



# Capítulo 1. Energía eólica e hidráulica

---





## 1.1 Energía Hidráulica.

### 1.1.1 La Energía del Agua

Se denomina energía hidráulica o energía hídrica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía “verde” cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable.

El origen de la energía hidráulica está en el ciclo hidrológico de las lluvias, la radiación solar que recibe la Tierra, la evaporación por radiación solar y los ciclos climatológicos globales que remontan grandes cantidades de agua a zonas elevadas de los continentes alimentando los ríos. Estas características hacen que sea significativa en regiones donde existe una combinación adecuada de lluvias, desniveles geológicos y orografía favorable para la construcción de represas.

Cuando el Sol calienta la Tierra, además de generar corrientes de aire, hace que el agua de los mares, principalmente, se evapore y ascienda a la atmosfera y se mueva, para luego caer en forma de lluvia.

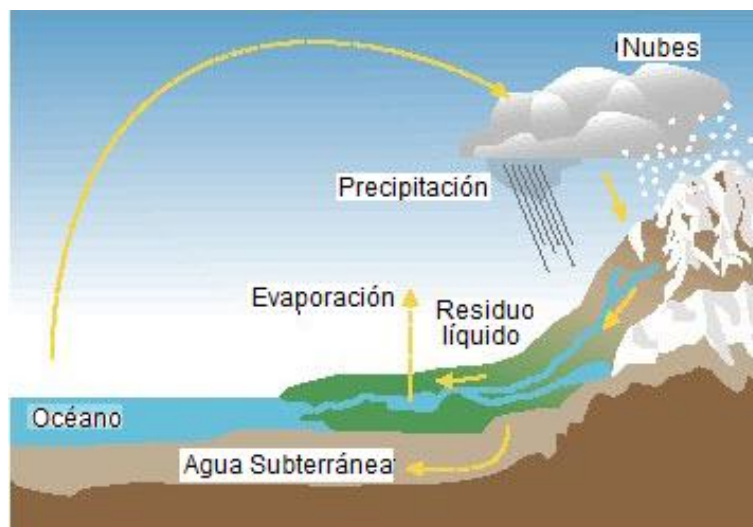


Figura 1- 1. Ciclo hidrológico

Una planta de energía hidroeléctrica aprovecha los recursos hidráulicos para producir energía. Al concentrar grandes cantidades de agua en un embalse o presa, se almacena energía potencial. El agua del embalse se traslada mediante canales o tuberías hacia localidades situadas a menor altura. En el trayecto la energía potencial se transforma en energía cinética. La velocidad que adquiere la masa de agua permite que se produzca una acción de empuje que se aplica a las turbinas, transformando la energía hidráulica en energía mecánica. Los generadores que están acoplados a la turbina giran a su vez, produciendo energía eléctrica. Es debida a la energía potencial contenida en las masas de agua que transportan los ríos, provenientes de la lluvia y del deshielo. Esta agua se puede coleccionar y retener mediante presas.



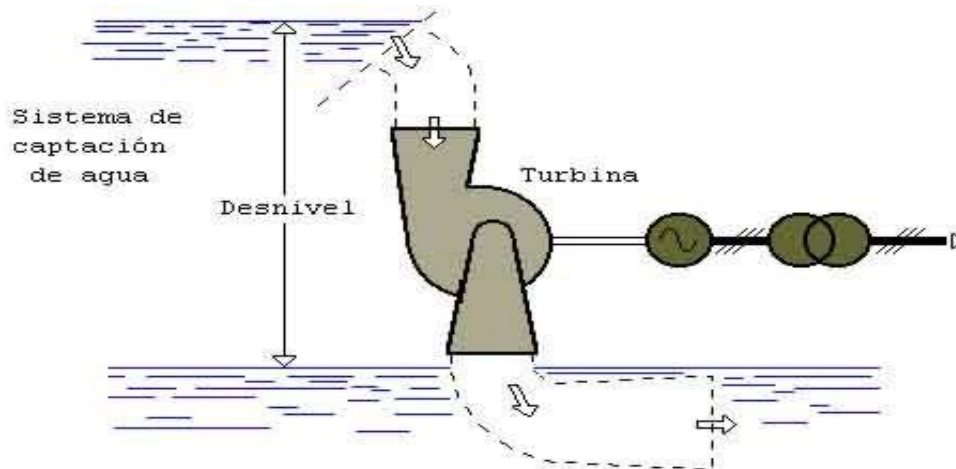


Figura 1- 2. Esquema de presa.

Este tipo de energía se produce a partir de las diferencias de nivel del agua acumulada en tanques, lagos artificiales o ríos.

En el caso de las masas de agua oceánicas, energía mareomotriz, se caracterizan por los movimientos que se producen en su interior. Existen dos clases de corrientes marinas, las superficiales y las profundas.

Las aguas de la superficie del océano que son movidas por los vientos dominantes forman unas gigantescas corrientes superficiales en forma de remolinos.

Las corrientes superficiales transportan grandes cantidades de agua cálida del ecuador hacia los polos, distribuyendo el calor de los trópicos al resto del planeta; su circulación es independiente en los hemisferios Norte y Sur y tienen influencia hasta más o menos 2 000 metros de profundidad. Las corrientes superficiales son aperiódicas y reciben este nombre porque no se observa en ellas regularidad alguna en la dirección ni en la velocidad, lo que se debe principalmente a la desigual distribución de la energía solar o a las caprichosas fuerzas de los vientos; estas corrientes pueden mover considerables masas de agua.

Y las corrientes profundas o termohalinas, situadas por debajo de la termoclina (capas en donde la temperatura del agua cambia rápidamente con la profundidad). Estas corrientes se desplazan por diferencias de densidad, provocadas por diferentes temperaturas de las aguas o bien concentraciones de sales (Figura 1- 3), actualmente el principal factor que determina la diferencia de densidades es la temperatura. Las aguas más frías o con más salinidad son más densas y tienden a hundirse, mientras que las aguas algo más cálidas o menos salinas tienden a ascender. De esta forma se generan corrientes verticales unidas por desplazamientos horizontales para reemplazar el agua movida. En algunas zonas las corrientes profundas coinciden con las superficiales, mientras en otras van en contracorriente. (Figura 1- 4)





Figura 1- 3. Circulación termohalina

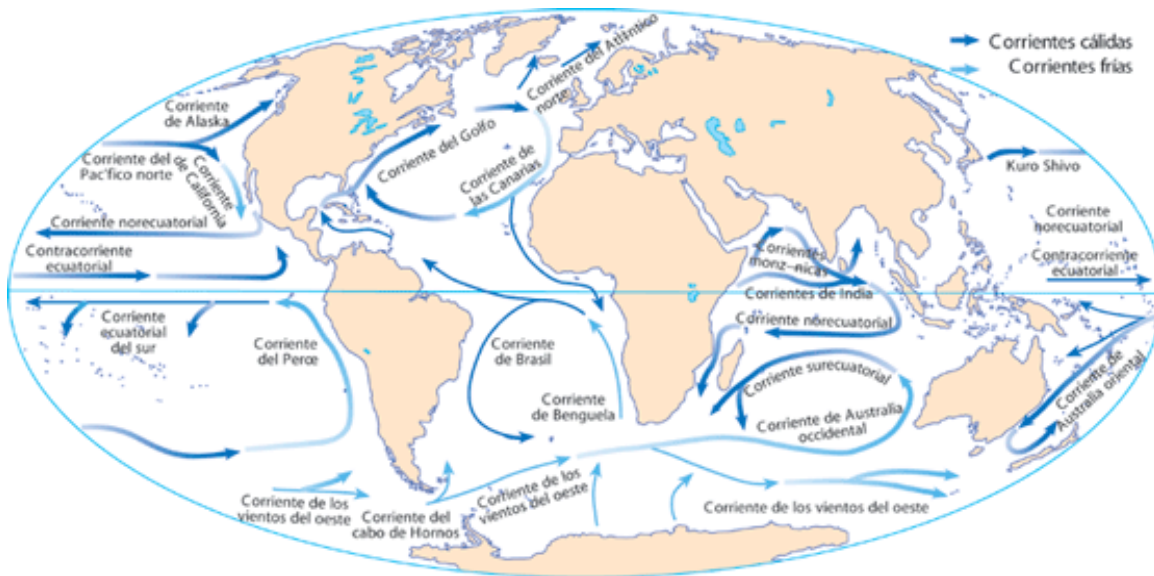


Figura 1- 4. Distribución de corrientes transoceánicas.

A través de la historia, el uso de la energía hidroeléctrica a estado más influido por factores sociales y políticos que por la disponibilidad de alguna tecnología específica.





El uso de la energía hidráulica data del tiempo de los romanos y ha sido utilizada durante mucho tiempo para moler granos. Se desarrolló lentamente por espacio de 18 siglos, debido al inconveniente de que las instalaciones deberían situarse junto a los ríos; mientras que las máquinas de vapor se podían instalar en cualquier lado.

Durante la edad media, antes de que las presas fueran frecuentes, se utilizaban las ruedas hidráulicas fijas en las barcas ancladas a la orilla de los ríos. Estas “plantas hidroeléctricas” flotantes no requerían de presas costosas y ecológicamente perjudiciales, y podían aprovechar corrientes de agua que de otra manera resultaban inaccesibles.

Se extendió al mismo tiempo que los conflictos sociales, en la medida que los pequeños agricultores se negaban a llevar el maíz a los molinos del pueblo, prefiriendo la alternativa de las tradicionales moladoras manuales.

Durante el siglo XIX, la energía hidroeléctrica se convirtió en fuente de electricidad y de energía mecánica.

Con la Revolución Industrial, y especialmente a partir del siglo XIX, comenzó a tener gran importancia con la aparición de las ruedas hidráulicas para la producción de energía eléctrica. La tecnología de la rueda se extendió al nuevo mundo y floreció en regiones donde no había esclavos como las colonias inglesas del norte, donde la mano de obra siempre fue escasa. Para finales del siglo XVIII había cerca de 10000 ruedas hidráulicas en esta zona.

Poco a poco la demanda de electricidad fue en aumento. El bajo caudal del verano y otoño, unido a los hielos del invierno hacían necesaria la construcción de grandes presas de contención, por lo que las ruedas hidráulicas fueron sustituidas por máquinas de vapor en cuanto se pudo disponer de carbón.

La primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica, que había sido inventada en 1820 por el ingeniero francés Benoit Fourneyron, y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX.

La tecnología hidroeléctrica se utiliza por lo general en presas, donde se pueden regular y almacenar las caídas de agua, aunque los primeros molinos rara vez tenían presas que les permitieran almacenar mucha agua. Las primeras instalaciones hidroeléctricas, conocidas como plantas impulsadas por la corriente de los ríos, dejaban de funcionar durante la época de sequía. Hasta que los costos de inundar grandes extensiones se convirtieron en un problema, los planificadores construían grandes presas para obtener energía continua.

Al evolucionar la tecnología de la transmisión eléctrica esta permitió el gran desarrollo de las plantas hidroeléctricas que se inició en 1910. Desde esa fecha hubo un incremento muy grande en la instalación de plantas hidroeléctricas, principalmente en Europa, Norteamérica y Japón y para 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

El mayor incremento en capacidad se produjo en Rusia y algunas partes de África y Sudamérica. Mientras que en 1925 Europa Occidental, América del Norte y Japón representaban, el 94% de la producción hidroeléctrica. La capacidad hidroeléctrica instalada era de 26,400MW y la generación anual de 80,000GW/h.





Después de 1930, proliferaron por varias razones: por el incremento en la demanda de electricidad, la necesidad de crear empleos durante la gran depresión económica que se inicia en 1929, y el gran desarrollo en la tecnología de ingeniería civil, para la construcción de grandes presas.

En aquella época se construyeron grandes presas en el río Tennessee, en E.U, y en el Volga, en Rusia. Después de la Segunda Guerra Mundial se construyeron muchas plantas hidroeléctricas en países, y se iniciaron en otros, como Egipto, China Popular, Ghana, Brasil, India, Pakistán, etc.

A partir del desplome petrolero de 1973, ha crecido el interés en energía intermitente generada por las presas de corriente fluvial, muchas de las cuales se abandonaron durante la bonanza del petróleo.<sup>1</sup>

El alza en los precios de los energéticos también alentó el interés en la olvidada tecnología hidroeléctrica independiente de las presas.

### **1.1.1.1 Formas de Aprovechamiento del Agua**

- Centrales hidroeléctricas, según su capacidad:

**Micro hidráulicas:** capacidad máxima de 0.05 MW. Para pequeñas aplicaciones, la microhidráulica ofrece mejores resultados que ninguna otra renovable, puesto que los pequeños cursos de agua que corren por los arroyos tienen grandes posibilidades energéticas. Un riachuelo por donde pase un caudal aproximado de dos litros por segundo sería suficiente para producir la energía que consume cualquier hogar normal, si se emplean sistemas microhidráulicos. Basta contar con una diferencia en altura, un caudal y, por supuesto, una máquina capaz de funcionar con rendimientos óptimos, sin una presa, en las condiciones dadas.

**Mini hidráulica:** capacidad de 0.05 a 0.5 MW. Estas plantas pueden proporcionar energía eléctrica a zonas que de otra manera estarían aisladas o alcanzables solo con obras de mayor impacto medioambiental; permiten realizar una política de distribución sobre el territorio de la producción de energía eléctrica; utilizan el recurso agua de manera equilibrada y controlada por las comunidades interesadas. Estas centrales en pequeña escala bien proporcionado y ubicado, resulta económicamente competitivo respecto a las otras fuentes energéticas renovables y, considerando los costos globales reales, también respecto a las fuentes energéticas tradicionales. Las instalaciones micro hidráulicas representan por lo tanto una forma de energía valiosa. Para la obtención de energía mini hidráulica no siempre es necesario incluir una presa en la instalación y si esta existe no debe superar los 15 metros de altura.

---

<sup>1</sup> Denduey, Daniel. "Raudales de energía: el potencial de la energía hidroeléctrica". Instituto Mexicano de Tecnología del agua. 1991.





Pequeña central hidroeléctrica: de 0.5 a 5 MW. Se adapta más al aprovechamiento de caídas altas con pequeños caudales, las obras hidráulicas pueden ser simples y generalmente no se requieren grandes construcciones, como represas. Estas requieren menores costos iniciales, y presentan ventajas técnicas de operación.

Gran central hidroeléctrica: mayor a 5 MW. De todas la más rentable, pero con mayor impacto ambiental. Requiere una gran construcción y una represa.

