

## 1. SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

La generación de energía eléctrica se ha basado históricamente en el uso de combustibles fósiles principalmente; sin embargo se pronostica que habrá desabasto de estos combustibles para las próximas décadas. Esto se puede prever fácilmente debido al pronóstico que se tiene de la escasez del petróleo, siendo este el combustible fósil por excelencia, es de obviarse que afectará a todo el sector energético, no solo de México, sino, del mundo.

Debido a que el uso de estos combustibles son causa principal del calentamiento global, y derivado de este el cambio climático, inducido por el exceso de dióxido de carbono y vapor de agua en la atmosfera, que los seres humanos generan principalmente por la industria y la propia generación de energía eléctrica, esto nos da como prioridad en la agenda a nivel mundial, dicho suceso; es indispensable e impostergable buscar fuentes alternativas para generar energía y destinar los recursos necesarios para desarrollar estas tecnologías; llevar a cabo estudios de los efectos que producen en su conexión con la red eléctrica y capacitar adecuadamente a gente que estará a cargo de su implementación.

En México, la competitividad en la industria que hace uso intenso de energía ha sido impactada debido a las fluctuaciones en los precios de los energéticos, especialmente del gas natural, lo que también induce un crecimiento en el costo de la electricidad. Se habla también de la evolución reciente de las tarifas de alta tensión de Comisión Federal de Electricidad (CFE), ocasionado por la misma causa antes mencionada.

El escenario descrito obliga a buscar alternativas confiables para el suministro energético, tales como combustibles alternativos, generación propia de electricidad por parte de las empresas, privilegiando los esquemas de cogeneración, y la implementación de medidas de ahorro y uso eficiente de energía.

Destaca la comparación de costo entre los ciclos combinados de CFE y los de los Productores Independientes de Energía (PIE's), donde la relación de costos de generación es casi de 2 a 1. No sabemos si la relación de costos se deba a diferencia en costos de adquisición del gas natural o a

que algunos ciclos combinados de CFE pudieron haber utilizado diesel, combustible alternativo en algunas plantas de ciclo combinado. Tal vez se deba a que los ciclos combinados de los 70s y 80s (CFE instaló algunos en esos años) tenían eficiencias muy inferiores a los ciclos combinados que los Productores Independientes de Energía han instalado recientemente.

Una de las alternativas a la que se apela en nuestro país, es la generación hidroeléctrica, debido a las grandes corrientes de agua que hay en nuestro país, sin embargo, no todas estas corrientes de agua cumplen con las condiciones idóneas, además analizando más a fondo, no es tan barata como podríamos esperar. Quizás se deba a la cantidad de personal, al aprovechamiento al activo, al pasivo laboral o a un bajo factor de planta. La incertidumbre en las últimas declaraciones se debe a que carecemos de detalles en la estructura de costos. Además un punto en contra en este tipo de plantas de generación es, que no se pueden tener en funcionamiento por lapsos de tiempo muy prolongados, o de manera constante, debido a que dependen de la acumulación de agua en sus vasos, en la mayoría de las que se cuentan en México; o bien dependen de la temporada de lluvias, en los casos de la hidroeléctricas de agua corriente.

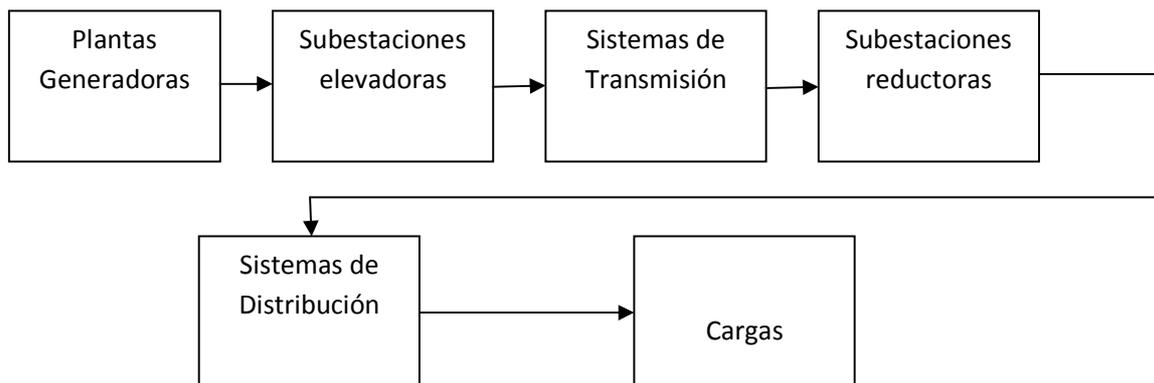
Las necesidades inherentes al crecimiento de la población, por lo tanto de las necesidades básicas, y de igual manera de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP's), demandan una evolución similar en las estrategias de operación y control en los equipos del SEP para un mejor desempeño y uso para la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Un sistema de energía eléctrica consiste en una gran diversidad de cargas eléctricas repartidas en una región en las plantas generadoras para producir la energía eléctrica consumida por las cargas, una red de transmisión y de distribución para transportar esa energía de las plantas generadoras a los puntos de consumo, y todo el equipo adicional necesario para lograr que el suministro de energía se realice con las características de continuidad de servicio, de regulación de la tensión y de control de la frecuencia requeridas.

La carga global de un sistema está constituida por un gran número de cargas individuales de diferentes clases (industrial, comercial, residencial). La potencia suministrada en cada instante por un sistema es la suma de la potencia absorbida por las cargas más las pérdidas en el sistema. Aunque la conexión y la desconexión de las cargas individuales, es impredecible, o mejor dicho, es

un fenómeno aleatorio, la potencia total varía en función del tiempo, siguiendo una curva que puede predeterminarse con bastante aproximación y que depende de las actividades humanas en la región a la que el sistema alimenta de energía eléctrica.

En este esquema se muestra los principales elementos de un sistema de energía eléctrica.



En general, las plantas generadoras están alejadas del centro de consumo y conectadas a estos a través de una red de alta tensión, aunque algunas plantas generadoras pueden ser conectadas directamente al sistema de distribución.

La tensión se eleva a la salida de los generadores para realizar la transmisión de energía eléctrica en forma económica, y se reduce en la proximidad de los centros de consumo para alimentar el sistema de distribución a una tensión adecuada. Esta alimentación puede hacerse directamente desde la red de transmisión, reduciendo la tensión en un solo paso al nivel de distribución, o a través de un sistema de subtransmisión o repartición, utilizando un nivel de tensión intermedio.

La elevación y la reducción de la tensión y la interconexión de los distintos elementos del sistema se realizan en las subestaciones, que constituyen los nodos de la red cuyas ramas están compuestas por las líneas. De acuerdo con la función que realizan, las subestaciones pueden clasificarse en:

- a) Subestaciones elevadoras de las plantas generadoras.
- b) Subestaciones de Interconexión de la red de alta tensión.

c) Subestaciones reductoras para alimentar los sistemas de subtransmisión o de distribución.

Los sistemas de distribución pueden adoptar diversas disposiciones, ya sea que la distribución se haga con líneas aéreas o subterráneas y diversos arreglos de la topología del sistema: radial, en anillo o en red, que a final de cuentas son las configuraciones, que por llamarlo de algunas manera, adoptaran la forma del nombre, para cubrir las necesidades de la región a alimentar, o bien para reducir perdidas y evitar colapsos del sistema. Esto depende en gran parte de la densidad de carga en un área determinada y del tipo de carga.

El suministro de energía eléctrica debe realizarse con una calidad adecuada, de manera que los aparatos que utilizan la energía eléctrica funcionen correctamente. La calidad del suministro de energía eléctrica queda definida por los siguientes tres factores: continuidad del servicio, regulación de voltaje y control de frecuencia.

La energía eléctrica ha adquirido tal importancia en la vida moderna, que una interrupción de suministro causa trastornos y pérdidas económicas insostenibles. Para asegurar la continuidad del suministro deben tomarse las disposiciones necesarias para hacer frente a una falla en algún elemento del sistema. A continuación se menciona las principales disposiciones:

- a) Disponer de la reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida de servicio o indisponibilidad, de cierta capacidad de generación.
- b) Disponer de un sistema de protección automático que permita eliminar con la rapidez necesaria cualquier elemento del sistema que ha sufrido una avería.
- c) Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión posible sobre el resto del sistema.
- d) Disponer de los circuitos de alimentación de emergencia para hacer frente a una falla en alimentación normal.
- e) Disponer de los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones, cuando estas no han podido ser evitadas.

## 1.1 TIPOS DE GENERACIÓN

**Planta de Generación:** Una planta de generación de energía es un complejo creado por el hombre destinado a transformar la proveniente de alguna fuente de la naturaleza en una forma de energía útil para el hombre.

La planta de generación de energía viene a ser un complejo destinado a obtener energía de alguna fuente de energía de la naturaleza.

### **Clasificación de las plantas de generación de energía**

La primera clasificación de estas plantas se puede hacer tomando como base el tipo de fuente de energía que utilice. De esta manera se tendrán:

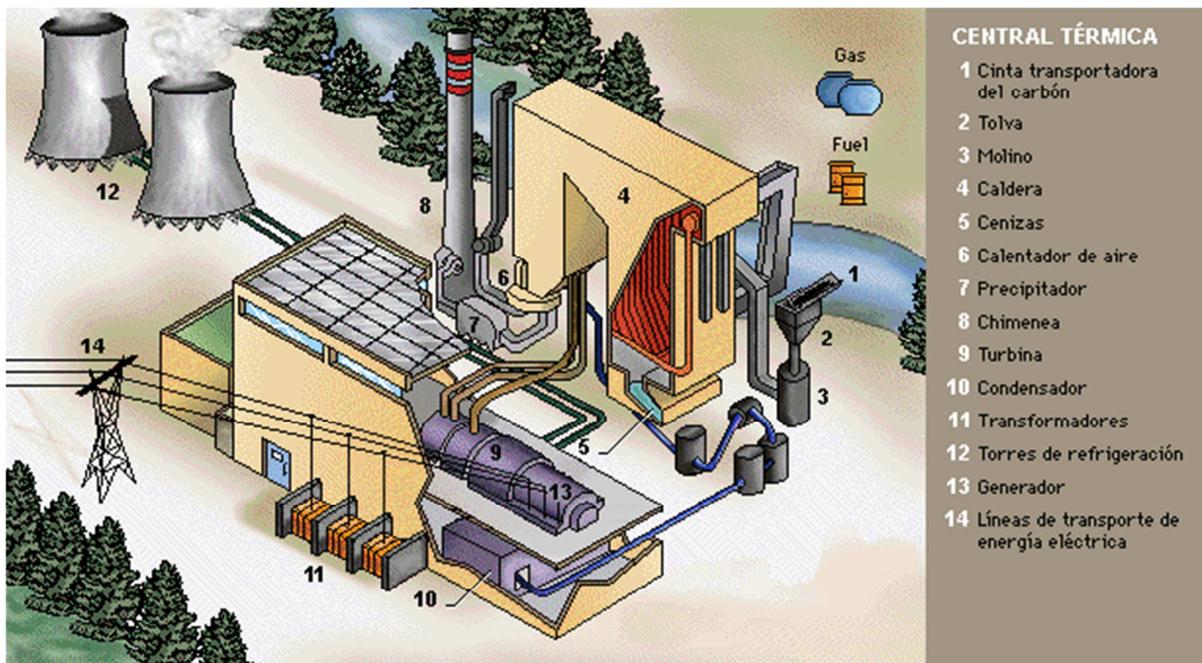
- Plantas térmicas.
- Plantas hidráulicas.
- Plantas eólicas.
- Plantas Solares.
- Plantas Nucleares
- Plantas geotermales.
- Plantas de fuentes novedosas o no tradicionales.

