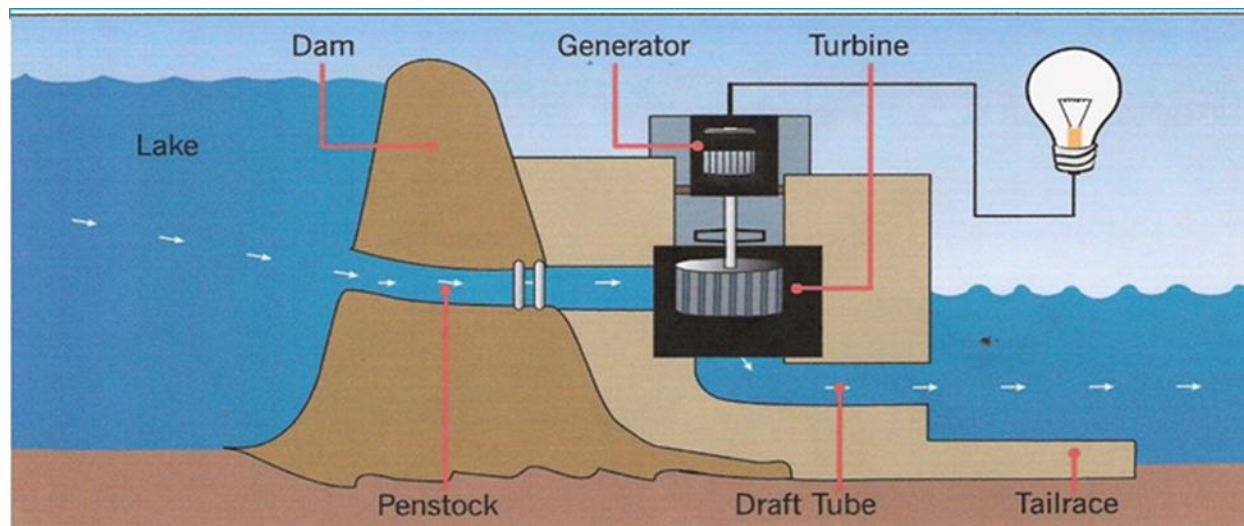
Comprueba tu conocimiento

¿Cuáles son los componentes clave y la función de este tipo de central eléctrica?



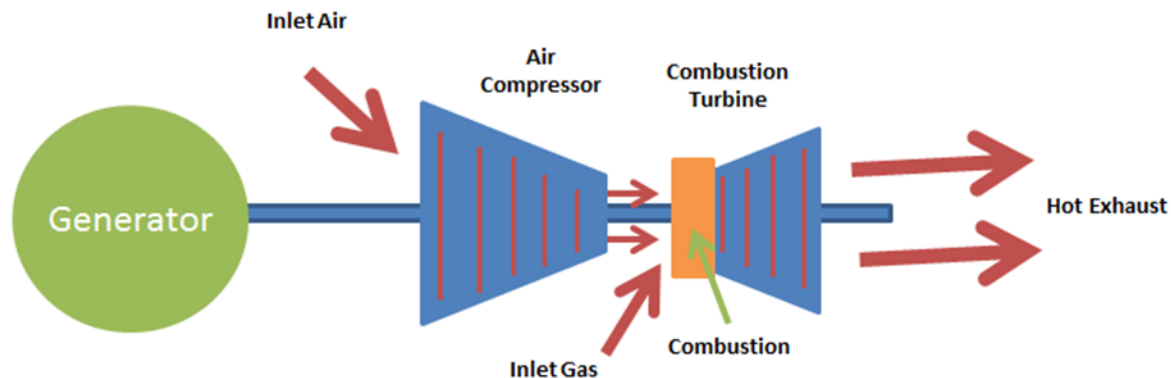
Comprueba tu conocimiento

¿Cuáles son los componentes clave y la función de este tipo de central eléctrica?