- Centrales mareomotrices:

Por energía mareomotriz se entiende aquella que es obtenida de las mareas, fuerza de las olas, gradientes térmicos y salinos, y corrientes marinas cuyo movimiento es aprovechado para girar una turbina de un generador eléctrico. Estos movimientos están provocados por la atracción gravitatoria del Sol y principalmente de la Luna, llamados marea alta y baja, así como los movimientos por gradientes son los responsables del aprovechamiento de los movimientos del agua marina para la generación de electricidad.

La gran dificultad para la obtención de este tipo de energía es su elevado coste de las instalaciones y el hecho de que debe estar en un lugar geográficamente apto y que contenga grandes masas de aguas en zonas naturales.

La ubicación ideal para aprovechar este tipo de energía es un estuario, una bahía o una ría donde el agua de mar pueda penetrar fácilmente, donde la bocana debe ser estrecha para permitir la construcción de un dique. El dique deja pasar el agua y luego es cerrado creando un depósito estanco. Cuando la marea sube, las compuertas del dique se abren y el agua ingresa al embalse, al llegar el nivel del agua del embalse a su punto máximo se cierran las compuertas, durante la bajamar el nivel del mar desciende y cuando la diferencia entre el nivel del agua del embalse y del mar alcanza su máxima amplitud, se abren las compuertas de las turbinas para que el agua pase a través.

Con respecto a esta energía también se puede aprovechar la fuerza de las olas. Esto se hace mediante el empleo de una serie de construcciones (cámaras en la línea de la costa diseñada para aprovechar el movimiento del oleaje. Cuando las olas ingresan en la cámara de aire el agua empuja el aire que se encuentra dentro de la cámara, este pasa a través de la turbina impulsando la hélice y esta a su vez, acciona un generador de electricidad. Cuando el agua se retira de la cámara se vuelve a llenar de aire.





## 1.1.2 Panorama Mundial de la energía hidráulica

El uso de la energía global se ha incrementado cerca de 70% desde 1971 y continua incrementándose en un índice de cerca de un 2% por año, demanda proveniente de países desarrollados y en desarrollo<sup>2</sup>. Existen muchos escenarios para la demanda futura y la combinación de energía que será necesitada para satisfacer esta.

En 2005, el sector de energía renovable represento un quinto de la generación total de energía. La energía hidroeléctrica es la más avanzada y flexible de las energías renovables y representa el 87% de esta producción. Durante el 2005, 18 GW de nueva capacidad hidroeléctrica estuvo en servicio<sup>3</sup>. En la medida en que se trata de recursos de energía hidroeléctrica, la Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica (IHA, por sus siglas en inglés) estima que solamente un tercio del potencial real mundial se ha desarrollado.

La energía Hidroeléctrica proporciona energía eléctrica en 160 países, cinco de ellos representan más de la mitad de la producción de energía hidroeléctrica del mundo: Brasil, Canadá, China, Rusia y Estados Unidos. Con respecto a la capacidad en Europa, la energía hidroeléctrica puede ser anticipada a verse incrementada unas 10 veces en África, un incremento de 3 veces en Asia, el doble en Sudamérica y un incremento de cerca del 10% en Norteamérica<sup>4</sup>. Solo para Norteamérica, podría equivaler para una capacidad adicional de 16 GW, de la cual 11 GW están ya identificados en Canadá. Mientras que esta expansión se determinará por las necesidades del mercado de Norteamérica, el desarrollo futuro en muchas regiones menos desarrolladas se basara más en la búsqueda de mecanismos de financiación y sociedades apropiadas a largo plazo, por lo tanto el control de la tasa del progreso.

En 2007, hubo instalados 770,000 MW de energía hidráulica, que generó el 16% de la electricidad del mundo (3,190 TWh, de los 19,895 TWh). La energía hidroeléctrica proporcionó al menos la mitad del suministro eléctrico en más de sesenta países. El potencial teórico de la capacidad de energía hidroeléctrica en el mundo era de 2.8 millones de MW, cerca de cuatro veces superior a lo que ya ha sido explotada. Sin embargo, la cantidad real de electricidad que será generada por energía hidroeléctrica puede llegar a ser mucho menor que el potencial teórico, debido a las preocupaciones ambientales, económicas, y las alternativas competitivas.

A finales de 2008 la capacidad global instalada de energía hidráulica fue de aproximadamente 874 GW. Donde China ocupó el primer lugar con el 20%, Brasil y Estados Unidos con el 9%, seguidos de Canadá, Rusia y la India con 8%, 6% y 4% respectivamente, lo cuales integran un poco más de la mitad de la capacidad mundial. De acuerdo a los datos disponibles de IHA, esta capacidad proviene de cerca de 11,000 estaciones, con alrededor de 27,000 unidades generadoras. A nivel regional, Asia y Europa representaron el 55% (528 GW) de la capacidad instalada mundial.

Con respecto a proyectos en construcción, Asia es la más desarrollada por proyectos planeados en China principalmente, seguida por Europa y América del Norte, donde en esta última se tiene un desarrollo de por lo menos de 19 GW en el marco de planificación y 14.5 GW se identifican en Canadá. Con respecto a la región de África, se tiene identificado un gran potencial pero debido a cuestiones financieras se ha impedido el desarrollo.

<sup>2</sup> [http://www.worldenergy.org/publications/survey\\_of\\_energy\\_resources\\_2007/hydropower/691.asp](http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/hydropower/691.asp)

<sup>3</sup> Idem

<sup>4</sup> Idem







### Evolucion desde 1971 hasta 2008 de la produccion hidroelectrica por region (TWh)

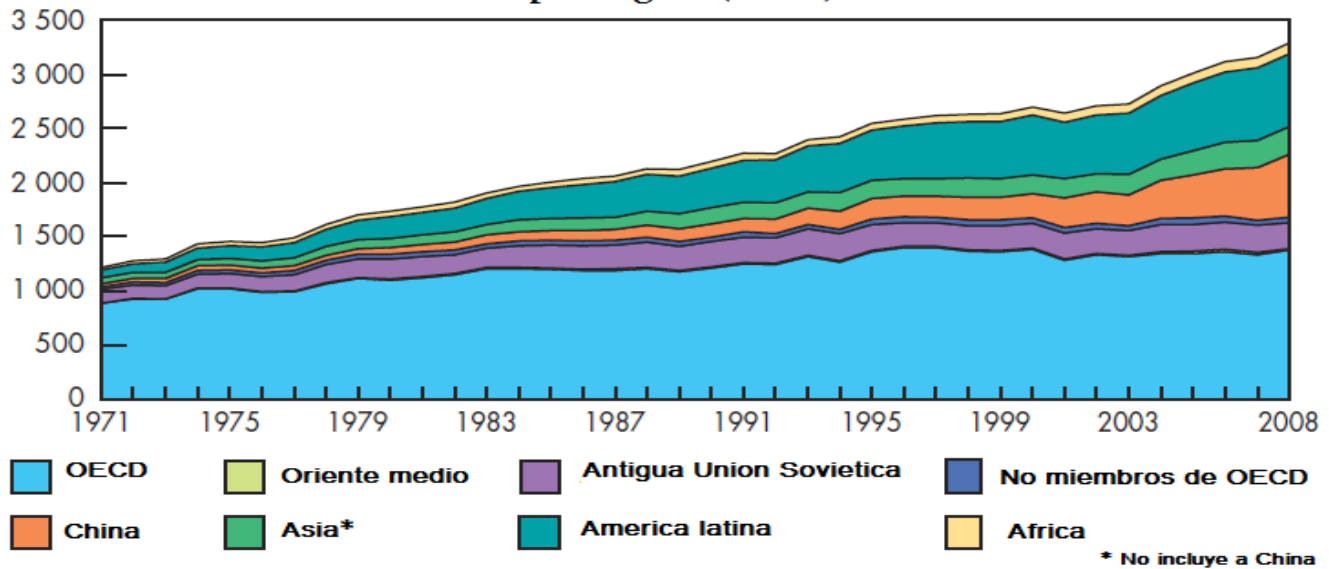


Figura 1- 5. Evolución de producción hidroeléctrica de 1971-2008 por región.<sup>5</sup>

### Porcentajes de producción hidroeléctrica por regiones. 1973 y 2008

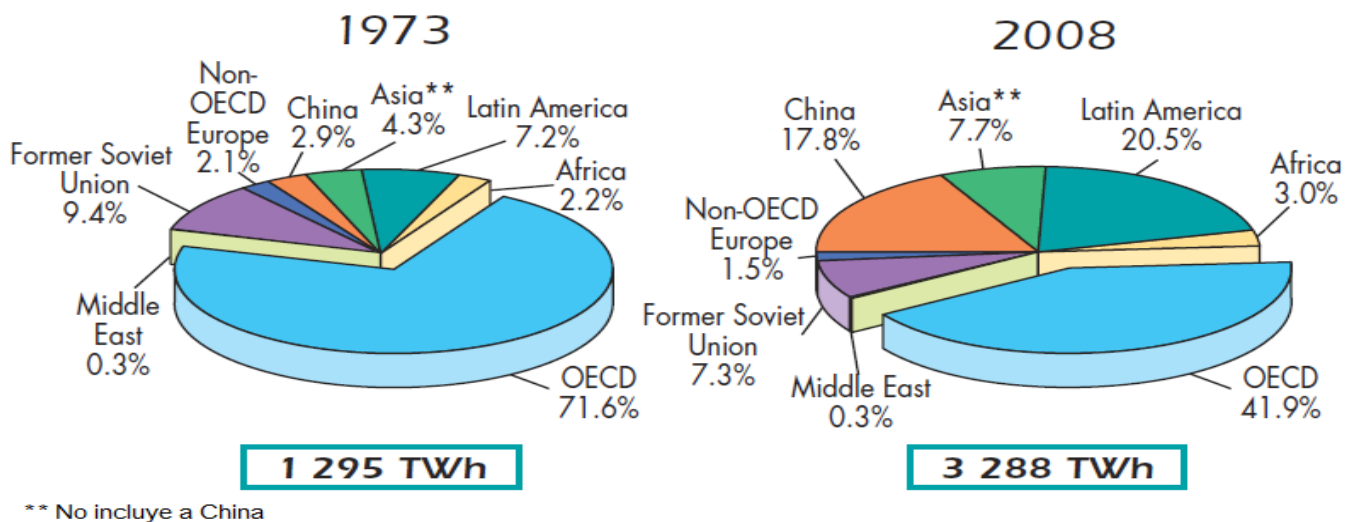


Figura 1- 6. Porcentajes de producción hidroeléctrica de 1973-2008 por regiones.<sup>6</sup>

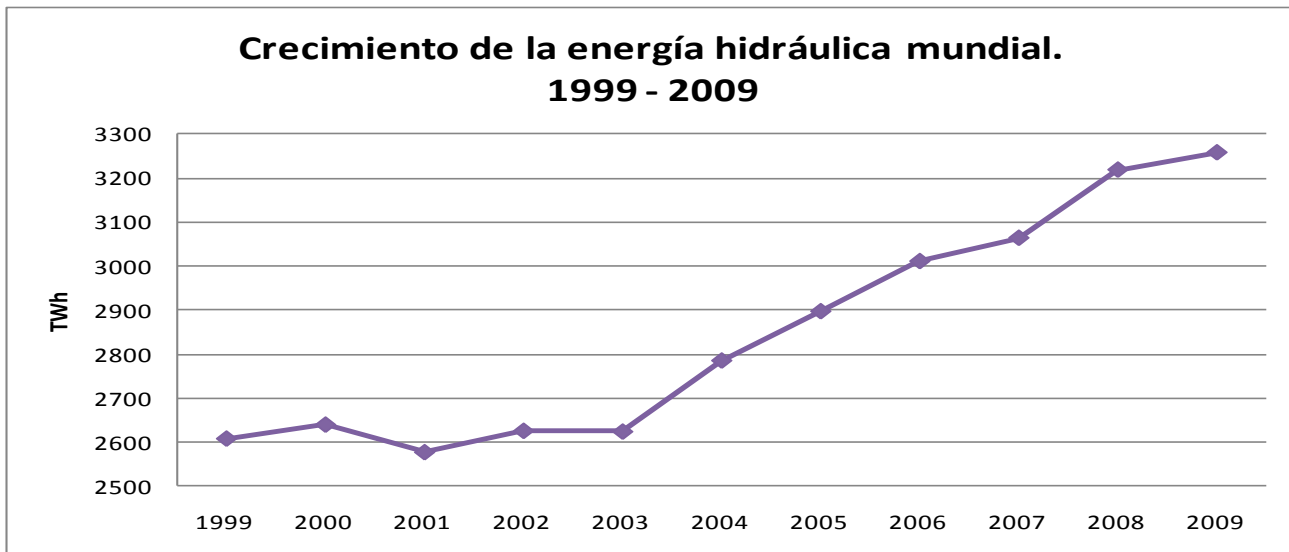
Para el 2009, la generación hidroeléctrica aumentó un 1.5%, que fue, sin embargo suficiente para hacer a la hidroeléctrica la mayor energía renovable de rápido crecimiento a nivel mundial en 2009. Este crecimiento fue liderado por China, Brasil y los Estados Unidos.<sup>7</sup>

<sup>5</sup> Key World Energy Statistics. IEA.

<sup>6</sup> Idem.