Las anteriores tienen como fuente de energía primaria respectivamente: El calor, el agua, el viento, el sol, y el calor de la tierra o una fuente novedosa que mediante un procedimiento diferente al tradicional permite transformar energía.

**Plantas Térmicas:** Se denominan centrales termoeléctricas clásicas o convencionales aquellas centrales que producen energía eléctrica a partir de la combustión de carbón, fueloil o gas en una caldera diseñada al efecto.

El apelativo de "clásicas" o "convencionales" sirve para diferenciarlas de otros tipos de centrales termoeléctricas (nucleares y solares, por ejemplo), las cuales generan electricidad a partir de un ciclo termodinámico, pero mediante fuentes energéticas distintas de los combustibles fósiles empleados en la producción de energía eléctrica desde hace décadas y, sobre todo, con tecnologías diferentes

y mucho más recientes que las de las centrales termoeléctricas clásicas. Independientemente de cuál sea el combustible fósil que utilicen (fuel-oil, carbón o gas), el esquema de funcionamiento de todas las centrales termoeléctricas clásicas es prácticamente el mismo. Las únicas diferencias consisten en el distinto tratamiento previo que sufre el combustible antes de ser inyectado en la caldera y en el diseño de los quemadores de la misma, que varían según sea el tipo de combustible empleado.



Una central termoeléctrica clásica posee, dentro del propio recinto de la planta, sistemas de almacenamiento del combustible que utiliza (parque de carbón, depósitos de fuel-oil) para asegurar que se dispone permanentemente de una adecuada cantidad de éste. Si se trata de una central termoeléctrica de carbón (hulla, antracita, lignito,...) es previamente triturado en molinos pulverizadores hasta quedar convertido en un polvo muy fino para facilitar su combustión. De los molinos es enviado a la caldera de la central mediante chorro de aire precalentado. Si es una central termoeléctrica de fuel-oil, éste es precalentado para que fluidifique, siendo inyectado posteriormente en quemadores adecuados a este tipo de combustible. Si es una central termoeléctrica de gas los quemadores están asimismo concebidos especialmente para quemar dicho

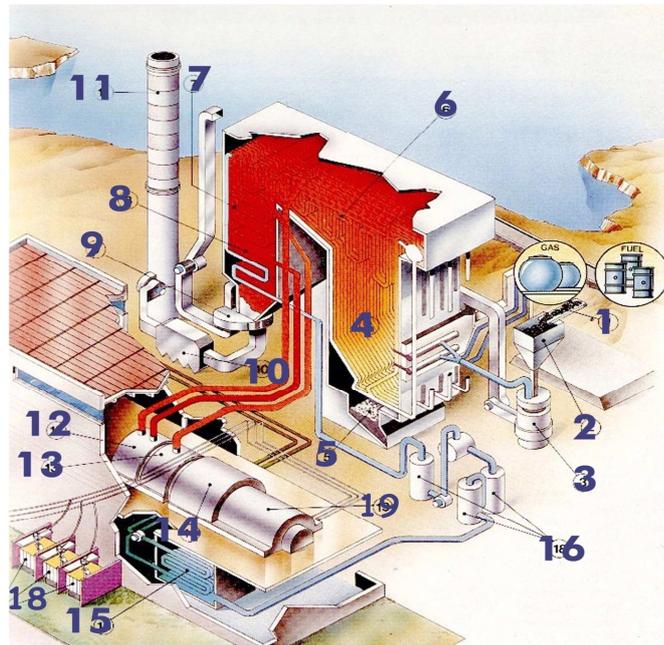
combustible. Las centrales termoeléctricas clásicas cuyo diseño les permite quemar indistintamente combustibles fósiles diferentes (carbón o gas, carbón o fuel-oil, etc.). Reciben el nombre de centrales termoeléctricas mixtas.

Una vez en la caldera, los quemadores provocan la combustión del carbón, fuel-oil o gas, generando energía calorífica. Esta convierte a su vez, en vapor a alta temperatura el agua que circula por una extensa red formada por miles de tubos que tapizan las paredes de la caldera. Este vapor entra a gran presión en la turbina de la central, la cual consta de tres cuerpos -de alta, media y baja presión, respectivamente- unidos por un mismo eje. En el primer cuerpo (alta presión) hay centenares de álabes o paletas de pequeño tamaño. El cuerpo a media presión posee asimismo centenares de álabes pero de mayor tamaño que los anteriores. El de baja presión, por último, tiene álabes aún más grandes que los precedentes. El objetivo de esta triple disposición es aprovechar al máximo la fuerza del vapor, ya que este va perdiendo presión progresivamente, por lo cual los álabes de la turbina se hacen de mayor tamaño cuando se pasa de un cuerpo a otro de la misma. Hay que advertir, por otro lado, que este vapor, antes de entrar en la turbina, ha de ser cuidadosamente deshumidificado. En caso contrario, las pequeñísimas gotas de agua en suspensión que transportaría serían lanzadas a gran velocidad contra los álabes, actuando como si fueran proyectiles y erosionando las paletas hasta dejarlas inservibles.

El vapor de agua a presión, por lo tanto, hace girar los álabes de la turbina generando energía mecánica. A su vez, el eje que une a los tres cuerpos de la turbina (de alta, media y baja presión) hace girar al mismo tiempo a un alternador unido a ella, produciendo así energía eléctrica. Esta es vertida a la red de transporte a alta tensión mediante la acción de un transformador.

Por su parte, el vapor -debilitada ya su presión- es enviado a unos condensadores. Allí es enfriado y convertido de nuevo en agua. Esta es conducida otra vez a los tubos que tapizan las paredes de la caldera, con lo cual el ciclo productivo puede volver a iniciarse.

1. Cinta transportadora
2. Tolva
3. Molino
4. Caldera
5. Cenizas
6. Sobrecalentador
7. Recalentador
8. Economizador
9. Calentador de aire
10. Precipitador
11. Chimenea
12. Turbina de alta presión
13. Turbina de media presión
14. Turbina de baja presión
15. Condensador
16. Calentadores
17. Torre de refrigeración
18. Transformadores
19. Generador



**Plantas Hidroeléctricas:** Una planta hidroeléctrica es la que aprovecha la energía hidráulica para producir energía eléctrica. Si se concentra grandes cantidades de agua en un embalse, se obtiene inicialmente, energía potencial, la que por la acción de la gravedad adquiere energía cinética o de movimiento pasa de un nivel superior a otro muy bajo, a través de las obras de conducción (la energía desarrollada por el agua al caer se le conoce como energía hidráulica), por su masa y velocidad, el agua produce un empuje que se aplica a las turbinas, las cuales transforman la energía hidráulica en energía mecánica.

Esta energía se propaga a los generadores que se encuentran acoplados a las turbinas, los que la transforman en energía eléctrica, la cual pasa a la subestación contigua o cerca de la planta. La subestación eleva la tensión o voltaje para que la energía llegue a los centros de consumo con la debida calidad.

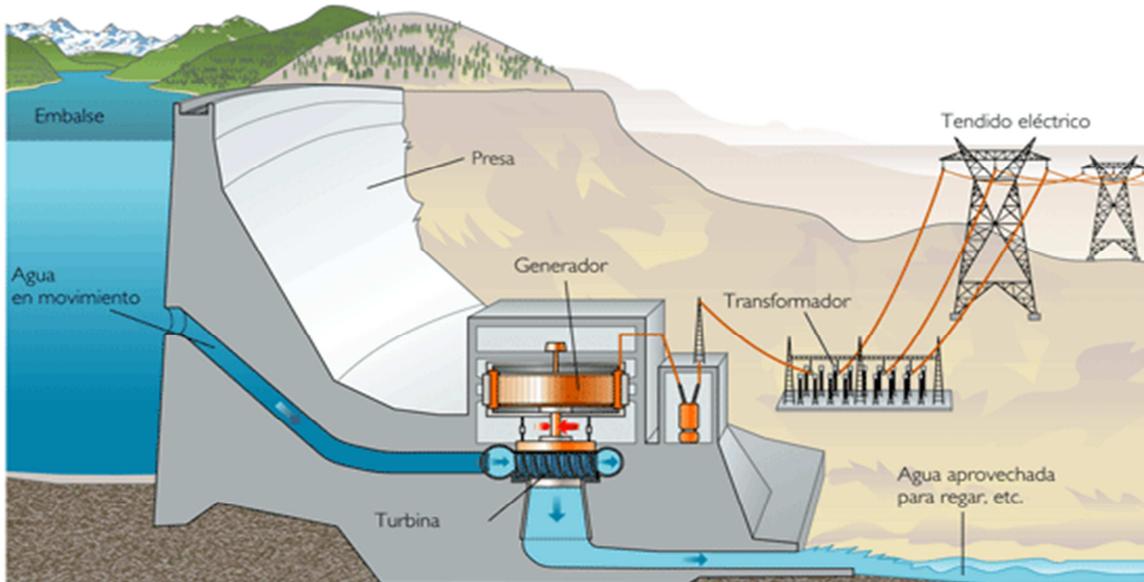
Las turbinas pueden ser de varios tipos, según los tipos de centrales:

1. Pelton: saltos grandes y caudales pequeños.
2. Francis: salto más reducido y mayor caudal.
3. Kaplan: salto muy pequeño y caudal muy grande.
4. De hélice

La energía hidroeléctrica es una de las más rentables, aunque el costo inicial de construcción es elevado, ya que sus gastos de explotación y mantenimiento son relativamente bajos. De todos modos tienen unos condicionantes:

- Las condiciones pluviométricas medias del año (las lluvias medias del año) deben ser favorables.
- El lugar de emplazamiento está supeditado a las características y configuración del terreno por el que discurre la corriente de agua.
- En las plantas hidroeléctricas el caudal de agua es controlado y se mantiene casi constante, transportándola por unos conductos, controlados con válvulas para así adecuar el flujo de agua que pasa por las turbinas, teniendo en consideración la demanda de electricidad, el agua luego sale por los canales de descarga de la planta.

**Centrales hidroeléctricas** Pueden ser clasificadas según varios argumentos, como características técnicas, peculiaridades del asentamiento y condiciones de funcionamiento.