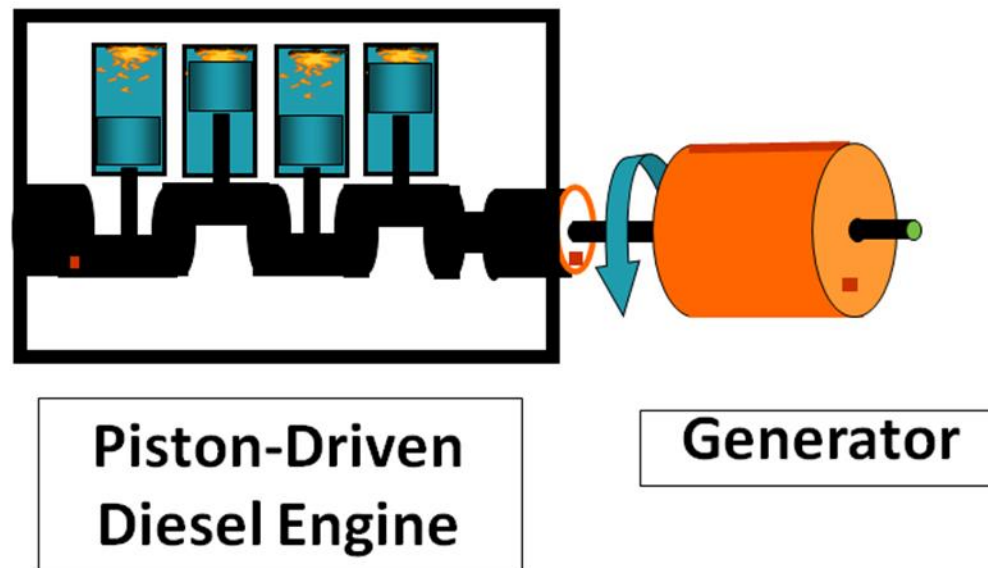
Comprueba tu conocimiento

¿Cuáles son los componentes clave y la función de este tipo de central eléctrica?



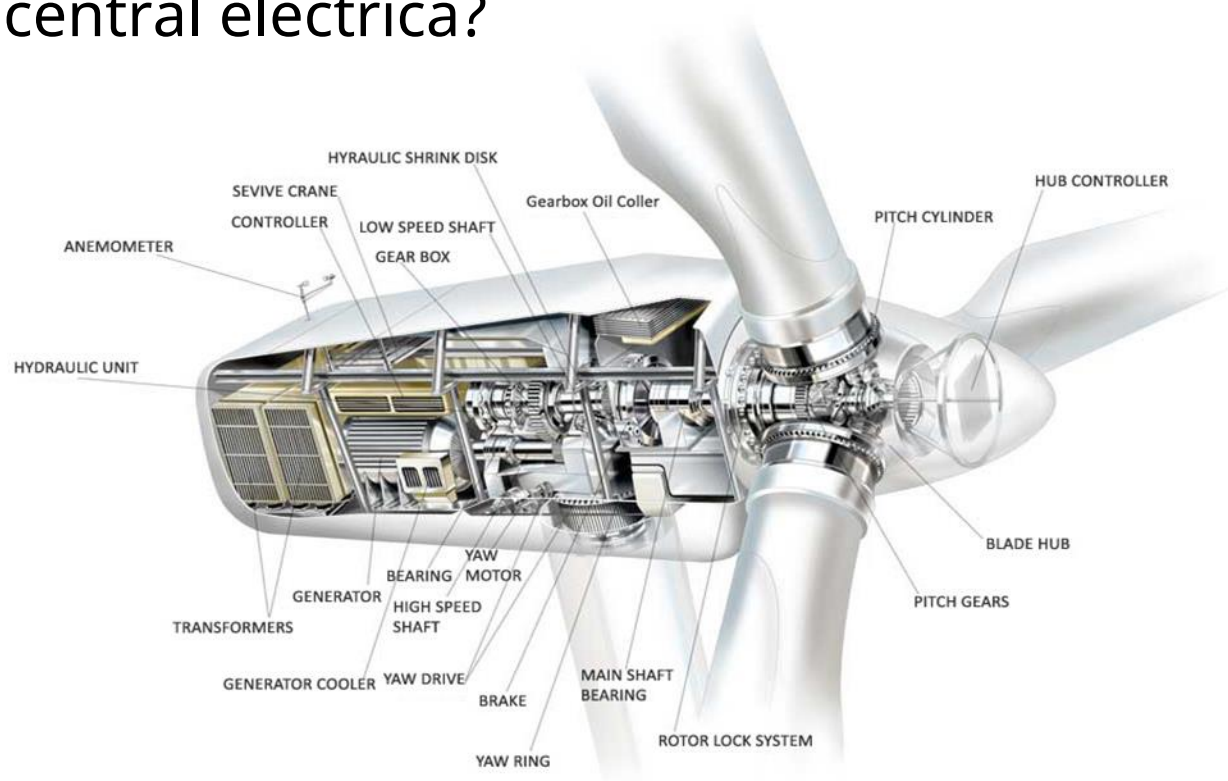
Comprueba tu conocimiento

¿Cuáles son los componentes clave y la función de este tipo de central eléctrica?



Comprueba tu conocimiento

¿Cuáles son los componentes clave y la función de este tipo de central eléctrica?



Comprueba tu conocimiento

¿Cuáles son los componentes clave y la función de este tipo de central eléctrica?