<sup>7</sup> BP Statistical Review of World Energy June 2010. www.bp.com

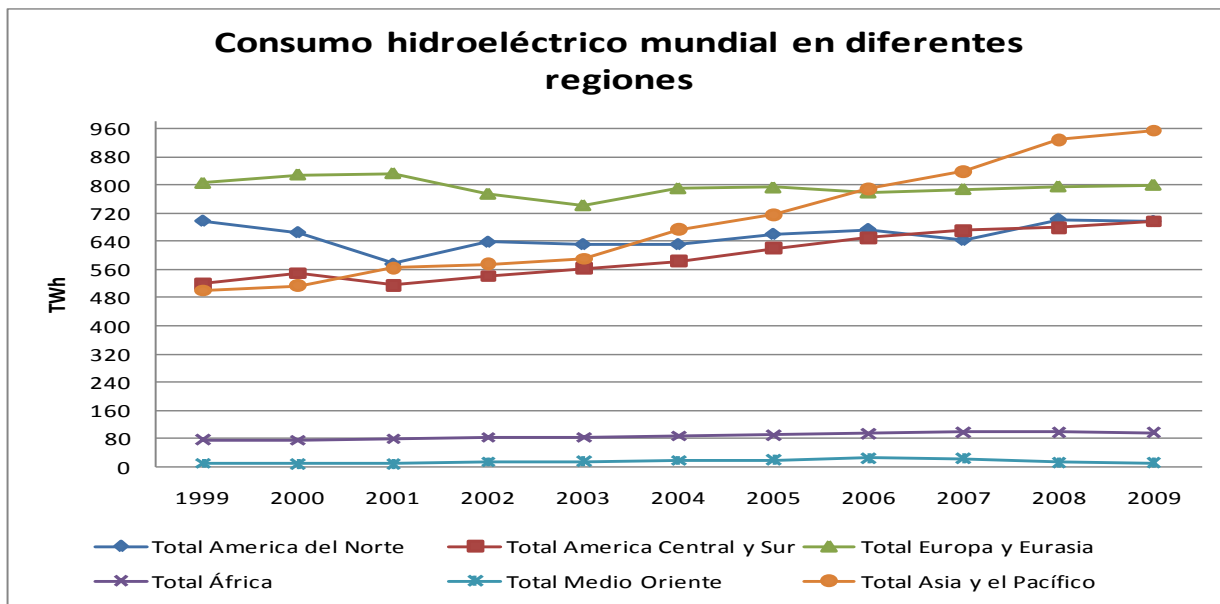




Gráfica 1. 1. Crecimiento de la energía hidráulica mundial 1999-2009.<sup>8</sup>

De acuerdo a datos del Informe Mundial de Energías Renovables 2010 (Renewables 2010 Global Status Report) la capacidad de energía hidráulica (gran y pequeña hidráulica) instalada en 2007, 2008 y 2009 fue de aproximadamente 920, 950 y 980 GW, respectivamente.

En 2009, la energía hidráulica represento el 3.2%, del 19% que las energías renovables proporcionaron a nivel mundial.



Gráfica 1. 2. Consumo hidroeléctrico mundial en diferentes regiones.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Elaboración propia con datos de BP Statistical Review of World Energy

<sup>9</sup> Elaboración propia con datos de BP Statistical Review of World Energy





En base de los datos de la compañía BP en su “Revisión Estadística de Energía Mundial” (Statistical Review of World Energy) de junio de 2010, se obtuvieron como resultados las dos graficas anteriores (Gráfica 1. 1 y Gráfica 1. 2) y una tabla donde se presenta un listado de las posiciones (Tabla 1. 1) que ocupan a nivel mundial los principales países productores de energía hidroeléctrica.

<b>CAPACIDAD HIDRÁULICA INSTALADA A 2009</b>			
		<b>TWh</b>	
<b>1</b>	China	<b>612.9</b>	18.8%
<b>2</b>	Canada	<b>396.9</b>	12.2%
<b>3</b>	Brasil	<b>389.4</b>	12.0%
<b>4</b>	USA	<b>273.7</b>	8.4%
<b>5</b>	Federación Rusa	<b>175.1</b>	5.4%
<b>6</b>	Noruega	<b>126.7</b>	3.9%
<b>7</b>	India	<b>105.6</b>	3.2%
<b>18</b>	Argentina	<b>40.5</b>	1.2%
<b>19</b>	Austria	<b>36.5</b>	1.1%
<b>20</b>	Suiza	<b>35.6</b>	1.1%
<b>21</b>	Turquía	<b>35.6</b>	1.1%
<b>22</b>	Pakistán	<b>27.3</b>	0.8%
<b>23</b>	España	<b>26.8</b>	0.8%
<b>24</b>	México	<b>26.4</b>	0.8%
<b>TOTAL MUNDIAL</b>		<b>3259.5</b>	<b>100.0%</b>

Tabla 1. 1. Capacidad hidráulica mundial instalada a 2009.<sup>10</sup>

Respecto a las pequeñas centrales hidroeléctricas, éstas han crecido anualmente cerca de unos 30 GW en los últimos años. En China, el “boom” en pequeñas hidroeléctricas adicionó de 4 a 6 GW anuales durante el periodo de 2004 al 2008.<sup>11</sup>

En 2009, la India añadió cerca de 130 MW de energía hidroeléctrica, para un total de más de 2.5 GW de pequeñas centrales hidroeléctricas. Aunque en Brasil la mayoría de los proyectos provendrá de proyectos a gran escala, se prevé un aumento dramático en proyectos de pequeña escala. Los cinco países con mayor capacidad existente de ella a finales de 2009 son: China, Estados Unidos, Alemania, España e India.

## Capacidad existente a 2009.

	Adicionada durante el 2009	Existente a finales de 2009
	GW	GW
Gran hidráulica	27 - 29	980
Pequeñas centrales <10 MW	2 - 4	60

Tabla 1. 2. Capacidad existente de gran y pequeñas hidráulicas a 2009.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> Elaboración propia con datos de BP Statistical Review of World Energy

<sup>11</sup> Renewables Global Status Report 2010.

<sup>12</sup> Ibidem.





## 1.1.3 Tecnología de Aprovechamiento Energético.

Los componentes principales de un sistema de energía hidráulica dependen, en gran parte, del tipo de planta que se construya:

1. Plantas sin embalse
  - a) Presa o cortina, compuertas de derivación y obras accesorias.
  - b) Desarenadores.
  - c) Canal de conducción.
  - d) Cámara de carga.
2. Plantas con embalse de regulación
  - a) Presa de embalse.
  - b) Compuertas y válvulas de toma.
  - c) Conducción forzada en túnel.
  - d) Cámaras de equilibrio o de compensación.
3. Obras comunes en todas las plantas.
  - a) Tubería forzada o de carga.
  - b) Turbinas.
  - c) Generadores eléctricos y accesorios.
  - d) Casa de fuerza.

### ◆ Presas o cortina.

Los diques de las presas son empleados para crear el almacenamiento (puede ser inclusive un lago artificial) de capacidad considerable por lo que se trata normalmente de obras civiles de gran tamaño que ayudan a la solución de grandes problemas técnicos y económicos de los sistemas eléctricos, pero que tienen una relación directa con la agricultura.

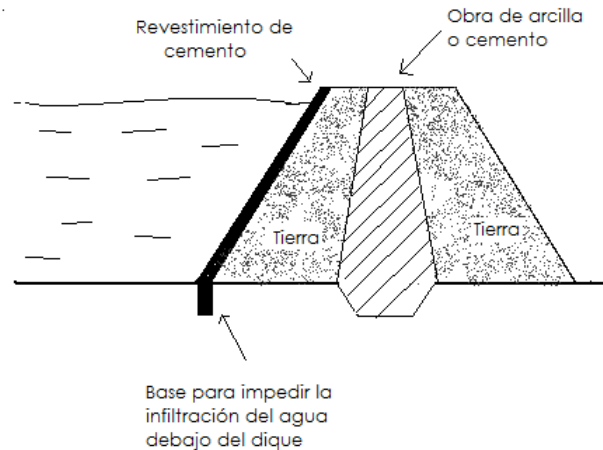
Las presas cumplen básicamente con tres finalidades:

- Una concentración de desnivel de un río para producir una caída de agua.
- La creación de un gran almacenamiento de agua capaz de regularizar el nivel o el flujo.
- Como una elevación del nivel del agua para facilitar la entrada del agua en un canal, en un túnel o en una tubería que se usan para alimentar la casa de máquinas (turbinas).

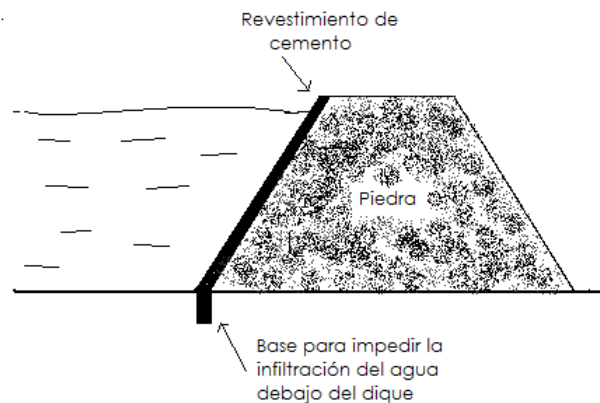
Su clasificación es muy común que se haga por el tipo de material de construcción empleado como:

- Presas de tierra. Se construye acumulando tierra alrededor de un muro importante de arcilla generalmente se construyen como obras de contención en recursos de gran contención y con lateras no superiores a 20 o 20 ms.

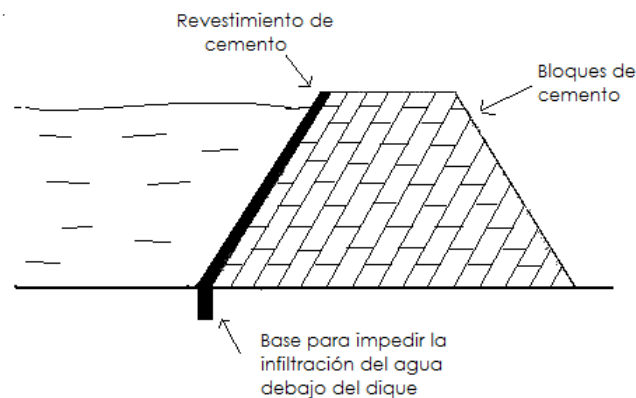




- De roca (piedra). Se construyen acumulando cantidades considerables de piedra perfectamente compactada y poniendo un revestimiento en el lado que queda en contacto con el agua para garantizar de esta manera la impermeabilidad.

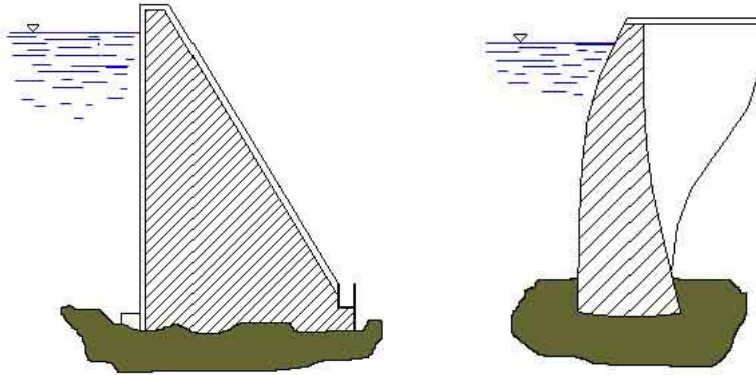


- De concreto. Se construye de bloques de concreto colocados uno sobre otro.



- En concreto macizo. Están constituidas de una enorme masa de cemento y piedra, cuyo peso está relacionado con el equilibrio estático de la cantidad de agua en el embalse, este tipo si se analizan en planta, puede tener forma rectilínea (de gravedad) o ligeramente curvada (de bóveda).





### ◆ Aliviadero

Los aliviaderos son elementos vitales de la presa que tienen como función liberar parte del agua detenida sin que esta pase por la sala de máquinas.

Se encuentran en la pared principal de la represa y pueden ser de fondo o de superficie.

La misión de los aliviaderos es liberar, si es preciso, grandes cantidades de agua o atender necesidades de riego.

Para evitar que el agua pueda producir desperfectos al caer desde gran altura, los aliviaderos se diseñan para que la mayoría del líquido se pierda en una cuenca que se encuentra al pie de la represa, llamada de amortiguación.

Para conseguir que el agua salga por los aliviaderos existen grandes compuertas de acero que se pueden abrir o cerrar a voluntad, según la demanda de la situación

### ◆ Canal de derivación:

Sirve para conducir el agua desde la presa al recipiente de carga o de las turbinas de la central, se construye en forma de tubería o a la intemperie. Cuando el salto es superior a 15 m se recomienda que entre el agua a la sala de turbinas por medio de tuberías forzadas lo que requiere, de la construcción de la cámara de presión.

En general los elementos de conducción de agua que relacionan la toma de agua con las turbinas son:

#### ➤ Canales o túneles con superficie de agua libre.

Son raramente utilizados en máquinas al hilo del agua que tienen grandes variaciones en el nivel del agua que almacenan. La diferencia entre cada tipo depende de la inclinación del Talud del perfil transversal y del revestimiento que se tenga en las paredes.

Los canales deben tener una pendiente pequeña para mantener en el agua una cierta velocidad de circulación. Con el objeto de que no disminuya el salto útil.





### ➤ Tuberías.

En las instalaciones hidroeléctricas en donde las alturas de caída son por lo general superiores a 15m es común que en lugar de canales de conducción se usen las tuberías de presión.

Las tuberías de presión o forzadas sirven para conducir el agua de la cámara de presión a las turbinas cuando por la altura de la caída se requiere este arreglo para transformar la energía potencial en energía cinética

Cuando la tubería de presión es de gran longitud y en tramos que tengan una pendiente pequeña en una parte y una gran pendiente en la otra, entonces el pozo de oscilación se debe construir tan cerca como sea posible de la casa de máquinas.

Algunas formas comunes de estos pozos o piezométricos son:

- a. De oscilación tipo a: produce un efecto acelerador o retardador
- b. De oscilación tipo b: diseñado para que el túnel o canal pase debajo del cuerpo cilíndrico para limitar las pérdidas de carga en la entrada y salida, amortigua las oscilaciones.
- c. De oscilación tipo c: con estrangulamiento y un tubo central.
- d. De oscilación tipo d: reduce el tamaño de los pozos dividiéndose en 3 partes con funciones diferentes, un pozo de sección transversal para garantizar un rápido cambio del nivel del agua y de presión.

### Válvulas:

U órganos de obturación, se utilizan para abrir y cerrar la circulación de agua por las tuberías, de acuerdo a la función que desempeñan puede ser:

1. Seccionamiento: su función es cerrar la circulación de agua hacia las turbinas cuando es requerido.
2. Seguridad: están normalmente equipadas con dispositivos automáticos de cierre para operar cuando la velocidad del agua exceda a un valor máximo fijado como límite y también cerrar el conducto cuando el gasto de agua exceda al que la turbina use normalmente o en caso de desboque de la misma.

Por lo general las válvulas están provistas de dispositivos para mando de control remoto para ser accionadas desde la sala de control central. Las más comunes son:

- Tipo mariposa: empleadas principalmente como elemento de emergencia o de seguridad en el arranque de tuberías forzadas, son usadas también con propósitos de mantenimiento y principalmente en instalaciones de poco salto o pequeña pérdida de carga.
- Tipo esférica: la mayor parte de sus aplicaciones son en las instalaciones importantes, presentan características de poca pérdida de carga, funcionan como órgano de intersección o de regulación del gasto y puede soportar cargas fuertes en los conductos de gran diámetro. Válvulas de cierre lento.
- Chorro divergente: se usa a la salida de las tuberías con propósitos de regulación y servicio.
- Aguja: válvulas equipadas generalmente con de by pass conectadas en derivación entre las 2 partes.