1. Según utilización del agua, es decir si utilizan el agua como discurre normalmente por el cauce de un río o a las que ésta llega, convenientemente regulada, desde un lago o pantano.

- **Centrales de Agua Fluente:**

Llamadas también de agua corriente, o de agua fluyente. Se construyen en los lugares en que la energía hidráulica debe ser utilizada en el instante en que se dispone de ella, para accionar las turbinas hidráulicas. No cuentan con reserva de agua, por lo que el caudal suministrado oscila según las estaciones del año.

En la temporada de precipitaciones abundantes (de aguas altas), desarrollan su potencia máxima, y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca (aguas bajas), la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en la época del estío.

Su construcción se realiza mediante presas sobre el cauce de los ríos, para mantener un desnivel constante en la corriente de agua.

#### Centrales de Agua Embalsada:

- Se alimenta del agua de grandes lagos o de pantanos artificiales (embalses), conseguidos mediante la construcción de presas. El embalse es capaz de almacenar los caudales de los ríos afluentes, llegando a elevados porcentajes de captación de agua en ocasiones. Esta agua es utilizada según la demanda, a través de conductos que la encauzan hacia las turbinas.



### **Centrales de Regulación:**

Tienen la posibilidad de almacenar volúmenes de agua en el embalse, que representan periodos más o menos prolongados de aportes de caudales medios anuales.

Prestan un gran servicio en situaciones de bajos caudales, ya que el almacenamiento es continuo, regulando de modo conveniente para la producción. Se adaptan bien para cubrir horas punta de consumo.

### **Centrales de Bombeo:**

Se denominan 'de acumulación'. Acumulan caudal mediante bombeo, con lo que su actuación consiste en acumular energía potencial. Pueden ser de dos tipos, de turbina y bomba, o de turbina reversible.

La alimentación del generador que realiza el bombeo desde aguas abajo, se puede realizar desde otra central hidráulica, térmica o nuclear.

No es una solución de alto rendimiento, pero se puede admitir como suficientemente rentable, ya que se compensan las pérdidas de agua o combustible.

## **2. Según la altura del salto de agua o desnivel existente:**

### **Centrales de Alta Presión:**

Aquí se incluyen aquellas centrales en las que el salto hidráulico es superior a los 200 metros de altura. Los caudales desalojados son relativamente pequeños, 20 m<sup>3</sup>/seg por máquina.

Situadas en zonas de alta montaña, y aprovechan el agua de torrentes, por medio de conducciones de gran longitud. Utilizan turbinas Pelton y Francis.

### **Centrales de Media Presión:**

Aquellas que poseen saltos hidráulicos de entre 200 - 20 metros aproximadamente. Utilizan caudales de 200 m<sup>3</sup>/seg por turbina. En valles de media montaña, dependen de embalses

### **Centrales de Baja Presión:**

Sus saltos hidráulicos son inferiores a 20 metros. Cada máquina se alimenta de un caudal que puede superar los 300 m<sup>3</sup>/seg.

## **Plantas Eólicas**

La energía eólica es la energía cuyo origen proviene del movimiento de masa de aire es decir del viento.

En la tierra el movimiento de las masas de aire se deben principalmente a la diferencia de presiones existentes en distintos lugares de esta, moviéndose de alta a baja presión, este tipo de viento se llama viento geoestrófico.

Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía del viento a nosotros nos interesa mucho mas el origen de los vientos en zonas más específicas del planeta, estos vientos son los llamados vientos locales, entre estos están las brisas marinas que son debida a la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra , también están los llamados vientos de montaña que se producen por el calentamiento de las montañas y esto afecta en la densidad del aire y hace que el viento suba por la ladera de la montaña o baje por esta dependiendo si es de noche o de día.

La energía eólica es obtenida del viento a través de unas turbinas que la convierten en electricidad, con hélices que hacen girar un eje central conectado a un generador eléctrico por medio de engranajes.

En México podemos encontrar la planta eólica de “La Ventosa”, ésta se encuentra en Oaxaca, para ser más exactos en el Istmo de Tehuantepec en el pueblo de La Ventosa y es operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Tiene una capacidad de 1.5 M.W y una adicional en aerogeneradores y aerobombas.

La zona de La Ventosa, es ideal para este tipo de proyectos, pues posee velocidades de viento de entre 5 y 20 m/s.

## **Ventajas competitivas de la energía eólica**

Algunas de las ventajas de usar **energía eólica** como **energía renovable**:

- Reduce el uso de combustibles fósiles
- El tiempo de construcción es menor con respecto a otras fuentes de energía
- La búsqueda y desarrollo de nuevos diseños y materiales que sirvan para los aerogeneradores eólicos, hacen de la energía eólica una de las más dinámicas, por lo cual frecuentemente están saliendo al mercado nuevos productos más eficientes con mayor capacidad
- Pueden usarse materiales ecológicos para construcción de nuevas hélices

## **Uso de energía eólica en México**

En México, el **desarrollo** tecnológico para el uso de este tipo de energía, se inició con un programa de aprovechamiento del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), hace ya muchos años, en febrero de 1977.

El uso de **energía eólica en México** aún es joven pues existen muchas zonas por explorar en búsqueda de un terreno propicio para la apertura de plantas eólicas. Sin embargo, las mediciones de pequeñas redes anemométricas, realizadas principalmente por el IIE y algunas otras entidades o empresas, han servido para saber de la existencia de vientos aprovechables y económicamente viables en las siguientes regiones:

- Península de Baja California
- Península de Yucatán
- Las costas del país
- El altiplano norte

## Factores que influyen en la cantidad de potencia del viento

La energía eólica es aprovechada por nosotros básicamente por un sistema de un rotor que gira a medida que pasa viento por este.

La potencia del viento depende principalmente de 3 factores:

1. Área por donde pasa el viento (rotor)
2. Densidad del aire
3. Velocidad del viento

Para calcular la fórmula de potencia del viento se debe considerar el flujo másico del viento que va dado por:

$\rho$  : Densidad del viento

$A$  : Área por donde pasa el viento

$V$  : Velocidad del viento

Entonces el flujo másico viene dado por la siguiente expresión:

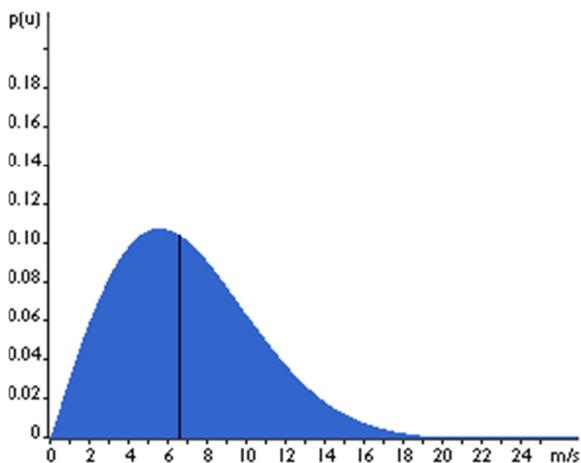
$$M = \rho AV$$

Entonces la potencia debido a la energía cinética está dada por:

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

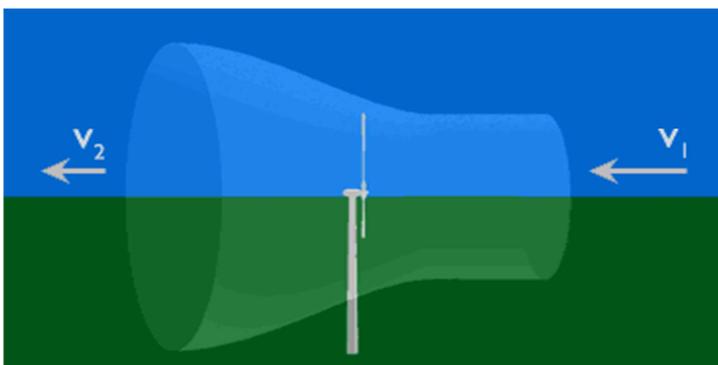
## Algunas consideraciones con respecto al viento

Como la mayoría de las personas saben el viento no siempre se mantiene constante en dirección y valor de magnitud, es más bien una variable aleatoria, algunos modelos han determinado que el viento es una variable aleatoria con distribución weibull como la que muestra la siguiente figura



Dado que la energía del viento depende la velocidad del viento, ¿Cual seria la energía potencia que entrega el viento?

Para calcular la potencia promedio que es **aprovechada** por el rotor debemos usar la llamada ley de Betz que es demostrada de la siguiente manera:



Supongamos que la velocidad a la que entra el viento al tubo de corriente es de valor  $V_1$  y a la velocidad que sale es de  $V_2$ , podemos suponer que la velocidad a la que el viento entra al aerogenerador es de  $(V_1+V_2)/2$ .

El flujo másico que entra al rotor entonces tiene valor de:

$$M = \rho A \frac{(V_1 + V_2)}{2}$$

Dado que en tubo de corriente se debe conservar la potencia, la potencia que entra a velocidad  $V_1$  tiene que ser igual a la suma de la potencia que sale a velocidad  $V_2$  y la que se va por el rotor.

Entonces la potencia que se va por el rotor es:

$$P_{\text{rotor}} = \frac{1}{2} M (V_2^2 - V_1^2)$$

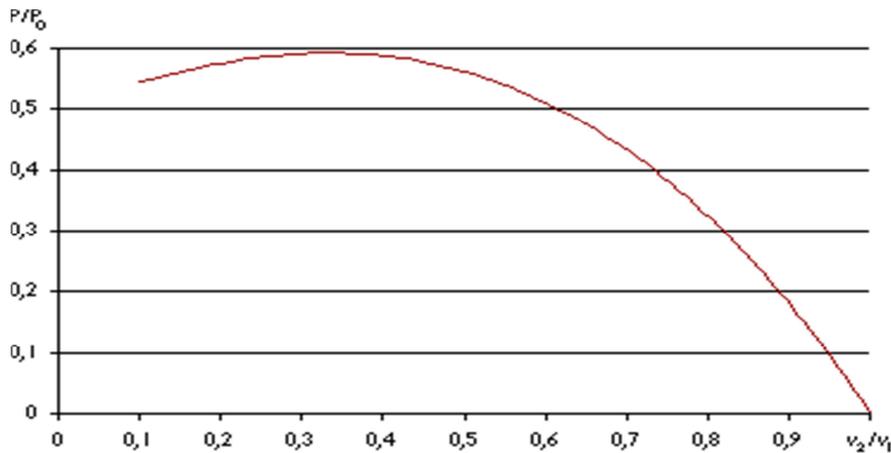
Y reemplazando la masa nos queda:

$$P = (\rho/4) (v_1^2 - v_2^2) (v_1+v_2) A$$

La potencia que lleva el viento antes de llegar al rotor viene dado por:

$$P_0 = (\rho/2) v_1^3 A$$

Ahora si la comparamos con la potencia que lleva el viento nos da la siguiente grafica:



Cuyo máximo viene dado por 0.59 aproximadamente, es decir la máxima potencia que se puede extraer del viento es de **0.59 veces esta potencia**

### Principio de operación de las máquinas eólicas

Los molinos de viento, aeromotores, máquinas eólicas (términos que pueden ser considerados sinónimos), o los aerogeneradores, o turbinas eólicas en su acepción, son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica.