### ◆ Compuertas:

Se emplean para cerrar los conductos de agua como son los canales y tuberías, y para regular el gasto o caudal de agua en estos conductos.

Por su diseño pueden ser:

- Deslizantes: en este tipo el elemento de cierre se desliza o mueve sobre superficies deslizantes que además sirvan de soporte y elemento de sello, se usan en estructuras de canales y obras de toma y tanques de regulación.
- Rodantes: se usa preferentemente en las obras que tienen una toma profunda en casos de emergencia o para servicio, así como para trabajos de mantenimiento, se levantan por medio de cadenas o cables con grúas especialmente instaladas y ruedan a su posición de sello de acuerdo a su propio peso.
- Radiales: tienen la forma de una porción de cilindro que gira alrededor de un eje horizontal. Por lo general se levanta para desaguar y se usa para control en canales así como obras de toma.

### ◆ Deposito de carga o vaso regulador:

Se instala en un lugar adaptado sobre la central, generalmente al final del canal de derivación que alimenta a la tubería de presión que es alimentada por medio del agua almacenada en el vaso.

Tiene el objetivo de almacenar una cierta cantidad de agua para hacer frente a las variaciones de las cantidades requeridas por la turbina, debidas a las variaciones de la carga de los usuarios.

### ◆ Canal de desfogue o descarga:

El agua después de que se ha inyectado en las turbinas a reacción sale del rodete con una cierta turbulencia a través del llamado canal de descarga que se conduce a algún otro canal de descarga o algún río cercano a la central.

Su sección es normalmente rectangular y una más se usa para limitar la velocidad del agua.

### ◆ Casa de Máquinas

Es la edificación que contiene las turbinas y los generadores eléctricos. Consta de varias partes. Entre las más importantes se encuentran las unidades de generación, la sala de control y los equipos auxiliares.







## 1.1.3.1 Centrales mini hidroeléctricas.

Una pequeña central hidroeléctrica (PCH) en derivación, puede ser de filo de agua, la cual se caracteriza por no disponer de un embalse que le permita reservar agua para usarla en las épocas de menor caudal; en tal sentido el caudal es tomado directamente del recurso hídrico mediante una bocatoma que se comunica con un canal, encargado de conducir el caudal con una pequeña pendiente hasta el lugar donde se obtiene la caída necesaria para obtener la potencia requerida; en este lugar se encuentra un tanque de presión y un desarenador que une el canal con la tubería de presión, encargada de llevar el caudal hasta la turbina.

Los componentes que conforman la PCH son:

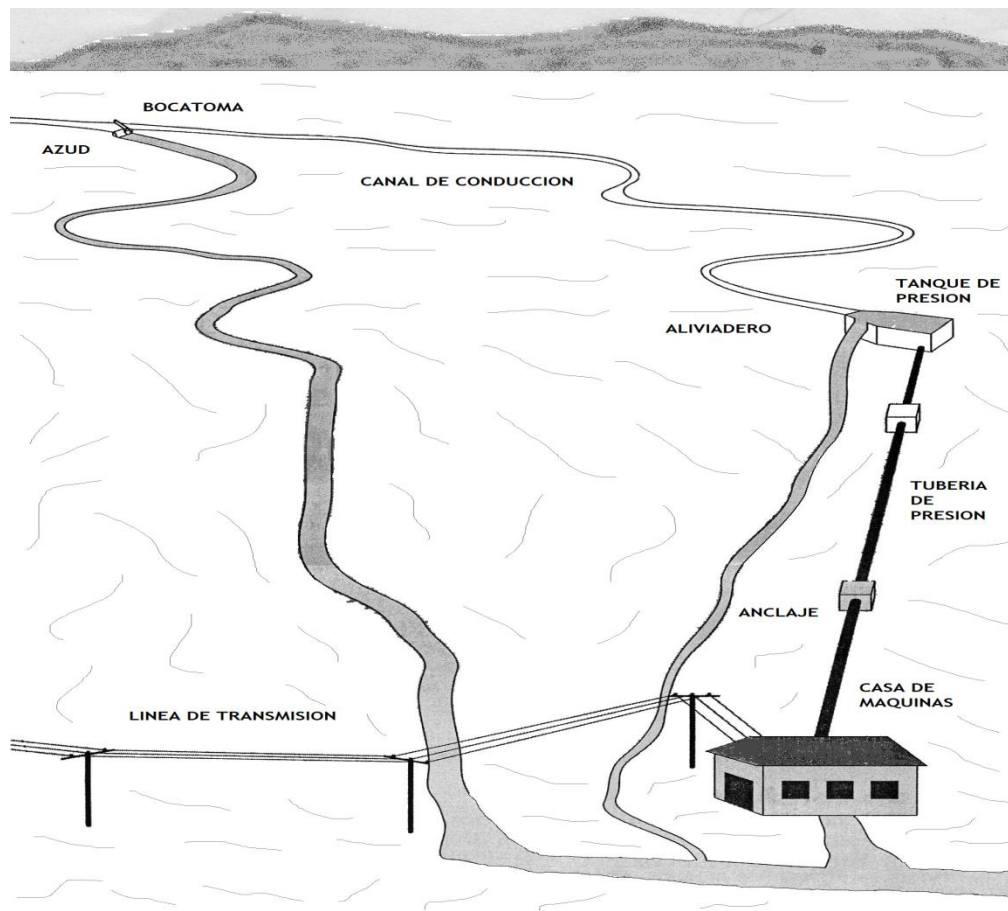


Figura 1- 7. Partes de una pequeña central hidroeléctrica.

### Bocatoma

Es la obra mediante la cual se toma el caudal que se requiere para obtener la potencia de diseño; su construcción es sólida, ya que debe soportar las crecidas del río.

### Obra de conducción

Se encarga de conducir el caudal desde el bocatoma hasta el tanque de presión, posee una pequeña pendiente; en la mayoría de los casos suele ser un canal, aunque también un túnel o una tubería.





## Desarenador

Es necesario que las partículas en suspensión que lleva el agua sean decantadas, por ello al final de la obra de conducción se construye un tanque de mayores dimensiones que el canal, para que las partículas pierdan velocidad y caigan al fondo del desarenador.

## Tanque de presión

En esta obra, la velocidad del agua es prácticamente cero, empalma con la tubería de presión, sus dimensiones deben de garantizar que no ingresen burbujas de aire en la tubería de presión, permitir el fácil arranque del grupo turbina – generador y amortiguar el golpe de ariete.

## Aliviadero

Con estas obras se elimina el caudal de exceso que se presenta en la bocatoma y en el tanque de carga, y se regresa al cauce del aprovechamiento.

## Tubería de presión

Mediante la tubería de presión se conduce el caudal de diseño hasta la turbina; está apoyada en anclajes que le ayudan a soportar la presión generada por el agua y la dilatación que le ocurre por variación de temperatura.

## Casa de máquinas

En ella encontramos la turbina, encargada de transformar la energía hidráulica en mecánica, la mecánica en eléctrica y, mediante el sistema de transmisión, llevarla al usuario.

## Otros elementos

Válvulas, reguladores, volante, tablero de medida y protecciones, subestación, barraje, etc.

### Tipos de turbinas:

Las turbinas hidráulicas usadas en las centrales se clasifican en:

- Turbinas de reacción: es aquella en la que el trabajo mecánico se obtiene por la transformación de la energía cinética y de presión de agua que fluye a través de las partes giratorias. Son utilizadas por lo general en los aprovechamientos hidráulicos de pequeñas y medianas alturas.  
Se emplea el conocido principio de reacción de tal forma que el rodete se mueve siempre sumergido en el agua. El agua se mueve en sentido radial centrífugo, es decir, que el rodete que actúa como director se encuentra dentro de la rueda móvil.
- Turbinas de acción: son aquellas que transforman únicamente la energía cinética del agua.  
Clasificadas por:





## A. Pelton.

La turbina Pelton fue inventada por Lester A. Pelton. Esta turbina se define como una turbina de acción, de flujo tangencial y de admisión parcial. Opera más eficientemente en condiciones de grandes saltos, bajos caudales y cargas parciales. (Figura 1- 8)

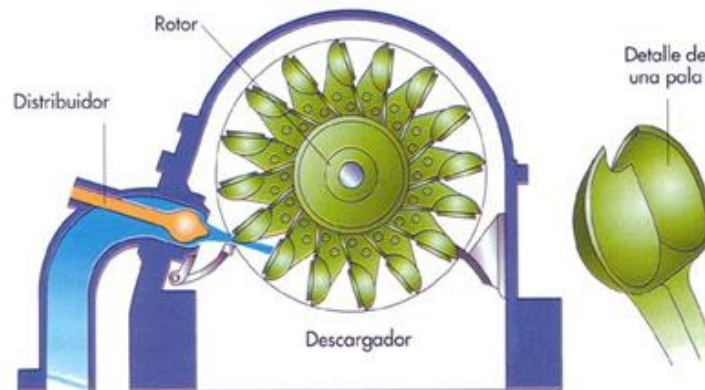


Figura 1- 8. Turbina Pelton.

Las partes que la constituyen son:

**Distribuidor:** Es el elemento de transición entre la tubería de presión y los inyectores. Está hecho por un inyector o varios inyectores que pueden llegar a ser hasta seis. El inyector consta de una tobera de sección circular provista de una aguja de regulación que se mueve axialmente, variando la sección de flujo.

Si se requiere una operación rápida para dejar al rodete sin acción del chorro, se adiciona una placa deflectora, así la aguja se cierra en un tiempo más largo, reduciendo los efectos del golpe de ariete.

En las turbinas pequeñas se puede prescindir de la aguja y operar con una o más toberas, con caudal constante.

**Rotor.** Es de admisión parcial, depende del número de chorros o de inyectores. Está compuesto por un disco provisto de cucharas montadas en su periferia. Las cucharas pueden estar empernadas al disco, soldadas o fundidas convirtiéndose en una sola pieza con el disco. Esta turbina puede instalarse con el eje horizontal con 1 o 2 inyectores, y con el eje vertical con 3 a 6 inyectores.

**Carcasa.** Es la envoltura metálica que cubre los inyectores, el rotor y los otros elementos mecánicos de la turbina, su principal objetivo es evitar que el agua salpique al exterior.

La forma de la carcasa es diferente según sea la turbina, de eje vertical o eje horizontal

**Cámara de descarga.** También conocida como tubería de descarga, es la zona por donde cae el agua libremente hacia el desagüe, después de haber movido el rotor.



**Eje.** El diseño original de este tipo de turbinas fue con el eje en posición vertical, el cual es conveniente para el caso de múltiples inyectores, sin embargo, cuando se trata de turbinas con uno o dos inyectores, resulta más simple el diseño en posición horizontal.

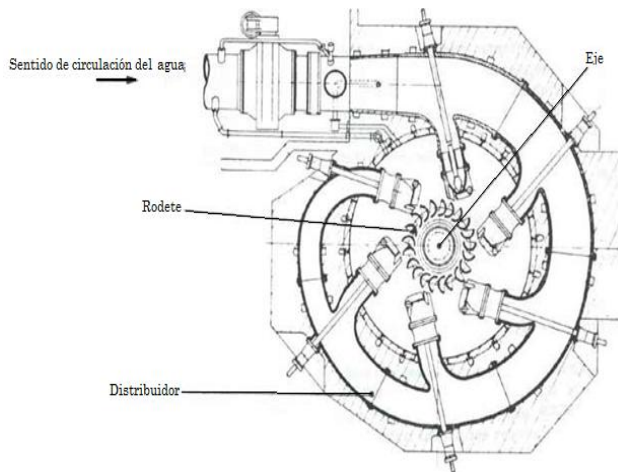


Figura 1- 9. Turbina Pelton de eje vertical.

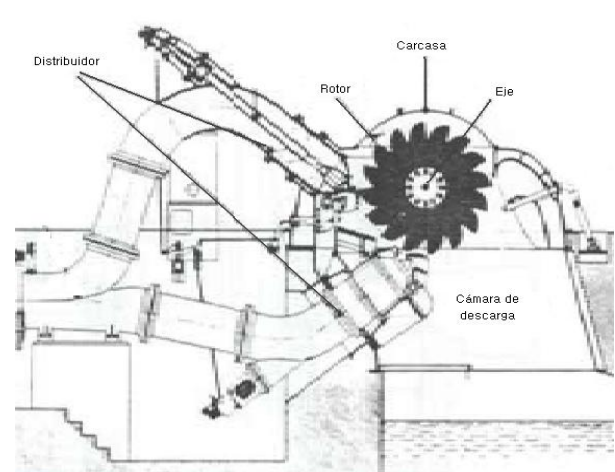


Figura 1- 10. Turbina pelton de eje horizontal.

- Tipos de turbinas:

### Microturbinas Pelton

Se usan en zonas rurales aisladas donde se aprovechan los recursos hidroenergéticos que existen en pequeños ríos o quebradas para transformarlos en energía mecánica o eléctrica.

Para hacer posible este proceso se tiene que hacer un grupo de obras así como obtener equipos especiales, éstos se dividen normalmente en tres grupos: obras civiles, equipo electromecánico y redes eléctricas. Su capacidad se clasifica en el rango de menores a 100kW y hasta 10kW

### Miniturbinas Pelton

Según las normas europeas las minicentrales hidroeléctricas son aquéllas que están comprendidas en el rango de 100kW a 1000kW de potencia.

Según la Organización Latinoamericana de Energía clasifica en el rango de 50kW a 500kW. Algunos modelos desarrollados cubren el rango de 50kW a 1000kW. El campo de aplicación es muy amplio, sobre todo para las poblaciones locales de zonas aisladas.

### Picoturbinas Pelton

La aparición de picocentrales hidroeléctricas y consecuentemente de picoturbinas, tiene apenas un poco más de una década. El rango de picocentrales está por debajo de los 10kW.

Las picoturbinas se aprovechan por los recursos hidráulicos existentes en quebradas muy pequeñas, manantiales u otras fuentes donde existen algunos chorros de agua y alguna pequeña caída que podría transformarse en energía mecánica o eléctrica. Se diseñan en la actualidad como pequeños bloques compactos, donde en una sola unidad se incluyen todas sus partes. Se caracteriza principalmente por su pequeño tamaño, su versatilidad y por su facilidad para el transporte e instalación.





## B. Francis.

La turbina Francis fue desarrollada por James B. Francis. Se trata de una turbomáquina motora a reacción y de flujo mixto. Están diseñadas para los caudales y saltos de rango medio (aprox. 100m)

Son conocidas como turbinas de sobrepresión por ser variable la presión en las zonas del rodete, o de admisión total ya que éste se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia. También se conocen como turbinas radiales-axiales y turbinas de reacción.

El campo de aplicación es muy extenso, dado el avance tecnológico conseguido en la construcción de este tipo de turbinas.

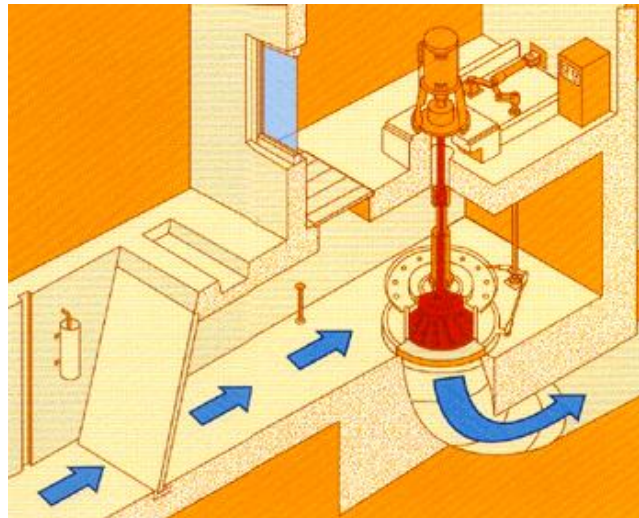


Figura 1- 11. Turbina Francis.

Las partes que la constituyen son

**Caracol o caja espiral.** Tiene como función distribuir uniformemente el fluido en la entrada del rodete de una turbina. Constituye el ducto alimentador de agua al rodete, es de sección circular y diámetro decreciente. Circunda el rodete y le entrega el agua requerida para la operación. El agua pasa del caracol al distribuidor guiada por unas paletas direccionales.

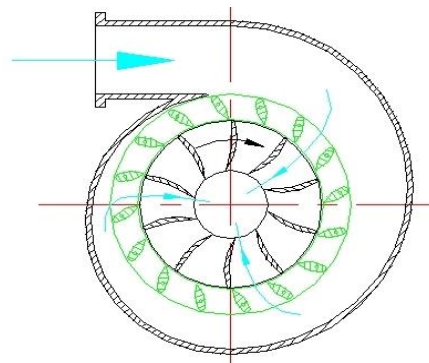


Figura 1- 12. Caracol o caja espiral de turbina Francis.





**Distribuidor.** El sistema de distribución posee una parte estacionaria denominada anillo fijo (stay ring) y los álabes fijos. Su función es regular el caudal que entra en la turbina, a la vez de direccionar al fluido para mejorar el rendimiento de la máquina; los álabes móviles en forma de persiana vertical y circular guían el agua hacia el rodete. En el distribuidor se transforma la energía de presión en cinética.

**Rotor o rodete.** Es la rueda motriz propiamente y posee álabes que están adosados a un disco perpendicular al eje de la máquina, ya que aquí tiene lugar el intercambio de energía entre la máquina y el fluido, pueden tener diversas formas dependiendo del número de giros específico para el cual está diseñada la máquina.

**Tubo de aspiración.** También denominado difusor o tubo de desfogue. Su función es recuperar el máximo de energía cinética del agua a la salida del rodete. En general se construye en forma de difusor, para generar un efecto de aspiración, el cual recupera parte de la energía que no fuera entregada al rotor en su ausencia.

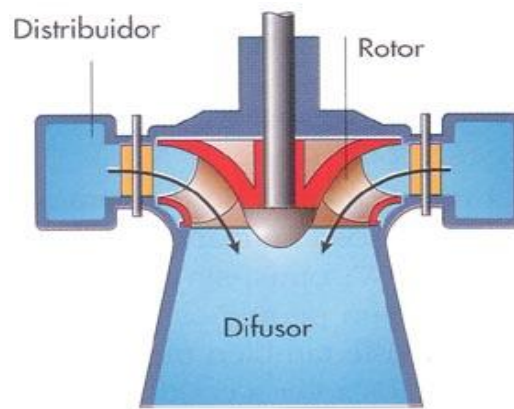


Figura 1- 13. Difusor de una turbina Francis.

Este tipo de turbinas se clasifican, en función de la velocidad específica del rodete, cuyo número de revoluciones por minuto depende de las características del salto.

- Turbina Francis lenta. Para saltos de gran altura (alrededor de 200 m o más).
- Turbina Francis normal. Indicada en saltos de altura media (entre 200 y 20 m)
- Turbinas Francis rápidas y extra rápidas. Apropriadas a saltos de pequeña altura (inferiores a 20 m).

### C. Kaplan.

Su nombre se debe al ingeniero austríaco Víctor Kaplan (1876-1934). Entre 1910 y 1918 desarrolló una turbina hélice con los álabes de rodete orientables, y que lleva su nombre. Al poder variar la posición de los álabes, puede buscarse que su inclinación coincida en cualquier punto de funcionamiento con la dirección del flujo a la entrada del rodete, por lo que se adapta bien a cualquier carga.





Al igual que las turbinas Francis, las de tipo Kaplan, son turbinas de admisión total, incluidas así mismo en la clasificación de turbinas de reacción. Las características constructivas y de funcionamiento, son muy similares entre ambos tipos.

Se emplean en saltos de pequeña altura (alrededor de 50 m. y menores), con caudales medios y grandes (aproximadamente de  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  en adelante).

Debido a su singular diseño, permiten desarrollar elevadas velocidades específicas, obteniéndose buenos rendimientos, incluso dentro de extensos límites de variación de caudal. A igualdad de potencia, las turbinas Kaplan son menos voluminosas que las turbinas Francis.

Normalmente se instalan con el eje en posición vertical, si bien se prestan para ser colocadas de forma horizontal o inclinada.

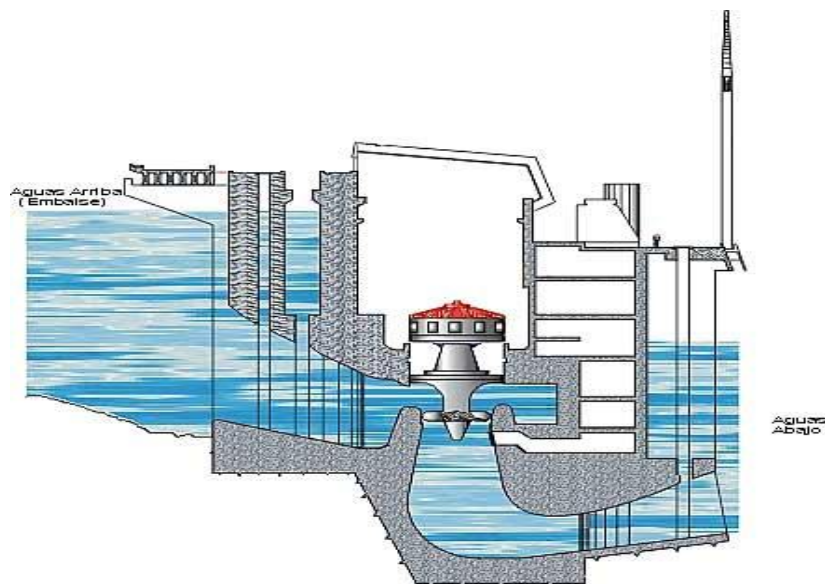


Figura 1- 14. Turbina Kaplan.

Dado el gran parecido con las turbinas Francis, las partes que la constituyen son:

### **Caja espiral, Distribuidor, Tubo de aspiración, Eje y Rotor.**

El elemento que difiere plenamente entre ambos tipos de turbinas es el rotor o rodete, el cual identifica a la turbina Kaplan como tal, permitiendo la obtención de rendimientos óptimos, incluso con valores de 30% del caudal máximo.

**Rotor o rodete.** Se asemeja a la hélice de un barco, al estar formado por un número determinado de palas, de 2 a 4 para saltos de pequeña altura y de 5 e 9 cuando los saltos son mayores,

Solamente se denominan turbinas Kaplan, cuando todas y cada una de las palas del rodete están dotadas de libertad de movimiento, pudiendo orientarse, dentro de ciertos límites, girando al unísono y uniformemente sobre sus asientos respectivos situados en el núcleo, llamado también cubo del rodete, según ejes radiales del eje de turbina, adoptando posiciones de mayor o menor inclinación respecto a este último, según órdenes recibidas del regulador de velocidad.





Figura 1- 15. Rotor de Turbina Kaplan.

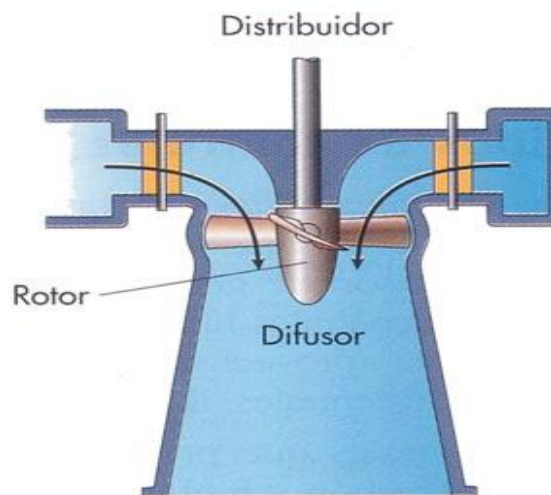


Figura 1- 16. Funcionamiento de una turbina Kaplan.

Las turbinas Kaplan, son también conocidas como *turbinas de doble regulación*, por intervenir en el proceso de regulación tanto las palas del distribuidor, como sobre las palas del rotor dependiendo de las condiciones de carga y del salto existente.

Existen 3 tipos de turbinas Kaplan:

**Hélice:** cuando el salto y caudal disponible en un aprovechamiento permanecen constantes lo largo del año, es aconsejable instalar una turbina sin ningún tipo de regulación. Es decir, ya que las condiciones a las que va a trabajar la turbina no van a variar, podemos dejar libre la entrada del agua hacia la hélice y ésta, con palas sin ningún tipo de regulación. Este tipo de turbinas se llama también de paso fijo.

Este tipo de turbina trabaja con un alto rendimiento mientras no varíen sus condiciones de trabajo.

**KAPLAN:** Las turbinas de hélice han desaparecido casi por completo y han sido desplazadas por las Kaplan porque, aunque su precio es mayor a causa del complejo mecanismo de orientación de los álabes y de la doble regulación (que exige dos servomotores y dos válvulas de distribución de aceite) su curva de rendimiento es una curva casi plana y su rendimiento a cargas intermedias es muy superior no solo a las turbinas de hélice, sino también a las turbinas Francis.

**SemiKAPLAN:** Las turbinas Kaplan se simplifican a veces y se abarata su construcción omitiendo el distribuidor constituyendo una SemiKaplan.







### 1.1.4 Costos.

El costo real de producir energía hidráulica varía de planta de energía a planta, ya que una de las principales variables a considerar es el tamaño de esta. En general, entre más grande sea una planta hidroeléctrica es mayor el costo de construcción pero más barato es el costo por kilowatt para producir electricidad. Cuando se compara con otros medios de producir electricidad, los costos de producción hidroeléctrica corren alrededor de cerca de un tercio de cualquiera de los combustibles fósiles (carbón o petróleo) o plantas de energía nuclear, y es menos de una cuarta parte del costo de la producción eléctrica de turbina de gas<sup>13</sup>. El factor principal que contribuye en la diferencia en este costo de producción es el costo del combustible para los otros medios de producción de electricidad, es decir, el costo de producción eléctrica se ve significativamente reducido puesto que el costo de operación es insignificante al no tener que gastar en compra de combustible y no estar sujeto al riesgo asociado a la volatilidad de los mercados de combustible.

El costo total de una planta hidráulica a su vez está formado por:

- Costo directo que equivale al 65% del total.
  - Ø Construcción de obras civiles.
  - Ø Adquisición de equipo electromecánico y montaje.
  - Ø Materiales para la construcción civil.
  - Ø Costos de mano de obra para la construcción de las obras civiles.
  - Ø Costo de mantenimiento y operación.
  - Ø Materiales para mantenimiento y operación.
- Costo indirecto que equivale al 15% del total.
  - Ø Costos de personal administrativo. Para mini centrales este costo no es tan representativo, puesto que diferentes actividades son realizadas por los mismo usuarios)
  - Ø Impuestos y contribuciones.
- Costo financiero equivalente al 20% del total.

### 1.1.5 Ventajas.

- Alta eficiencia.
- No consume combustibles.
- Elevada fiabilidad de operación.

<sup>13</sup> <http://www.ieahydro.org/FAQ.html>





- Utiliza una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza.
- Capacidad de adaptarse fácilmente a los cambios de carga eléctrica.
- No contamina ni el aire ni el agua. No produce residuos de productos que contribuyan a problemas de calidad del aire, la lluvia ácida y los gases de efecto invernadero.
- Larga vida útil.
- Los costos de mantenimiento y funcionamiento son reducidos.
- Requiere poca vigilancia, ya que la turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez.
- Es autónoma respecto al desarrollo de precios de energía.
- Es autónoma de las dificultades de interconexión para lugares aislados.
- Algunas veces puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y también como ornamentación del terreno y turismo.

Con respecto a la gran hidráulica, las ventajas de las centrales pequeñas, mini y micro son:

- Tecnologías de fácil adaptación.
- Reducido costo de operación.
- Reducido costo y simplicidad de mantenimiento.
- Reducen los riesgos por inundaciones.
- Larga vida útil de las estructuras hidráulicas.
- Ayuda a evitar la erosión de la cuenca.
- Mejora las labores agrícolas propiciando el desarrollo agroindustrial.
- Desarrollo económico de la industria metalmecánica.
- Derrama económica por la construcción y operación.
- Arraigo en las zonas rurales y capacitación.
- Soluciona problemas de costos crecientes y dificultades en el abastecimiento de combustible.