Aunque existen dos tipos básicos de molinos, eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es esencialmente el mismo. La captación de la energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las **palas**, las cuales están unidas al eje a través de un elemento denominado **cubo** (conjunto que recibe el nombre de **rotor**). El principio aerodinámico, por el cual este conjunto gira, es similar al que hace que los aviones vuelen.



Según este principio, el aire que es obligado a fluir por las caras superior e inferior de una placa o perfil inclinado genera una diferencia de presiones entre ambas caras, dando origen a una **fuerza resultante (R)** que actúa sobre el perfil. Descomponiendo esta fuerza en dos direcciones se obtiene:

- a) La **fuerza de sustentación (S)**, o simplemente **sustentación**, de dirección perpendicular al viento.
  
- b) La **fuerza de arrastre (A)**, de dirección paralela

Para favorecer la circulación del aire sobre la superficie de las palas, evitar la formación de torbellinos y maximizar la diferencia de presiones, se eligen perfiles de pala con formas convenientes

desde el punto de vista aerodinámico. Según como estén montadas las palas con respecto al viento y al eje de rotación, la fuerza que producirá el par motor será predominantemente la fuerza de arrastre o la de sustentación. Con excepción de las panémonas y los rotores tipo Savonius, en todas las máquinas modernas la fuerza dominante es la de sustentación pues permite obtener, con menor peso y costo, mayores potencias por unidad de área del rotor. Analizaremos únicamente el comportamiento aerodinámico de las turbinas eólicas cuyo par motor está originado por las fuerzas de sustentación.

Como la fuerza de sustentación es la única que dará origen al par o cupla motora habrá que diseñar el perfil y ubicar las palas dándole un **ángulo de ataque ( $\alpha$ )** que haga máxima la relación **fuerza de sustentación/fuerza de arrastre**.

Si el viento no supera la denominada **velocidad de puesta en marcha** (valor mínimo necesario para vencer los rozamientos y comenzar a producir trabajo útil) no es posible el arranque de un molino. Con velocidades mayores comenzará a girar entregando una potencia que responde a la conocida ley del cubo de la velocidad. Esto será así hasta que se alcance la **potencia nominal**, generalmente la máxima que puede entregar, punto en que comienzan a actuar mecanismos activos o pasivo de regulación para evitar que la máquina trabaje bajo condiciones para las cuales no fue diseñada. Continuará operando a velocidades mayores, aunque la potencia entregada no será muy diferente a la nominal, hasta que se alcance la **velocidad de corte** donde, por razones de seguridad, se detiene.



### **Tipos de máquinas eólicas**

Desde los comienzos de la utilización de la energía eólica se han desarrollado gran cantidad de máquinas de los tipos más variados. Se dice que los pedidos de patentes superan a las de cualquier otro dispositivo que se haya ideado. De todos ellos, son relativamente pocos los que se generalizaron y alcanzaron escala de producción comercial.

Se acostumbra clasificar las máquinas eólicas según la posición del eje de rotación con respecto a la dirección del viento, pudiéndolos dividir en dos categorías principales:

- Molinos de eje

Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento.

- Molinos de eje vertical.

Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento

Existen otros tipos, como los molinos de eje horizontal perpendicular a la dirección del viento, o los que utilizan el desplazamiento de un móvil. Ambos casos podemos considerarlos como anecdóticos pues no han demostrado ser muy eficaces ni prácticos por lo que su desarrollo fue abandonado.



## **Plantas Solares:**

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica.

Esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se puede profundizar:

1. La energía solar se puede transformar de dos maneras:

La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos.

La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

2. La energía solar fotovoltaica se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas, para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional.

3. Es necesario disponer de un sistema formado por equipos especialmente contruidos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones. En el caso particular de América Central, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa muy interesante, desde las perspectivas técnica y económica, pues la región dispone durante todo el año de abundante radiación solar.

Según las clasificaciones de la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones del mundo, América Central es una región muy privilegiada con respecto del recurso solar disponible, aunque siempre es necesario evaluar el potencial solar de un sitio específico donde se planea instalar un sistema fotovoltaico.

La energía del sol es un recurso de uso universal; por lo tanto, no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante recordar que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado. El costo de utilizar la energía solar no es más que el costo de comprar, instalar y mantener adecuadamente el sistema fotovoltaico.

### **Recogida directa de energía solar**

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

### **Colectores de placa plana**

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

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

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

### **Colectores de concentración**

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

## **Hornos solares**

Los hornos solares son una aplicación importante de los concentradores de alta temperatura. El mayor, situado en Odeillo, en la parte francesa de los Pirineos, tiene 9.600 reflectores con una superficie total de unos 1.900 m<sup>2</sup> para producir temperaturas de hasta 4.000 °C. Estos hornos son ideales para investigaciones, por ejemplo, en la investigación de materiales, que requieren temperaturas altas en entornos libres de contaminantes.

## **Receptores centrales**

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

## **Enfriamiento solar**

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

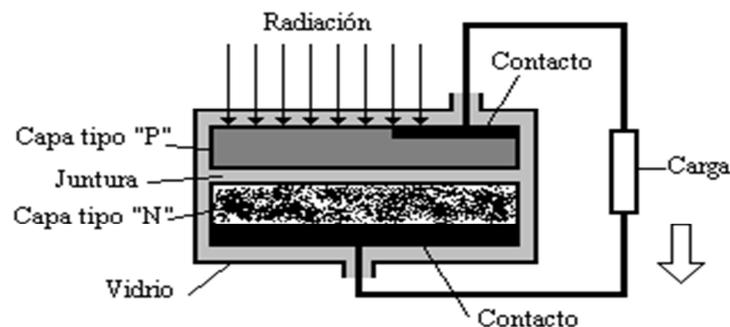
## **Electricidad fotovoltaica**

Las células solares hechas con obleas finas de silicio, arseniuro de galio u otro material semiconductor en estado cristalino, convierten la radiación en electricidad de forma directa. Ahora se dispone de células con eficiencias de conversión superiores al 30%. Por medio de la conexión de muchas de estas células en módulos, el coste de la electricidad fotovoltaica se ha reducido mucho. El uso actual de las células solares se limita a dispositivos de baja potencia, remotos y sin mantenimiento, como boyas y equipamiento de naves espaciales.

## Generación solar

La energía radiante del Sol puede transformarse en forma directa en energía eléctrica de corriente continua, mediante el uso de *captoreadores*. A nivel del suelo, la radiación solar puede estimarse en  $1000 \text{ W/m}^2$ . Una parte de esa energía puede captarse por medio de las *células fotovoltaicas*, que se encargan de convertir los fotones incidentes en electrones libres. Estas células consisten en un monocristal del tipo semiconductor de silicio con impurezas.

La figura nos muestra la conformación de una célula y su circuito eléctrico externo.



Esta célula suele ser un círculo de unos 100 mm de diámetro y en las condiciones de  $1000 \text{ W/m}^2$  de energía total recibida, con un rendimiento de este tipo de dispositivo del orden del 12 al 14 %, pudiendo suministrar una potencia del orden de 1 Watt. Este disco se comporta como un generador elemental de tensión 0,58 Volt a circuito abierto y puede suministrar en condiciones de corto circuito unos 2,3 Ampere.

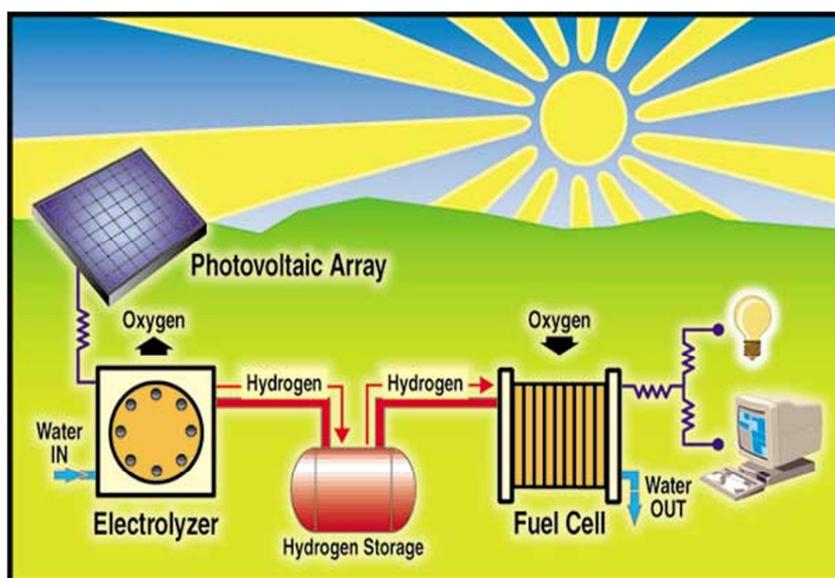
Estas células se agrupan en serie de 35, formando lo que se denomina *paneles solares*.

Se pueden encontrar modelos de los siguientes valores:

- Potencia (típica + 10%) 42,0 W
- Corriente típica en carga 2,9 A

- Tensión típica en carga 14,5 V
- Corriente de cortocircuito 3,26 A
- Tensión de circuito abierto 18,0 V

La instalación típica de los paneles solares se debe a un esquema como el siguiente:

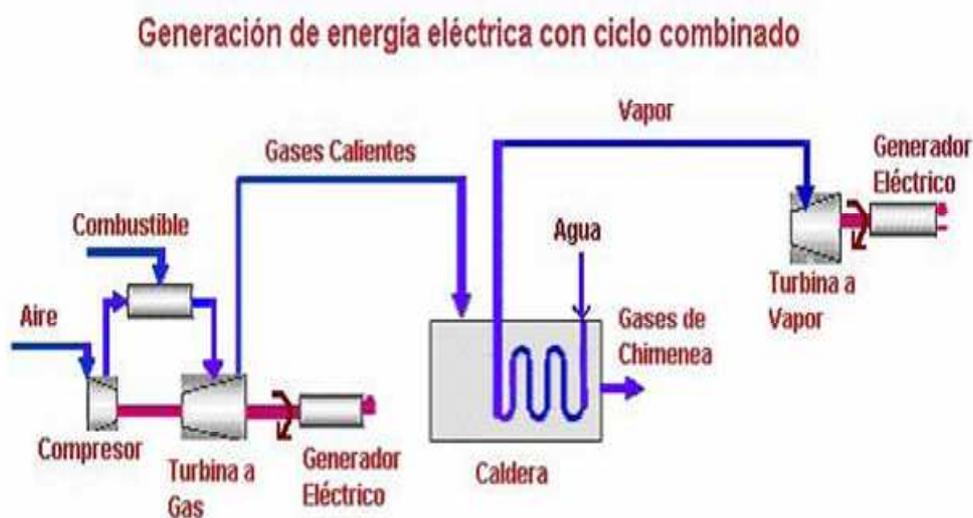


El panel solar se acopla a un cargador de baterías, que permite la *acumulación de energía*. Por eso, se emplea una *batería de acumuladores* que carga durante las horas de mayor radiación y devuelve durante las horas nocturnas. A la salida se le debe agregar, un *convertidor continua-alterna* de tipo electrónico.

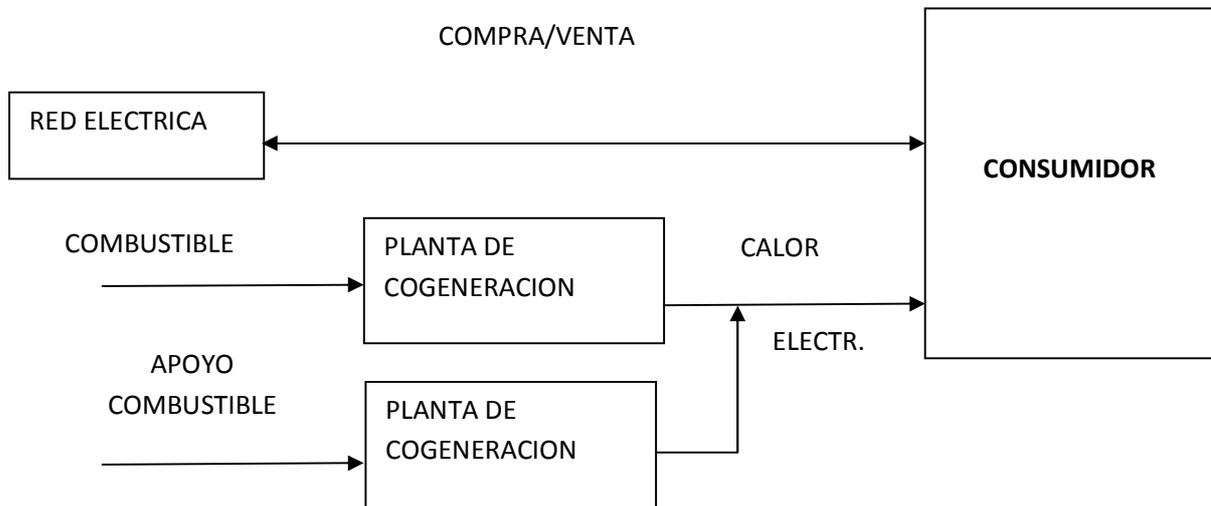


## 1.2 CENTRALES DE CICLO COMBINADO

Para entrar propiamente en el tema de las Centrales de Generación del tipo Ciclo combinado, tenemos que hablar del término cogeneración. Los sistemas de cogeneración son sistemas de producción conjunta de electricidad (o energía mecánica) y de energía térmica útil (calor) partiendo de un único combustible. El gas natural es la energía primaria más utilizada para el funcionamiento de las centrales de cogeneración de electricidad calor, las cuales funcionan con turbinas o motores de gas. No obstante, también se pueden utilizar fuentes de energía renovables y residuos como biomasa o residuos que se incineran.



En un proceso de cogeneración, el calor se presenta en forma de vapor de agua a alta presión o en forma de agua caliente. Por ejemplo, se puede utilizar el vapor caliente que sale de una turbina de producción de energía eléctrica, para suministrar energía para otros usos. Hasta hace poco lo usual era dejar que el vapor se enfriara, pero con esta técnica, con el calor que le queda al vapor se calienta agua para distintos usos. Aquí es donde entran la cogeneración, es decir, en el aprovechamiento del calor residual; los sistemas de cogeneración presentan rendimientos globales del orden del 85%, lo que implica que el aprovechamiento simultáneo de electricidad y calor favorezca la obtención de elevados índices de ahorro energético, así como una disminución importante de la factura energética, sin alterar el proceso productivo, ahorro energético que se incrementa notablemente si se utilizan energías residuales.



En una central eléctrica tradicional los humos salen directamente por la chimenea, mientras que en una planta de cogeneración los gases de escape se enfrían transmitiendo su energía a un circuito de agua caliente/vapor. Una vez enfriados los gases de escape pasan a la chimenea.

Las centrales de cogeneración de electricidad-calor pueden alcanzar un rendimiento energético del orden del 90%. El procedimiento es más ecológico, ya que durante la combustión el gas natural libera menos dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y óxido de nitrógeno (NOX) que el petróleo o el carbón. El desarrollo de la cogeneración podría evitar la emisión de 127 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en la Unión Europea (UE) en 2010 y de 258 millones de toneladas en 2020, ayudando a cumplir los objetivos fijados en el **Protocolo de Kioto** .

Ventajas:

- Ahorra energía y mejora la seguridad del abastecimiento.
- Disminuye las pérdidas de la red eléctrica, especialmente porque las centrales de cogeneración se suelen situar próximas a los lugares de consumo
- Aumenta la competencia entre los productores
- Permite crear nuevas empresas
- Se adapta bien a las zonas aisladas o ultraperiféricas

Existen plantas con motores alternativos que utilizan gas, gasóleo o fuel-oil como combustible. Son muy eficientes eléctricamente, pero son poco eficientes térmicamente. El sistema de recuperación térmica se diseña en función de los requisitos de la industria y en general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 10 bares), aceite térmico y en el aprovechamiento del circuito de alta temperatura del agua de refrigeración del motor. Son también adecuadas la producción de frío por absorción, bien a través del vapor generado con los gases en máquinas de doble efecto, o utilizando directamente el calor del agua de refrigeración en máquinas de simple efecto.

También hay plantas con turbinas de vapor, en estos sistemas, la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional. El uso de esta turbina fue el primero en cogeneración. Actualmente su aplicación ha quedado prácticamente limitada como complemento para ciclos combinados o en instalaciones que utilizan combustibles residuales, como biomasa o residuos que se incineran.

La aplicación conjunta de una turbina de gas y una turbina de vapor es lo que se denomina "Ciclo Combinado".

Hay también plantas con turbinas de gas, en los sistemas con turbina de gas se quema combustible en un turbogenerador, cediendo parte de su energía para producir energía mecánica. Su rendimiento de conversión es inferior al de los motores alternativos, pero presentan la ventaja de que permiten una recuperación fácil del calor, que se encuentra concentrado en su práctica totalidad en sus gases de escape, que está a una temperatura de unos 500°C, idónea para producir vapor de agua, en un generador de recuperación.

Se diferencian 2 tipos de ciclos:

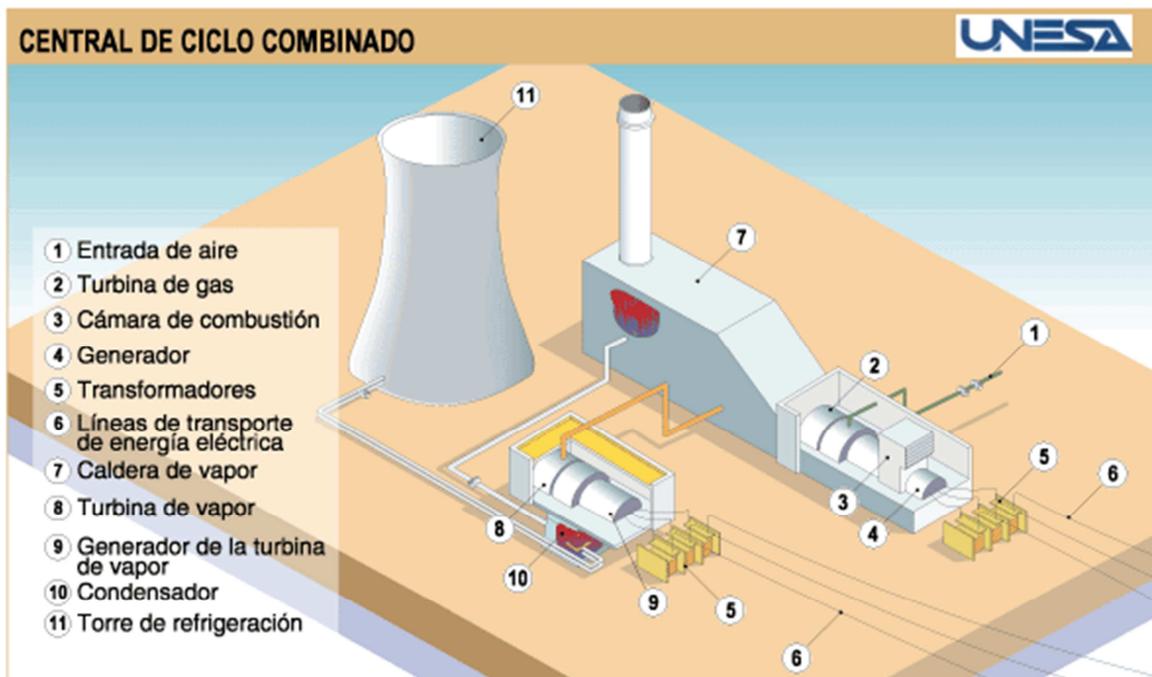
- a) Simple: cuando el vapor se produce a la presión de utilización del usuario.
- b) Combinado: cuando el vapor se produce a alta presión y temperatura para su expansión previa en una turbina de vapor.

Hablando de la planta del primer inciso, anterior, es la planta clásica de cogeneración y su aplicación es adecuada cuando los requisitos de vapor son importantes (>10 t/h), situación que se encuentra

fácilmente en numerosas industrias (alimentación, química, papelera). Son plantas de gran fiabilidad y económicamente rentables cuando están diseñadas para una aplicación determinada.

El diseño del sistema de recuperación de calor es fundamental, pues su economía está directamente ligada al mismo, ya que a diferencia de las plantas con motores alternativos el precio del calor recuperado es esencial en un ciclo simple de turbina de gas.

Una vez descritos los antecedentes de la cogeneración podríamos definir una Central de Ciclo Combinado (CC): como un Sistema Energético altamente eficiente, de bajos costes de inversión en comparación con los restantes Sistemas Energéticos de Generación de Electricidad, de un corto plazo de ejecución, con una gran flexibilidad de operación, con un bajo impacto ambiental, que puede instalarse próximo a los Centros de consumo; con el consiguiente ahorro en pérdidas por transporte, y sin que sea necesario instalar nuevas líneas de Alta Tensión, y usando un combustible, de fácil transporte y manejo como es el Gas Natural.