## 1.1.6 Desventajas.

- Los costos de instalación iniciales son muy altos.
- Su ubicación es condicionada por la geografía natural. Suele estar lejos de los centros de consumo y obliga a construir un sistema de transmisión de electricidad, aumentando los costos de inversión y de mantenimiento y aumentando la pérdida de energía.
- La construcción implica mucho tiempo en comparación con las centrales termoeléctricas.
- El espacio necesario para el embalse inunda muchas hectáreas de terreno y el hábitat de la fauna silvestre.
- Cambio en los regímenes de flujo, de acuerdo con el régimen de lluvias, de estación en estación y de año en año.
- Dependencia a las precipitaciones (sin control de cantidad de agua disponible).
- Disconformidad en la población por desplazamiento en las zonas.
- Erosión en las orillas de los lagos produciendo gas del pantano (gas metano) con la descomposición de la biomasa. (Eutroficación)

Con respecto a la gran hidráulica, las desventajas de las centrales pequeñas, mini y micro son:

- Elevadas inversiones unitarias por kilovatio instalado.
- Estudios costosos con relación a la inversión total.
- Producción de energía afectada por condiciones meteorológicas estacionales.
- Necesidad de resolver eventuales contradicciones en las prioridades del uso del agua.
- Dificultades y burocracia que se deben enfrentar para la obtención de permisos. Falta de un marco regulatorio adecuado que apoye y promueva el desarrollo de estos proyectos.
- Capacidad de pago de la población así como su disposición a pagar los servicios.
- Su continuidad operativa depende de las características tecnológicas de las instalaciones, de una adecuada base económica productiva para el aprovechamiento de la energía generada y de adecuados esquemas institucionales para la administración, operación y mantenimiento.





### 1.1.6.1 Eutrofización de Embalses.

Una de las desventajas de la Gran hidráulica que tiene un peso significativo es la “eutrofización de los embalses”, este problema se refiere a la pérdida y degradación continua de los recursos de agua dulce.

Para entender este problema es necesario saber que:

Un embalse o represa es una acumulación artificial de agua que tiene como particularidad poder ser parcial y/o totalmente vaciado por gravedad o por aspiración. El cual se clasifica de acuerdo a su origen natural en: lago, charca, laguna o estanque; o artificial: cavado en el suelo o consecuencia de una represa.

Entre sus principales usos están el control del caudal de la crecida de un río, usos recreativos y/o estéticos, pesca, caza y acuicultura, abastecimiento para agua de riego, fuente de energía, entre otros.

A pesar de que las represas han sido construidas antiguamente, recientemente han tenido un auge considerable debido a la creciente demanda de agua y energía hidroeléctrica.

La eutrofización de un curso o depósito de agua puede producirse de manera natural, pero las actividades humanas pueden acelerar en gran medida este proceso, por lo que lo más habitual es que un lago o río eutrófico esté sucio o contaminado. En efecto, las aguas residuales urbanas, los vertidos industriales y las aguas de escorrentía procedentes de la agricultura intensiva suministran grandes cantidades de materia nutritiva a las aguas. Esto trastorna el equilibrio del ecosistema, alterando su flora y su fauna, teniendo el proceso siguiente:

1. Se produce un crecimiento excesivo de las poblaciones de algas y plantas acuáticas.
2. Las aguas adquieren una coloración verdosa y pierden su transparencia.
3. La descomposición de la biomasa vegetal disminuye las cantidades de oxígeno disuelto (en ocasiones se llega a una ausencia total de oxígeno).
4. Esta descomposición de la materia orgánica en condiciones anaerobias origina productos tóxicos que dan mal olor y sabor al agua.
5. La composición de las poblaciones piscícolas se modifica.

Los embalses son ecosistemas eutróficos, ya que tanto por su carácter reciente como por el régimen de funcionamiento a que están sometidos, no tienen ni el tiempo ni las condiciones necesarias para evolucionar hacia sistemas oligotróficos. Aunque las fluctuaciones ambientales de los embalses pueden tener un origen muy diferente, su efecto es muy limitado y se engloban en su mayoría dentro de los procesos de eutrofización.

La eutrofización de las aguas, en resumen, conduce a una degradación del medio y disminuye significativamente la calidad del agua.



## 1.2 Energía Eólica

### 1.2.1 La Energía Del Viento

El origen del viento se encuentra en la radiación solar, que calienta de forma diferente la superficie del planeta, lo que origina que la densidad del aire y por lo tanto la presión atmosférica, se distribuyan de forma desigual y cambiante entre las distintas zonas de la tierra. El viento es la corriente de aire que tiende a circular en las zonas de altas y bajas presiones. Sin embargo, el movimiento del aire es alterado por la rotación de la tierra.

La circulación general de la atmosfera terrestre sigue unas pautas fijas, así, en cada hemisferio, se distinguen varios núcleos, más o menos definidos

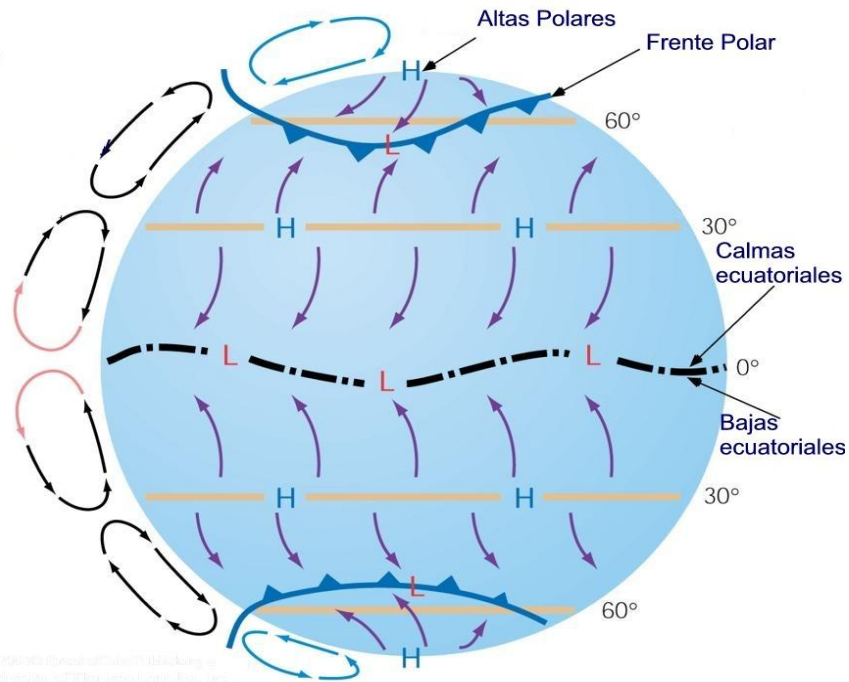


Figura 1- 17. Circulación atmosférica.

1. Zona ecuatorial, caracterizada por el movimiento vertical de convección. El aire caliente se eleva y circula hacia los trópicos. Es zona de bajas presiones y, a nivel del mar, el viento está en calma
2. La zona tropical, donde predominan los vientos alisios, dirigido hacia la zona ecuatorial, y que ocupan el lugar del aire recalentado de la zona ecuatorial.
3. La zona de calmas y altas presiones subtropicales. Hacia el paralelo 30 empieza el descenso hacia la superficie terrestre del aire que había ascendido en la región ecuatorial, lo que produce la aparición de una franja continua de altas presiones.





4. La zona templada, caracterizada por los vientos de Oeste. La circulación es menos regular que en las restantes zonas y está influenciada por las masas de aire de origen subtropical o polar que irrumpen intermitentemente en la zona.
5. La zona polar. La débil radiación solar hace que el frío tienda a bajar a la superficie, lo que origina otra zona de altas presiones.

La circulación general de la atmósfera sigue estas tendencias generales, pero, después, se modifica sustancialmente por la distribución de océanos y continentes y por la presencia de cadenas montañosas

Los antiguos egipcios utilizaban la fuerza del viento para impulsar sus embarcaciones a vela en sus desplazamientos por el Nilo, e igualmente las culturas sumerias se valían de la navegación a vela para trasladarse por los ríos Tigris y Éufrates.

La primera referencia histórica sobre una posible utilización de la energía eólica que no fuera la navegación, data del año 1700 a.C. y corresponde a los proyectos de irrigación del emperador Hammurabi.

Las máquinas eólicas más antiguas que se conocen tenían una finalidad religiosa, y parece ser que fueron de uso corriente en la zona del Tíbet y la Mongolia con anterioridad al siglo II a.C. La función concreta que desempeñaban estas máquinas en los ritos religiosos no se conoce detalle.

El primer molino de viento de aplicaciones utilitarias que se conoce con cierto detalle es el molino persa de eje vertical, el cual se empleaba para moler grano, y se utilizó varios siglos antes de Cristo.

En el extremo oriente, los chinos utilizaban desde tiempo inmemorial unos molinos llamados “panémonas” que se usaban para bombear agua. Las “panémonas” eran de eje vertical y sus palas estaban construidas a base de telas sujetas a largueros de madera. La posición de las palas podía variarse para regular la acción del viento sobre el molino. Los molinos de eje horizontal debieron surgir por primera vez en el área de la antigua Persia, probablemente con anterioridad a la época islámica. Su invención debió responder a la necesidad de adaptar máquinas eólicas de eje vertical al bombeo de agua.

A partir de entonces, la historia de los molinos de viento se desenvuelve hasta nuestros días a través de distintas religiones y culturas. Extremo Oriente, la antigua Persia, Afganistán, la civilización Islámica, Bretaña, Inglaterra y los Países Bajos, y con posterioridad Europa.

La “era moderna” de los molinos viene de la mano del desarrollo de la teoría de la aerodinámica, elaborada en las primeras décadas del siglo XX por Prandtl y Betz en Alemania, Joukowski, Dzewisky y Sabinin en Rusia, y Constantin y Eiffel en Francia, que primeramente encontraron aplicaciones en la fabricación de alas y hélices utilizadas en aviación y posteriormente en las palas de los rotores de los molinos.

Fue por eso que las máquinas cavaron perdiendo su carácter pintoresco habitual y se transformaron en los modernos molinos de austeras líneas, que se ajustan mejor a la conversión de la energía eólica de forma eficiente.

El impulso dado se lo dio el embargo de petróleo de 1973, el cual obligó a redoblar los esfuerzos en el perfeccionamiento de las fuentes alternativas de energía.





En la actualidad el impulso prosigue con la creciente concienciación de los problemas ambientales derivados de la utilización de fuentes convencionales de energía.

El término eólico viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Éolo o Eolo, dios de los vientos en la mitología griega y, por tanto, perteneciente o relativo al viento.

Las *grandes* regiones con más viento se encuentran en las regiones costeras de América, Europa, Asia y Australasia. Muchas regiones montañosas también presentan viento, mientras que en los interiores de las grandes masas de tierra son generalmente menores. El total del recurso es vasto, una estimación sugiere alrededor de 53 TWh para la cobertura total de la tierra.<sup>14</sup> El recurso eólico en el mar también es enorme, de los recursos europeos, por ejemplo, capaz de abastecer todas las necesidades eléctricas de la Unión Europea, sin ir más lejos que 30 km de la costa.

Las zonas del “mejor” recurso eólico en tierra, basada en los planos del Dr. Gregor Czisch y el análisis de Archer y Jacobson<sup>15</sup> se resumen a continuación y se muestra que el recurso se encuentra bien distribuido.

REGION	LOCALIZACION
Europa	Costas norte y oeste de Escandinavia y del Reino Unido, algunas regiones del mediterráneo.
Asia	Costa este, algunas zonas tierra adentro, islas en el Pacífico.
África	Norte, costa suroeste.
Australasia	Muchas regiones costeras.
América del Norte	Muchas regiones costeras, algunas zonas centrales, especialmente zonas montañosas.
América del Sur	Mejor hacia el sur, zonas de costa en el este y norte.

Cuadro 1- 1. Localización por regiones de recurso eólico.<sup>16</sup>

<sup>14</sup> [http://www.worldenergy.org/documents/ser\\_2010\\_report\\_1.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/ser_2010_report_1.pdf)

<sup>15</sup> *Ibidem.*

<sup>16</sup> *Ibidem.*



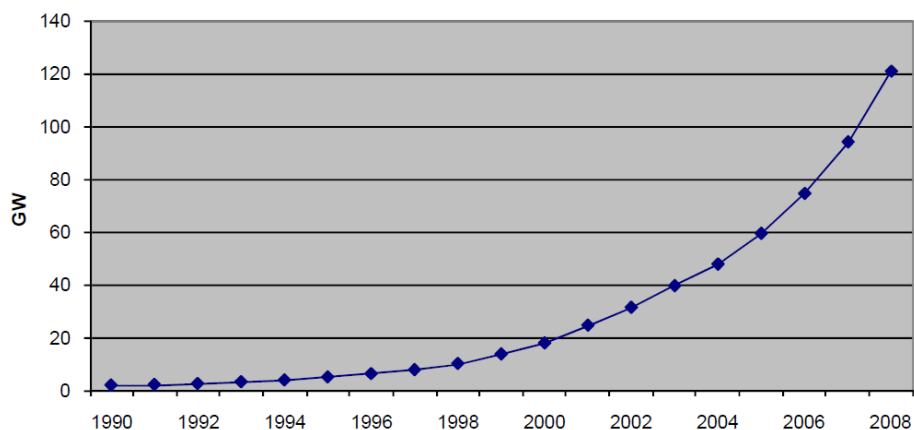


## 1.2.2 Panorama Mundial de la energía eólica.

La energía eólica se está desarrollando en el mundo industrializado por razones ambientales y tiene lugares de interés en el mundo en desarrollo, puede instalarse rápidamente en áreas donde la electricidad es una necesidad urgente. En muchos casos puede ser una solución costo-efectiva, si y solo si, los recursos de combustibles fósiles no son de fáciles de conseguir. Además existen muchas aplicaciones para la energía eólica en regiones remotas, en todo el mundo, sea para complementar la potencia del diesel (el cual tiende a ser más caro) o para abastecer granjas, viviendas y otras instalaciones sobre una base individual.

La capacidad instalada de energía eólica mundial se ha duplicado aproximadamente cada tres y medio años desde 1990. Es dudoso que cualquier otra energía tecnológica este creciendo, o haya crecido, a tal velocidad. La capacidad total a finales de 2008 fue cerca de 120 GW y la generación total anual cerca de 227 TWh, aproximadamente igual al consumo anual de Australia. Los Estados Unidos, con cerca de 25 GW, tiene la mayor capacidad pero Dinamarca con más de 3 GW, tiene el mayor nivel per capita, y su producción corresponde cerca del 20% del consumo de electricidad danesa<sup>17</sup>.