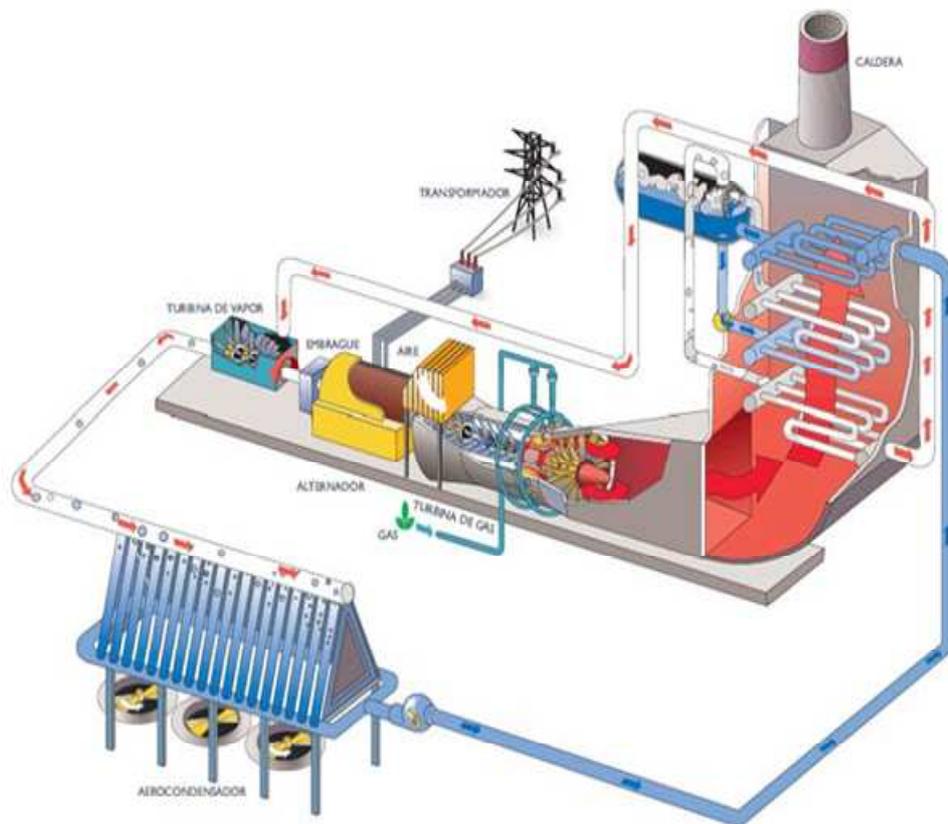


Un Ciclo Combinado ayuda a absorber una parte del vapor generado en el ciclo simple y permite, por ello, mejorar la recuperación térmica, o instalar una turbina de gas de mayor tamaño cuya

recuperación térmica no estaría aprovechada si no se utilizara el vapor en una segunda turbina de contrapresión.

El Ciclo Combinado permite una amplia variedad de configuraciones para adaptarse a las necesidades de cada mercado: subidas y bajadas rápidas de carga, cortos tiempos de arranque partiendo de máquina parada o bien en reserva fría, así como de reserva rodante,...etc.

El proceso de vapor es esencial, en un Ciclo Combinado para lograr la eficiencia del mismo. La selección de la presión y la temperatura del vapor vivo, se hace en función de las turbinas de gas y vapor seleccionadas, selección que debe realizarse con criterios de eficiencia y economía. Por ello se requiere la existencia de experiencias previas e "imaginación responsable" para crear procesos adaptados a un centro de consumo, que al mismo tiempo dispongan de gran flexibilidad que posibilite su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño.



Si a las características generales de los Ciclos Combinados añadimos la liberalización de los mercados eléctricos facilitando la entrada de nuevos generadores y el hecho, al menos de partida, de un combustible barato, tendremos la explicación del entusiasmo por este tipo de instalaciones, y la gran afluencia en las dos últimas décadas en nuestro país.

Las nuevas inversiones en ciclo combinado se caracterizan por adjudicarse bajo la modalidad de “Productores Independientes de Energía”. Esto trae como consecuencia la contratación de la mayor parte de los equipos en el extranjero, con una baja participación de Comisión Federal de Electricidad de bienes de equipos, en las que la contratación por paquete y una ingeniería de integración, daba más oportunidades de participar a los suministradores nacionales.



Esta moda impuesta por las exigencias de las entidades financieras de un responsable único para la financiación de los proyectos, se está extendiendo incluso a los proyectos que no son financiados, con una repercusión negativa en la industria, en las ingenierías y en la calidad final.

Se han resaltado las ventajas que tienen los Ciclos Combinados, y el porqué del entusiasmo por este tipo de instalaciones. No hemos dicho nada del precio del combustible, que como componente principal del costo del kWh, fue uno de los principales factores motivadores de las inversiones en Ciclos Combinados. Hace años el precio horizonte que bajaba para cuando entraban en servicio los Ciclos Combinados. Hoy el panorama es distinto y los precios del gas a futuro, ligados a la cotización del petróleo, del dólar y a la presión de la demanda, presentan incertidumbres, a parte de un incremento importante de costo.

Por otra parte, no todo son virtudes en los Ciclos Combinados, también tienen sus puntos débiles, como es el mal comportamiento de la eficiencia a cargas parciales, lo que unido al elevado costo del combustible y al menor valor del kWh en horas pico, obligará a replantear su operativa y tal vez la conveniencia de diversificar la Generación de Energía Eléctrica.

La estructura de costos de generación nos indica que el factor decisivo de las inversiones de cara al futuro va a ser el costo del combustible, y este factor, junto a las consideraciones medioambientales relacionadas con las emisiones de CO<sub>2</sub>, y su manejo, van a determinar en el futuro la continuidad ó no de las inversiones masivas en Ciclos Combinados. Una variante del ciclo combinado, es el ciclo combinado a condensación.

**Ciclo combinado a condensación:** Variante del ciclo combinado de contrapresión clásico, se basa en procesos estrictamente cogenerativos. Se basa en una gran capacidad de regulación ante demandas de vapor muy variables.

El proceso clásico de regulación de una planta de cogeneración consiste en evacuar gases a través del by-pass cuando la demanda de vapor es menor a la producción y utilizar la post-combustión cuando sucede lo contrario; bajando sensiblemente su potencia, no se consigue su adaptación a la demanda de vapor, debido a una importante bajada en el rendimiento de recuperación, ya que los gases de escapa mantienen prácticamente su caudal y bajan ostensiblemente su temperatura. Por ellos, las pérdidas de calor se mantienen prácticamente constantes, y la planta deja de cumplir los requisitos de rendimiento.

Por el contrario, un ciclo de contrapresión y condensación permite aprovechar la totalidad del vapor generado, regulando mediante la condensación del vapor que no puede usarse en el proceso, produciendo una cantidad adicional de electricidad.

La producción de energía eléctrica y su costo, en las centrales de ciclo combinado, está relacionada por la eficiencia de sus procesos con las condiciones ambientales bajo las cuales se llevan a cabo. Estos procesos requieren del monitoreo continuo de las condiciones de: temperatura ambiente, humedad ambiental y presión atmosférica. Para la medición de estas magnitudes se utilizan: termómetros, higrómetros y barómetros de tipo transmisor que conforman la estación meteorológica.

Dichos instrumentos requieren estar bajo estricto control metrológico debido al impacto que sus errores e incertidumbres de medición tienen sobre el proceso de facturación de la energía producida. Se presentan las experiencias con Productores Independientes de Energía eléctrica y los criterios para evaluar y determinar:

- a) La consistencia entre la capacidad de medición de los instrumentos involucrados y los requisitos: técnicos, normativos y legales del proceso, así como los criterios prácticos para:
- b) Evaluar la conformidad de los resultados de calibración de dichos instrumentos contra las tolerancias que para estos instrumentos se obtienen del proceso de evaluación de consistencia.

## CENTRAL ELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO (CCC)



### **1.3 PRODUCTORES EXTERNOS DE ENERGÍA (PIE'S) o Productores Independientes de Energía (PIE'S).**

*Los Productores Independientes de Energía, significa:*

- “Es cualquier persona o sociedad que proporciona capacidad de generación de energía eléctrica utilizando sus propios recursos para desarrollar, construir y operar una Central de generación eléctrica y venderle toda la energía eléctrica a la C.F.E., quien la distribuye a través del sistema de transmisión que tiene en el país.

En México, han entrado en operación 22 centrales eléctricas de ciclo combinado operadas inicialmente por las compañías: Iberdrola (española) en Monterrey III y Altamira III y IV; Electricité de France (francesa) en Saltillo y Río Bravo II y III; AES (norteamericana) en Mérida III; Mitsubishi (japonesa) en Tuxpan II y Altamira II; Unión FENOSA (española) en Hermosillo, Agua Prieta y Tuxpan III y IV; Trans Alta (canadiense) en Campeche II y Chihuahua III; Intergen (norteamericana) en Mexicali y otras más con una capacidad de 11907 MW demostrados. Aunque dentro de los Productores Independientes de Energía ha habido cambios, como en Electricité de France, que fue comprada por Compañías Mexicanas de Gestión (COMEGO) y después esta fue absorbida por Gas Natural y esta a su vez en el año 2009 vendió los activos de COMEGO a Mitsui una empresa japonesa, y este tan solo es una de los tantos cambios que se han dado dentro de los Productores Independientes de Energía

#### **Organismos reguladores**

Los productores independientes forman la AMEE - Asociación Mexicana de Energía Eléctrica. Para autorizar la operación en México de estas centrales generadoras de energía eléctrica, se encuentran bajo la regulación y evaluación de organismos como:

CFE - Comisión Federal de Electricidad

CRE - Comisión Reguladora de Energía

SENER - Secretaría de Energía

### **1.3.1 Esquema bajo la Ley de Productor Independiente de Energía.**

#### **Marco Legal y Antecedentes**

A partir del 14 de agosto de 1937 se constituyó formalmente la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con el objetivo “organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósito de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales”.

Hacia 1960, la CFE aportaba el 54% de la capacidad instalada y sólo el 44% de la población contaba con electricidad, razón por la cual el presidente Adolfo López Mateos presentó al Senado de la República el 25 de octubre de 1960, una iniciativa para adicionar el párrafo sexto del artículo 27 constitucional, con el fin de nacionalizar la industria eléctrica, es decir para reservar de manera exclusiva a la nación la generación, conducción, transformación, distribución y abastecimiento de energía eléctrica.

En este contexto, el 22 de diciembre de 1975 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, misma que ha sufrido diversas modificaciones ocurridas en 1983, 1986, 1989, 1992, hasta llegar a su última reforma del 22 de diciembre de 1993, en la que se establece en su artículo tercero que ya no se considera servicio público lo siguiente:

- I. La generación de energía eléctrica para autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción;
- II. La generación de energía eléctrica que realicen los productores independientes para su venta a la Comisión Federal de Electricidad;
- III. La generación de energía eléctrica para su exportación, derivada de cogeneración, producción independiente y pequeña producción;
- IV. La importación de energía eléctrica por parte de personas físicas o morales, destinada exclusivamente al abastecimiento para usos propios;
- V. La generación de energía eléctrica destinada a uso en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica

En diciembre de 1995 se reformó la Ley General de Presupuesto, Contabilidad y Gasto Público Federal y la Ley General de Deuda Pública en sus artículos 30 y 18 respectivamente. Estas reformas dieron lugar a los proyectos de infraestructura productiva de largo plazo también conocidos como PIDIREGAS. Bajo este esquema de financiamiento se definió como **PIDIREGAS CONDICIONADO** el apartado específico para productores independientes de energía dado que en realidad se trata de la compra de servicios en materia de capacidad y energía.