**Crecimiento de la capacidad eólica mundial**



Gráfica 1. 3. Crecimiento de la capacidad eólica mundial (1990-2008).<sup>18</sup>

La energía eólica instalada en 2009 creció aproximadamente 31.68% respecto a 2008, con un total instalado en todo el mundo de 159,213.3 MW. Europa, en ese año, lidera el parque de energía eólica con un aproximado del 46% del parque, Asia con un 26% y Norte América con un 25% aproximadamente.

<sup>17</sup> Survey of energy resources 2010.

<sup>18</sup> Ibidem.



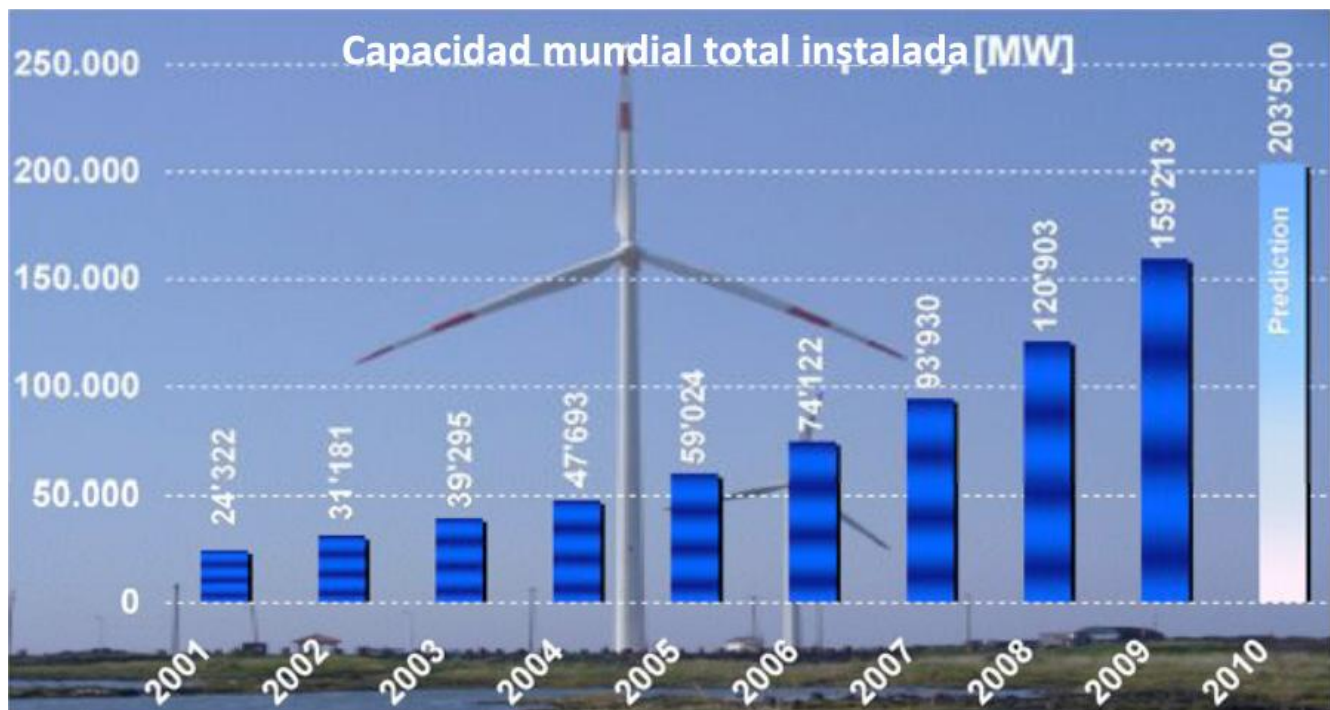




Capacidad eólica mundial instalada, 2009		
País	MW	Participación (%)
1. EE. UU.	35,159	22.08
2. China	26,010	16.33
3. Alemania	25,777	16.19
4. España	19,149	12.02
5. India	10,925	6.86
6. Italia	4,850	3.04
7. Francia	4,521	2.83
8. Reino Unido	4,092	2.57
9. Portugal	3,535	2.22
10. Dinamarca	3,497	2.19
27. México	402	0.25
Resto del mundo	21,296.4	13.31
<b>Total</b>	<b>159,213.4</b>	

Tabla 1. 3. Capacidad eólica mundial instalada a 2009.<sup>19</sup>

De los 159,213 MW instalados en 2009, 38,212 MW fueron añadidos en este año, con lo cual mostró una razón de crecimiento del 31.7%, el mayor valor alcanzado desde 2001.

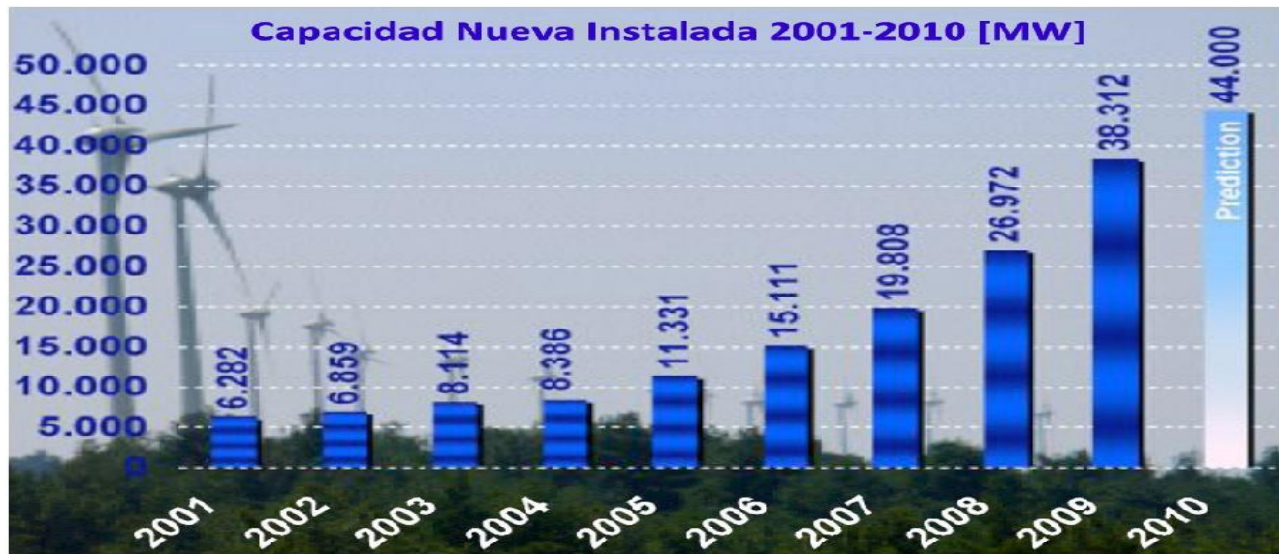


Gráfica 1. 4. Capacidad mundial total instalada.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Elaboración propia con datos de World Wind Energy Report 2009

<sup>20</sup> World Wind Energy Report 2009, WWEA



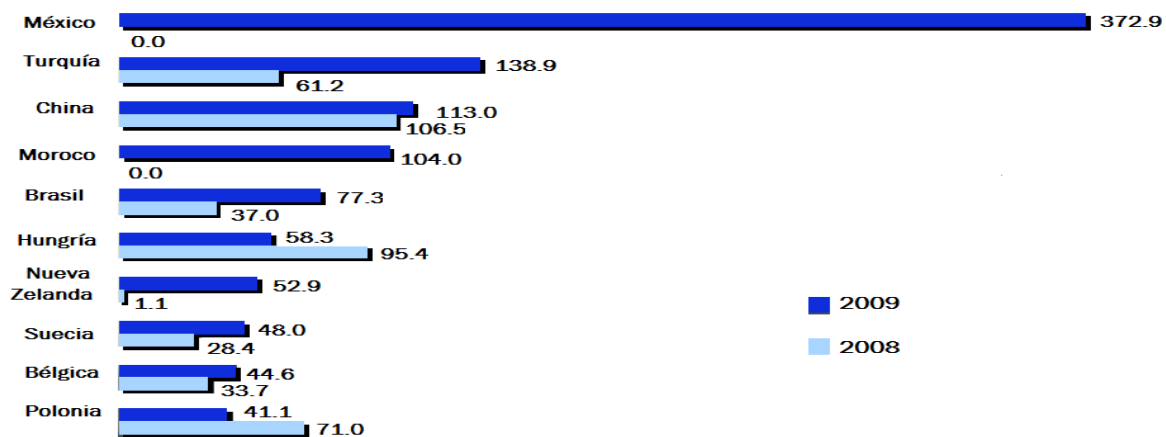


Gráfica 1. 5. Capacidad Nueva Instalada 2001-2010.<sup>21</sup>

Estados Unidos se mantuvo en la posición número uno en términos de capacidad total instalada y China se convirtió en el número dos en capacidad total, solo ligeramente alejada de Alemania, ambas cerca de 26,000MW de capacidad instalada.

En términos de nuevas instalaciones, Asia es el continente con mayor cantidad con un 40.4%, seguida por América del Norte con un 28.4%, debido al alentador crecimiento con más del doble en instalaciones principalmente debido a Brasil y México, y Europa retrocede al tercer lugar con el 27.3%.

### Los 10 países principales con mayor tasa de crecimiento



Gráfica 1. 6. Principales países con mayor tasa de crecimiento.<sup>22</sup>

Como se observa en la figura anterior, la mayor tasa de crecimiento con más del 100% ocurrió en México donde se cuadruplicó la capacidad instalada, también Turquía y China con 113% y Marruecos 104% aproximadamente.

<sup>21</sup> World Wind Energy Report 2009, WWEA

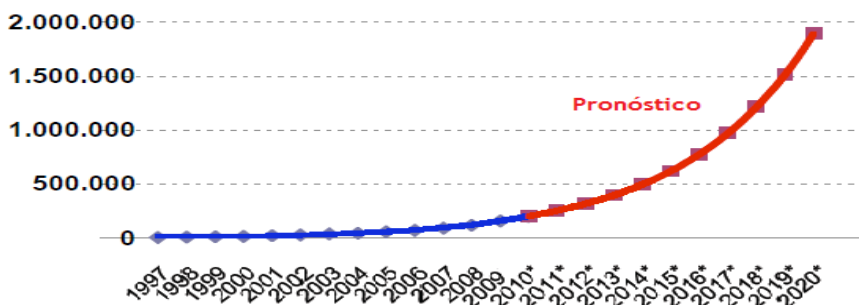
<sup>22</sup> Ibidem.





El sector eólico mostró un crecimiento impresionante en el 2009 a pesar de la crisis financiera mundial, asumiendo que la situación financiera global mejore sustancialmente en el futuro cercano, muchas otras regiones estarán en posibilidad de incrementar los fondos que son necesarios para acelerar el desarrollo de la energía eólica.

**Capacidad eólica total instalada 1997-2020 [MW]**  
Desarrollo y pronóstico



Gráfica 1. 7. Capacidad eólica total instalada 1997-2020.<sup>23</sup>

Basado en las tasas aceleradas de crecimiento, la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA por sus siglas en inglés) incrementa sus expectativas para el crecimiento futuro de la capacidad eólica global: al final de 2020, al menos 1.9 TW instalados podrían esperarse a nivel mundial<sup>24</sup>, 0.4 TW más que el pronóstico anterior.

La mayor parte de este crecimiento se considera que tienen lugar en los EE.UU. y China, mientras que Europa pierde su liderazgo. La región de Asia se espera que supere América del Norte para 2015 en el total de capacidad de energía eólica.<sup>25</sup>

Un estudio publicado por el “Energy Watch Group” revela que para el año 2025 es muy probable que se alcancen los 7.5 TW instalados alrededor del mundo, produciendo un total de 16,400 TWh. Las energías renovables conjuntamente excederían el 50 % del suministro global de energía<sup>26</sup>.

La capacidad eólica instalada fuera de costa (offshore) continuó creciendo en el 2009. Al final del año los parques eólicos instalados en el mar se encontraban en 12 países, diez de ellos en Europa y algunas instalaciones menores en China y Japón. La capacidad total instalada alcanzó 2 GW, 1.2% de la capacidad total instalada mundial.

Se agregaron 454 MW de turbinas eólicas offshore en 2009. Los mayores parques eólicos offshore se instalaron en Dinamarca, Reino Unido, Alemania, Suecia y China. En Dinamarca se inauguró el mayor parque eólico offshore en el Mar del Norte: Homs Rev II, 209 MW. China instaló su primer y mayor parque offshore, en un país no europeo, con 21 MW, cerca de Shanghai.

<sup>23</sup> World Wind Energy Report 2009

<sup>24</sup> Idem.

<sup>25</sup> [www.emerging-energy.com/](http://www.emerging-energy.com/)

<sup>26</sup> World Wind Energy Report 2008





### 1.2.3 Tecnología de Aprovechamiento Energético.

Componentes del sistema.

Un sistema de energía eólica comprende una o más unidades de aerogeneradores operando eléctricamente en paralelo. Cada turbina está hecha de los siguientes componentes básicos:

- Estructura de la torre.
- Rotor con 2 o 3 palas unidas al eje.
- Asta con engranaje mecánico.
- Generador eléctrico.
- Mecanismo de orientación, tal como la aleta de la cola.
- Sensores y control.

Debido al gran momento de inercia del rotor, problemas de diseño incluyen en el comienzo, la velocidad de control durante la operación de producir energía, y la detención de la turbina cuando se requiere. Las corrientes de Foucault u otro tipo de freno son usados para detener la turbina en caso de emergencia o por mantenimiento de rutina.

En un moderno parque eólico, cada turbina debe tener su propio sistema de control para establecer el marco operacional y funciones de seguridad desde un lugar remoto. Debe también tener uno o más de los siguientes componentes adicionales:

- Anemómetros, miden la velocidad del viento y transmiten los datos a el controlador.
- Sensores para monitorear y regular varios mecanismos y parámetros eléctricos. Una turbina de 1MW puede tener cientos de sensores.
- Puesto de controlador, inicia la máquina en las velocidades del viento de 8 a 15 mph y corta en 50 a 70 mph para proteger las palas de sobrecargas y el generador de sobrecalentamiento.
- Electrónica de potencia para convertir y condicionar la potencia a las normas requeridas.
- Controladores electrónicos, usualmente se incorpora una computadora.
- Batería para mejorar la disponibilidad de carga en una planta independiente.
- Enlace de transmisión para conectar la planta al área de red.

a. Torre.