La contratación de Productores Independientes de Energía se sustenta en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y la adjudicación de la licitación pública correspondiente se determina de conformidad con el precio nivelado de energía propuesto en pesos/kwh.

La presencia de Productores Independientes de Energía se asoció, en un principio, a la propuesta de Reforma Eléctrica del Ejecutivo Federal donde se planteó la posibilidad de la creación de un mercado eléctrico con independencia de despacho de la CFE, sin embargo, no fue aprobada integralmente la citada Reforma Eléctrica, quedando pendiente este asunto.

### **Condiciones generales en contratos de Productores Independientes de Energía**

1. Se trata de proyectos al amparo de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento;
2. Su objeto consiste en la provisión de la capacidad neta garantizada de energía propuesta por el productor (misma que no deberá ser menor a la solicitada por la CFE) y la venta de la producción neta de energía asociada con dicha capacidad garantizada de acuerdo a los requerimientos de demanda de la CFE, y que para tal efecto, el productor deberá (a) programar, diseñar, construir y llevar a cabo todas aquellas actividades necesarias para poner en operación la central de conformidad con lo establecido en los contratos, (b) operar, ser propietario y mantener la central de conformidad con lo establecido en los contratos, y (c) vender a la CFE exclusivamente la producción neta de energía asociada a la capacidad garantizada por el productor en su propuesta.
3. El riesgo de la construcción y operación recae en los productores por tratarse de una estructura de "proyecto financiado".

4. El plazo del contrato es por 25 años contados a partir del inicio de operación de la central
5. se garantiza el cumplimiento de las obligaciones de los productores (durante construcción y operación) mediante carta de crédito stand by.

Dependiendo de la autorización de la Secretaría de Energía, la responsabilidad del abastecimiento de combustible a la Central puede recaer en la CFE o directamente por el Productor Externo de Energía.

Cuando la CFE es la responsable del abastecimiento, se trata de un Contrato accesorio del Contrato de Capacidad y Energía, y le corresponde contratar la compra de la molécula de gas así como el transporte correspondiente, entregando el gas ya sea en el punto de interconexión con el ducto principal de acceso abierto o en el sitio de la Central, dependiendo de las condiciones en que se encuentre el Sistema de Transporte en la región. El objeto de este contrato consiste en entregar al dueño de la Central aquellas cantidades de gas natural, hasta la capacidad máxima diaria, requeridas para generar la Producción Neta de Energía despachada por la CFE conforme al Contrato de Capacidad y Energía. En él se establecen, entre otras, las condiciones de entrega, como presión, temperatura, punto de entrega, composición del gas, volumen; precio, forma de pago, vigencia, procedimiento de medición, indemnizaciones, etc.

En el caso de que el Productor sea el responsable del suministro, entonces éste deberá contratar y hacer todos los arreglos necesarios para llevar el combustible desde la cuenca más cercana hasta las Instalaciones.

El gas natural puede suministrarse de fuentes de producción nacional o de importación, ya sea, esta última, gas continental procedente de EUA, o gas natural licuado, de otras partes del Mundo.

Al suministrarse gas nacional o mezcla con gas de importación, le es aplicable la regulación que en materia de gas natural emite la Comisión Reguladora de Energía (CRE), en donde se establecen los parámetros técnicos, económicos y financieros que se deben cumplir para efectos de ventas de primera mano, transporte, distribución y almacenamiento de gas natural. En caso de suministrarse gas de importación, son empleadas las prácticas del mercado internacional, principalmente las

establecidas en los mercados relevantes del Sur de Texas, EUA; las cuales son reguladas por la Federal Energy Regulatory Commission (FERC).

### 1.3.2 Tipos de generación de capacidad de energía, usados por los PIE's

Los Productores Independientes de Energía han implementado como base de su generación, principalmente Centrales de Ciclo combinado, comienzan a tener influencia en el campo de la generación eólica, pero en más del 95% de la producción de capacidad instalada, en el territorio mexicano, es de origen termoeléctrico.

En la siguiente tabla, podemos ver la capacidad de las centrales que hasta el día de hoy están en funcionamiento, así como la fecha de entrada de operación.



<b>N o.</b>	<b>Central Ciclo Combinado</b>	<b>Razón Social</b>	<b>Consorcio</b>	<b>Ubicación</b>
1	Mérida III	AES Mérida III, S. de R.L. de C.V. A. en P.	AES / Hermes / Sojitz	Mérida, Yucatán
2	Hermosillo	Fuerza y Energía de Hermosillo, S.A. de C.V.	Gas Natural	Hermosillo, Sonora
3	Saltillo	Central Saltillo, S.A. de C.V.	Mitsui & Co., Ltd.	Ramos Arizpe, Coahuila
4	Tuxpan II	Electricidad Águila de Tuxpan, S. de R.L. de C.V.	Mitsubishi Corporation / Kyuden International	Tuxpan, Veracruz
5	Río Bravo II (Anáhuac)	Central Anáhuac, S.A. de C.V.	Mitsui & Co., Ltd.	Valle Hermoso, Tamaulipas
6	Bajío	Energía Azteca VIII, S. de R.L. de C.V.	Intergen	San Luis de la Paz, Querétaro
7	Monterrey III	Iberdrola Energía Monterrey, S.A. de C.V.	Iberdrola Energía	Pesquería, Nuevo León
8	Altamira II	Electricidad Águila de Altamira, S. de R.L. de C.V.	Mitsui & Co., Ltd.	Altamira, Tamaulipas
9	Tuxpan III y IV	Fuerza y Energía de Tuxpan, S.A. de C.V.	Gas Natural	Tuxpan, Veracruz
10	Campeche	Energía Campeche, S.A. de C.V.	Intergen	Palizada, Campeche
11	Mexicali	Energía Azteca X, S. de R.L. de C.V.	Intergen	Mexicali, Baja California
12	Chihuahua III	Energía Chihuahua, S.A. de C.V.	Intergen	Juárez, Chihuahua

13	Naco-Nogales	Fuerza y Energía de Naco-Nogales, S.A. de C.V.	Gas Natural	Agua Prieta, Sonora
14	Altamira III y IV	Iberdrola Energía Altamira, S.A. de C.V.	Iberdrola Energía	Altamira, Tamaulipas
15	Río Bravo III	Central Lomas de Real, S.A. de C.V.	Mitsui & Co., Ltd.	Valle Hermoso, Tamaulipas
16	La Laguna II	Iberdrola Energía La Laguna, S.A. de C.V.	Iberdrola Energía	Gómez Palacio, Durango
17	Río Bravo IV	Central Valle Hermoso, S.A. de C.V.	Mitsui & Co., Ltd.	Valle Hermoso, Tamaulipas
18	Valladolid III	Compañía de Generación Valladolid, S. de R.L. de C.V.	Mitsui & Co., Ltd. / Valladolid International Investments	Valladolid, Yucatán
19	Tuxpan V	Electricidad Sol de Tuxpan, S. de R.L. de C.V.	Mitsubishi Corporation / Kyuden International	Tuxpan, Veracruz
20	Altamira V	Iberdrola Energía del Golfo, S.A. de C.V.	Iberdrola Energía	Altamira, Tamaulipas
21	Tamazunchale	Iberdrola Energía Tamazunchale, S.A. de C.V.	Iberdrola Energía	Tamazunchale, San Luis Potosí
22	Norte	Fuerza y Energía de Norte Durango, S.A. de C.V.	Gas Natural	Durango, Durango

Debido a que estos organismos independientes, solamente pueden vender en grandes cantidades la energía a Comisión Federal de Electricidad, y solamente con ella han celebrado contratos de compra y venta de energía, se han formulado unos esquemas de pago, que van de acuerdo a las necesidades inherentes de generación de las plantas, aunque, en algunos caso se ven en demasía, beneficiados, por estos cargos, también cabe resaltar que los cargos más fuertes en cuanto a éstos, son los relacionados con el combustible, que en estos casos, es gas natural.

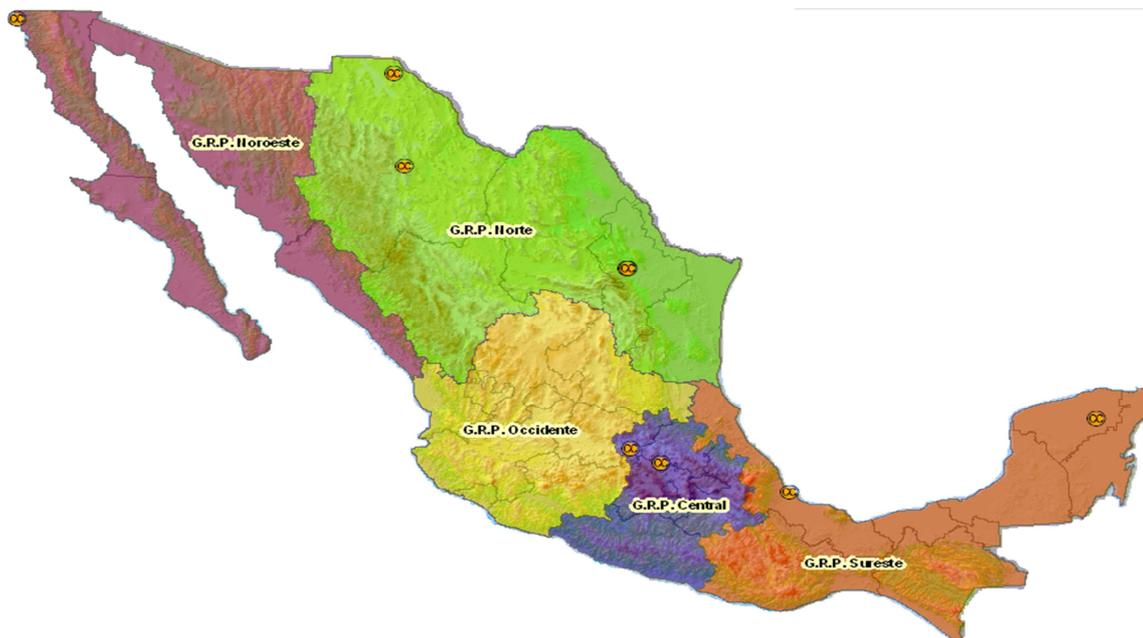
## Centrales Tipo Termoeléctrica Convencional, Combustión Interna y Eólica de CFE