La torre eólica soporta el rotor y la góndola que contiene el engranaje mecánico, el generador eléctrico, el mecanismo de orientación y el puesto de controlador.



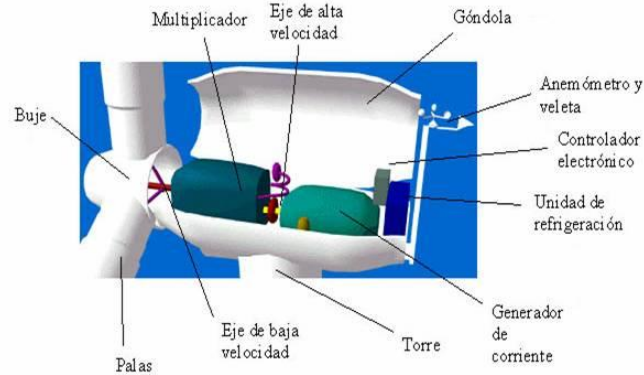


Figura 1- 18. Partes de un aerogenerador.

La altura de la torre esta en el rango de 20 a 50 metros. Para medidas de una turbina mediana y grande, la altura de la torre es aproximadamente igual al diámetro del rotor.

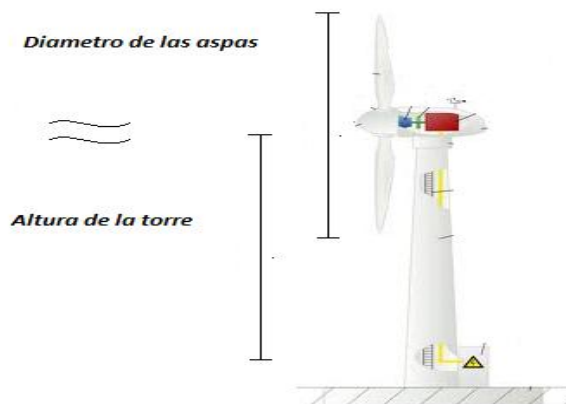


Figura 1- 19. Relación de medidas de un aerogenerador.

Las turbinas pequeñas son generalmente montadas en la torre a pocos diámetros de altura del rotor. De lo contrario, podrían sufrir fatiga debido a la escasa velocidad del viento encontrada cerca de la superficie de la tierra.

Ambas torres de concreto y de acero están disponibles y son usadas. Las torres deben tener por lo menos 25 o 30 metros de altura para evitar causar turbulencia causada por arboles y construcciones. La utilidad de las torres de escala son usualmente dos veces más altas para tomar ventaja de los vientos más rápidos a esas alturas.

La cuestión principal en el diseño de la torre es la estructura dinámica. La vibración de la torre y el resultado de ciclos de cansancio debajo de la velocidad de fluctuación son evitados en el diseño. Estas precauciones requieren eludir toda frecuencia de resonancia de la torre, el rotor, y la góndola de las frecuencias del viento de fluctuación. Un margen suficiente puede ser obtenido manteniendo entre las dos series de frecuencias en todos los modos de vibración.





Las frecuencias de fluctuación del viento son encontradas desde la medición en el sitio en cuestión. Grandes grúas son generalmente requeridas para instalar las torres eólicas. Gradualmente incremento la altura de la torre, sin embargo, está trayendo una nueva dimensión en la instalación.

### b. Turbinas.

Las turbinas eólicas son manufacturadas en un rango de medidas desde unos pocos kW para independientes aplicaciones remotas hasta unos pocos MW cada uno para una escala de utilidad de generación eléctrica. La capacidad de las turbinas han estado incrementándose a un ritmo constante. El promedio del tamaño de una turbina instalada mundial en 2002 fue por encima de 1MW. Para finales del 2003, cerca de 1200 turbinas de 1.5MW realizadas por GE solo se han instalado y están en funcionamiento.

Las turbinas ofrecen velocidad variable, control en las palas en una estructura más suave de apoyo, resultando una base costo efectiva. Su velocidad de viento nominal es 14 m/seg con velocidad de corte en 3.5 m/seg y de apagado en 25 m/seg. El diámetro de la pala es 104 m con la altura de buje de 100m en tierra y 75 m en el mar.

El peso de una turbina de 5MW puede variar entre 150 a 300 toneladas en la góndola y 70 a 100 en las aspas del rotor, dependiendo de las tecnologías de fabricación adoptadas en el momento del diseño.

La obtención de una turbina requiere especificaciones detalladas, las cuales son ofrecidas a la medida de las especificaciones de fabricación. Los fabricantes líderes de turbinas eólicas en el mundo son enlistados a continuación:

Proveedor	% de participación, 2009
<b>Vestas (Dinamarca)</b>	12.5
<b>GE Wind Energy (Estados Unidos)</b>	12.4
<b>Sinovel (China – PRC)</b>	9.2
<b>Enercon (Alemania)</b>	8.5
<b>Goldwind (China – PRC)</b>	7.2
<b>Gamesa (España)</b>	6.7
<b>Dongfang Electric (China)</b>	6.5
<b>Suzlon (India)</b>	6.4
<b>Siemens (Dinamarca / Alemania)</b>	5.9
<b>REpower (Alemania)</b>	3.4

Tabla 1. 4. Fabricantes líderes de turbinas eólicas (2009).<sup>27</sup>

### c. Palas

Las modernas turbinas eólicas tienen 2 o 3 palas, las cuales son cuidadosamente construidas con perfiles que utilizan principios aerodinámicos para capturar tanta potencia como sea posible. El perfil de diseño usa la parte superior de la superficie, mientras que los restos de la superficie de abajo es un tanto uniforme. Por el principio de Bernoulli, un “impulso” es creado en la superficie de sustentación por la diferencia de presión en el flujo del viento sobre la parte superior e inferior de la superficie de la lamina. Esta fuerza aerodinámica vuela alto, pero gira en las palas de la turbina sobre el eje. En adición a la fuerza de impulso en las palas, una fuerza de arrastre

<sup>27</sup> <http://caps.fool.com/blogs/top-10-wind-power-companies/527185>





es creada, las cuales actúan perpendicularmente hacia las palas, impidiendo el efecto impulso y desacelerando el freno del rotor.

Las palas del rotor son las primeras partes visibles de un aerogenerador, y representa la vanguardia de la ingeniería aerodinámica. La tensión mecánica constante debido a las fuerzas centrífugas y el cansancio por las vibraciones continuas hacen que el diseño de las palas tengan débil el impulso mecánico en el sistema. Extensos esfuerzos de diseño son necesarios para evitar que por un cansancio prematuro fallen las palas. Un rápido incremento en el tamaño de la turbina ha sido recientemente posible por el rápido progreso en la tecnología de las palas del rotor, incluyendo la aparición del carbono y la base de fibra de vidrio de compuestos de epoxy. Las palas de la turbina están hechas de madera de alta densidad o fibra de vidrio y componentes de epoxy.

El diseño aerodinámico de las pala es muy importante, como el determinar el potencial de energía capturada. Las palas de pequeñas y grandes máquinas tienen significativamente diferentes filosofías de diseño. La máquina pequeña sentada en una torre relativamente más grande que el diámetro de la pala, y generalmente desatendida, requiere un diseño de bajo mantenimiento. Por otro lado, una máquina grande tiende a optimizar el rendimiento aerodinámico para la captura máxima posible de energía. En cualquiera de los casos, el costo de la pala se mantiene generalmente por debajo del 10% del total del costo de instalación.

#### d. Control de velocidades.

La tecnología de las turbinas eólicas ha cambiado significativamente en los últimos 25 años. Las grandes turbinas eólicas son instaladas teniendo que ser diseñadas con velocidad variable, incorporando un control de paso y electrónica de potencia. Las pequeñas máquinas, por otro lado, son simples, energía de bajo costo y control de velocidad.

### Tipos de aerogeneradores

Actualmente existe una gran variedad de modelos de aerogeneradores que se diferencian entre ellos por su potencia, por el número de palas o incluso por la manera de producir energía eléctrica atendiendo a diferentes criterios:

1. Por la posición del aerogenerador
  - Eje vertical: su característica principal es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo
1. Darrieus: consisten en dos o tres arcos que giran alrededor del eje
2. Panemonas: cuatro o más semicírculos unidos al eje central.
3. Savonius: Dos o más filas de semicilindros colocados de forma opuesta.



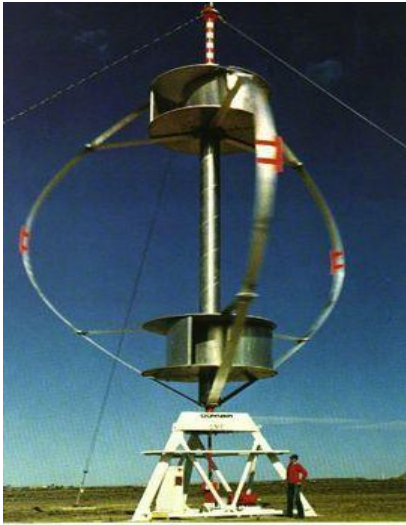


Figura 1- 20. Aerogenerador tipo Darrieus.



Figura 1- 21. Aerogenerador tipo Panémona.



Figura 1- 22. Aerogenerador tipo Savonius.

- Eje horizontal: son los más habituales y en los que se ha invertido un mayor esfuerzo para su mejora en los últimos años. Se les denomina también “HAWTs”



Figura 1- 23. Aerogenerador horizontal.

## 2. Por la orientación respecto al viento

- A sobre viento: la mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño. En este tipo de aerogeneradores el viento empieza a desviarse de la torre antes de llegar, aunque la torre sea redonda y lisa.
- A bajo viento: las máquinas de corriente baja tienen el rotor situado en la cara de bajo viento de la torre. Pueden ser construidos sin un mecanismo de orientación.







### 1.2.4 Costos.

El costo de la unidad de energía producida en instalaciones eólicas se deduce de un cálculo bastante complejo. Para su evaluación se deben tener en cuenta diversos factores entre los cuales:

- ❖ El costo inicial o inversión inicial, el costo del aerogenerador incide en aproximadamente el 60 a 70%.
- ❖ Debe considerarse la vida útil de la instalación (aproximadamente 20 años) y la amortización de este costo;
- ❖ Los costos financieros;
- ❖ Los costos de operación y mantenimiento (variables entre el 1 y el 3% de la inversión);
- ❖ La energía global producida en un período de un año. Ésta es función de las características del aerogenerador y de las características del viento en el lugar donde se ha instalado.
- ❖ Ya que la energía eólica no tiene un costo competitivo con los recursos térmicos de la generación de electricidad, el modelo de desarrollo ha sido muy dependiente de los apoyos mecánicos provistos por los gobiernos nacionales.

Los costos de energía eólica han disminuido de manera constante y el costo de una típica instalación para un parque eólico onshore está alrededor de \$1,600 Dólares/kW, y para un parque eólico offshore es cerca de \$2,400-3,000 Dólares/kW. Los gastos de electricidad varían, en parte de las variaciones en la velocidad del viento y en parte a los diferentes marcos institucionales. Los precios pagados por la electricidad de generación eólica en su mayoría en el rango de \$52-90 Dólares/MWh y en el extremo inferior de este rango es competitivo con el gas y el carbón.

Un estudio de los futuros costos de la Comisión de Desarrollo Sustentable (SDC, 2005) sugiere que los costos de instalación terrestre para el 2020 estarán entre 55% y 92% del nivel de 2001. Aplicando un cauteloso multiplicador de 81% a el nivel del 2005 sugiere que el nivel del 2020 puede ser alrededor de \$1,250 Dólares/kW. Un proyección más optimista del costo del Consejo de Energía Eólica Mundial sugiere \$1,000 Dólares/kW.

La energía eólica offshore es menos desarrollada, con una capacidad mundial alrededor de 750MW, pero existen planes substanciales en proyecto. Dos de las estimaciones en el reporte de la Comisión de Desarrollo Sustentable sugiere que los costos de instalación para el 2020 serán cerca del 57% del nivel del 2003.





### 1.2.5 Ventajas.

- La energía eólica es una fuerte alternativa de otros combustibles al cambio climático, ya que no produce efecto invernadero.
- Es un tipo de energía renovable ya que tiene su origen en procesos atmosféricos.
- Es una energía limpia que no emite gases atmosféricos.
- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables.
- Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo prados para uso ganadero o cultivos bajos como trigo, maíz, papas, remolacha, etc.
- No genera residuos peligrosos.
- Está en la superficie y por tanto, no requiere procesos de extracción.
- Su manejo y posibles accidentes en su explotación no implican riesgos ambientales de alto impacto, tales como derrames por transporte, explosión, incendios, etc.
- Su instalación es rápida, entre 6 meses y un año.
- Crea puestos de trabajo en las zonas en las que se construye y en las plantas de ensamblaje.
- Importante impulso al desarrollo regional.
- Atracción de la inversión privada.
- Creación de pequeñas y medianas empresas.
- Estando integrado a sistemas interconectados de energía eléctrica, permite el ahorro de combustible fósil, o agua almacenada en los embalses.





### 1.2.6 Desventajas .

- Los aerogeneradores emiten ruido generado por las aspas y la maquinaria
- Una central eólica no puede regular su carga, es decir, se debe tomar toda la energía que proporciona
- Los aerogeneradores, al igual que otras estructuras, a veces puede interferencia en las señales electromagnéticas de comunicación, incluida la televisión.
- Se debe tener especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones migran aves, por el riesgo que tiene las aves al impactar con las palas, aunque existen soluciones al respecto como pintar en colores llamativos las palas, situar los parques eólicos adecuadamente dejando "pasillos" a las aves, e, incluso en casos extremos hacer un seguimiento de las aves por radar llegando a parar las turbinas para evitar las colisiones.
- El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia el precio de estas es elevado. Su altura puede ser de hasta 50 metros, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción.
- Produce un impacto visual estético inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.
- Una desventaja muy importante es el hecho que generalmente, los periodos de máxima demanda (durante el día) y máxima generación (por la noche cuando los vientos están más fuertes) no coinciden, y también, por supuesto, no hay siempre viento. Por eso hay que proveer fuentes de energía secundarias para los periodos de alta demanda y es difícil usar la energía extra producida durante la noche. Sin embargo, hay diversos métodos para capturar y guardar la energía extra durante periodos de baja demanda y suministrarla cuando es necesario.
- No se puede regular su carga.