### Ubicación geográfica de las plantas Generadoras



CENTRAL		U's	TOTAL MW
<b>TERMOELÉCTRICAS</b>			
1	PRESIDENTE JUÁREZ	6	320.00
2	PUNTA PRIETA II	3	112.50
3	PUERTO LIBERTAD	4	632.00
4	GUAYMAS II	4	484.00
5	GUAYMAS I	2	0.00
6	TOPOLOBAMPO	3	320.00
7	MAZATLÁN II	3	616.00
8	SAMALAYUCA	2	316.00
9	FRANCISCO VILLA	5	300.00
10	LA LAGUNA	1	0.00
11	LERDO	2	320.00
12	SAN JERÓNIMO	2	0.00
13	MONTERREY	6	0.00
14	RÍO BRAVO	1	300.00
15	MANZANILLO I	4	1200.00
16	MANZANILLO II	2	700.00
17	VILLA DE REYES	2	700.00
18	SALAMANCA	4	866.00
19	TULA	5	1605.60
20	VALLE DE MÉXICO	3	450.00
21	ALTAMIRA	4	800.00
22	TUXPAN	6	2100.00
23	POZA RICA	3	117.00
24	LERMA	4	150.00
25	NACHI-COCOM	2	0.00
26	MÉRIDA II	2	168.00
27	CARRILLO PUERTO	2	75.00
<b>COMBUSTION INTERNA</b>			
28	BAJA CALIFORNIA SUR	2	78.90
29	GUERRERO NEGRO	3	10.80
30	STA. ROSALIA	11	13.00
31	YÉCORA	4	1.80
32	HOL-BOX	8	3.20
<b>EOLICA</b>			
33	LA VENTA	104	84.65

## Centrales Tipo Ciclo Combinado, Turbogás y Dual

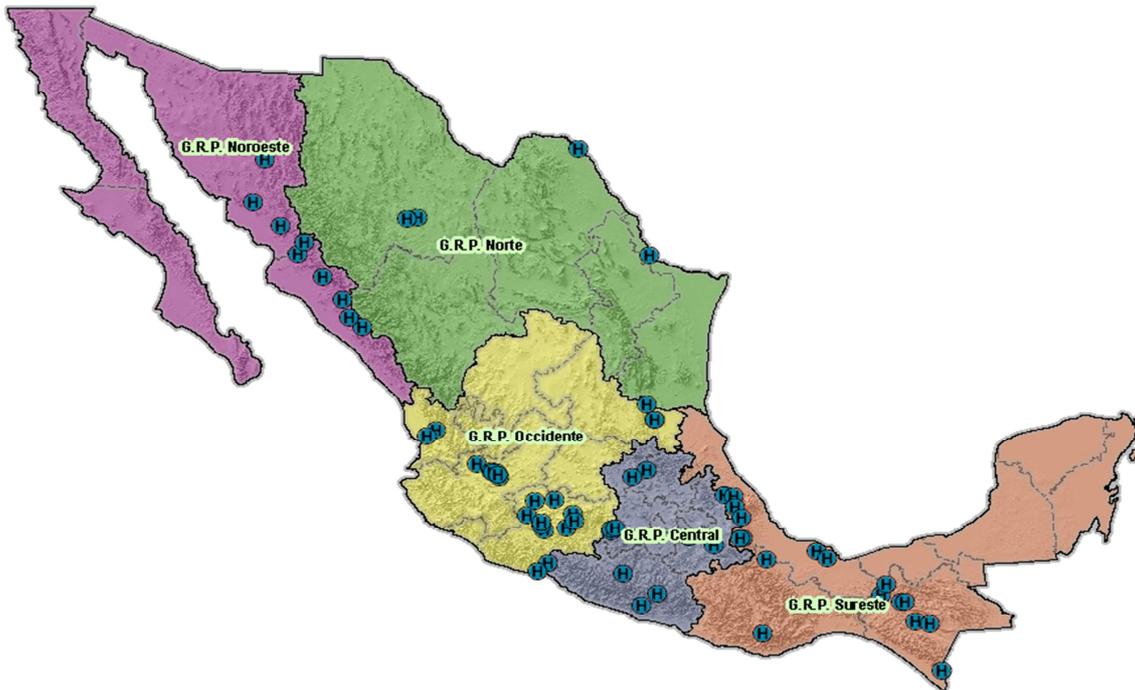


	CENTRAL	U's	TOTAL MW
<b>CICLO COMBINADO</b>			
1	PDTE. JUÁREZ	4	773.00
2	HERMOSILLO	2	227.022
3	EL SAUZ	7	603.00
4	TULA	6	489.00
5	VALLE DE MÉXICO	4	549.30
6	SAN LORENZO POTENCIA	3	432.12
7	GÓMEZ PALACIO	3	239.80
8	SAMALAYUCA II	6	521.76
9	HUINALÁ	5	377.66
10	HUINALÁ II	2	450.20
11	CHIHUAHUA II (ENCINO)	5	619.40
12	RÍO BRAVO	3	211.12
13	DOS BOCAS	6	452.00
14	VALLADOLID	3	220.00

CARBÓN			
15	RIO ESCONDIDO	4	1,200.00
16	CARBÓN II	4	1,400.00
DUAL			
17	PETACALCO	7	2,778.36

TURBOGAS			
18	TIJUANA	3	150.00
19	HUINALA	6	150.00
20	TUXPAN	7	163.00

Centrales Tipo Hidroeléctrica y Geotermoeléctrica



CENTRAL	U's	TOTAL MW
<b>HIDROELÉCTRICAS</b>		
EL NOVILLO	3	135.00
HUITES	2	422.00
BACURATO	2	92.00
HUMAYA	2	90.00
COMEDERO	2	100.00
FALCÓN	3	31.50
LA AMISTAD	2	66.00
AGUAMILPA	3	960.00
AGUA PRIETA	2	240.00
VILLITA	4	300.00
INFIERNILLO	6	1120.00
EL CAJÓN	1	750.00
EL CARACOL	3	600.00
ZIMAPÁN	2	292.00
PEÑITAS	4	420.00
MALPASO	6	1080.00
CHICOASÉN	8	2400.00
ANGOSTURA	5	900.00
TEMASCAL	6	354.00
MAZATEPEC	4	220.00

CENTRAL	U's	TOTAL MW
<b>GEOTERMoeLECTRICAS</b>		
CERRO PRIETO II	5	180.00
CERRO PRIETO II	2	220.00
CERRO PRIETO III	2	220.00
CERRO PRIETO IV	4	100.00
TRES VIRGENES	2	10.00
LOS AZUFRES	15	194.50
HUMEROS	8	40.00

## Estructura General de los Pagos

Cargos por Capacidad *	
Fijo por Capacidad	Corresponde a la recuperación de la inversión asociada a la disponibilidad de la central
Fijo por Operación y mantenimiento	Corresponde a los costos fijos de materiales, mano de obra y refacciones de la central
Fijo por reserva de capacidad	Asociado a tarifas de transporte de gas de la CRE

Cargos por Energía	
Por Combustible	Asociado a un consumo térmico garantizado por el Productor
Variable de Operación y Mantenimiento	Asociado a la cantidad de energía entregada por el Productor
Cargo por Arranques	Asociado a las instrucciones de despacho de la propia Comisión

\* Estos cargos se pagan independientemente del despacho de la Central

### **Programa de incremento en la capacidad instalada**

Con base en los lineamientos de política energética formulados por la SENER para las fuentes de generación, se ha limitado la dependencia del gas natural en el sector eléctrico, por lo que la capacidad adicional de generación para licitaciones futuras por parte de la CFE se han definido como tecnología libre.

Aún cuando para la planeación de largo plazo se toman en cuenta los lineamientos de política energética para elaborar los requerimientos futuros de generación, la tecnología de ciclo combinado mantiene una participación importante. El atractivo de esta opción es la alta eficiencia y la limpieza en el proceso de conversión de la energía.

Asimismo, existen proyectos de centrales que se licitarán en función de su fecha programada de entrada en operación comercial, quedando pendiente en la mayoría de los casos la definición de la tecnología a utilizar así como esquema bajo los cuales serán construidos y operados. De acuerdo con el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, 2010-2024, elaborado por la CFE, se tiene previsto incrementar la capacidad instalada en centrales de ciclo combinado y de tecnología libre.

## **Fortalezas**

- La inversión en la elaboración del Proyecto y en la construcción de las Centrales, es íntegramente financiado por los Productores Independientes de Energía; Comisión Federal de Electricidad realiza el primer pago después de haber recibido y comercializado la energía generada durante la etapa de pruebas y la del primer mes de operación comercial.
- Corresponde a los Productores Independientes de Energía la operación de las Centrales; por lo tanto, están garantizados los mantenimientos preventivos así como aquellos correctivos ante la presencia de fallas y su ejecución no depende de una autorización de recursos por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- Los Productores independientes de Energía han garantizado valores de disponibilidad y eficiencia térmica durante la vida útil de las Centrales, lo que permite una mejor programación del despacho de Centrales y mayor certeza en que la eficiencia de las mismas no se perderá al paso de los años.
- El esquema de Productores Independientes de Energía ha tenido un reconocimiento a nivel internacional, lo que se evidencia con la entrada de nuevos participantes a través de ventas de Centrales las que, en términos generales, se han llevado a cabo en valores más altos del que contablemente tienen las instalaciones.
- En esta última década, con la participación de los Productores Independientes de Energía, se ha generado un ambiente de confianza y certidumbre en los inversionistas tanto nacionales como extranjeros ya que la Comisión Federal de Electricidad ha pagado en tiempo y forma todas las facturas que le han presentado; asimismo, ante la seriedad de la CFE se ha generado con los Productores Independientes de Energía un trato justo y equitativo, honrando en todo momento lo pactado contractualmente.
- Al ser Proyectos de Impacto Diferido en el Registro del Gasto (PIDIREGAS) los costos que significan los contratos son recuperados con los ingresos que las Centrales generan y en la mayoría de los casos se tiene un remanente a favor de la CFE.

## **Debilidades**

- En caso de que se presente alguna falla y ésta ocasione que la Central deje de generar electricidad y, como consecuencia, salga del Sistema Eléctrico Nacional, la Comisión Federal de Electricidad tiene que restablecer, en el menor tiempo posible, el servicio público de la energía eléctrica, en tanto

que los Productores Independientes de Energía, dan prioridad a los aspectos económicos que menos afecten sus utilidades.

- En virtud de tratarse de contratos de largo plazo (25 años) de absoluta rigidez, cualquier cambio de circunstancias hace prácticamente imposible adecuar el contenido de los mismos, debido a las repercusiones que se presentan mediante observaciones de los organismos fiscalizadores.
- La capacidad y generación de energía eléctrica por los Productores Independientes de Energía se encuentra en los niveles cercanos a los máximos convenientes de acuerdo a las políticas públicas fijadas.
- No se aprobó integralmente la reforma eléctrica y por tanto hay indefiniciones en cuanto al futuro de las instalaciones propiedad de los Productores Independientes de Energía a la terminación de los Contratos
- A finales de 2009 el Balance entre las reservas probadas de gas natural y el consumo de dicho combustible es de 8.2 años por lo que de no fortalecerse el esquema de importaciones de Gas Natural Licuado o incrementar el desarrollo de nuevos campos de extracción de este combustible no habrá suficiente gas para alimentar la producción de energía eléctrica de Productores Independientes de Energía.