



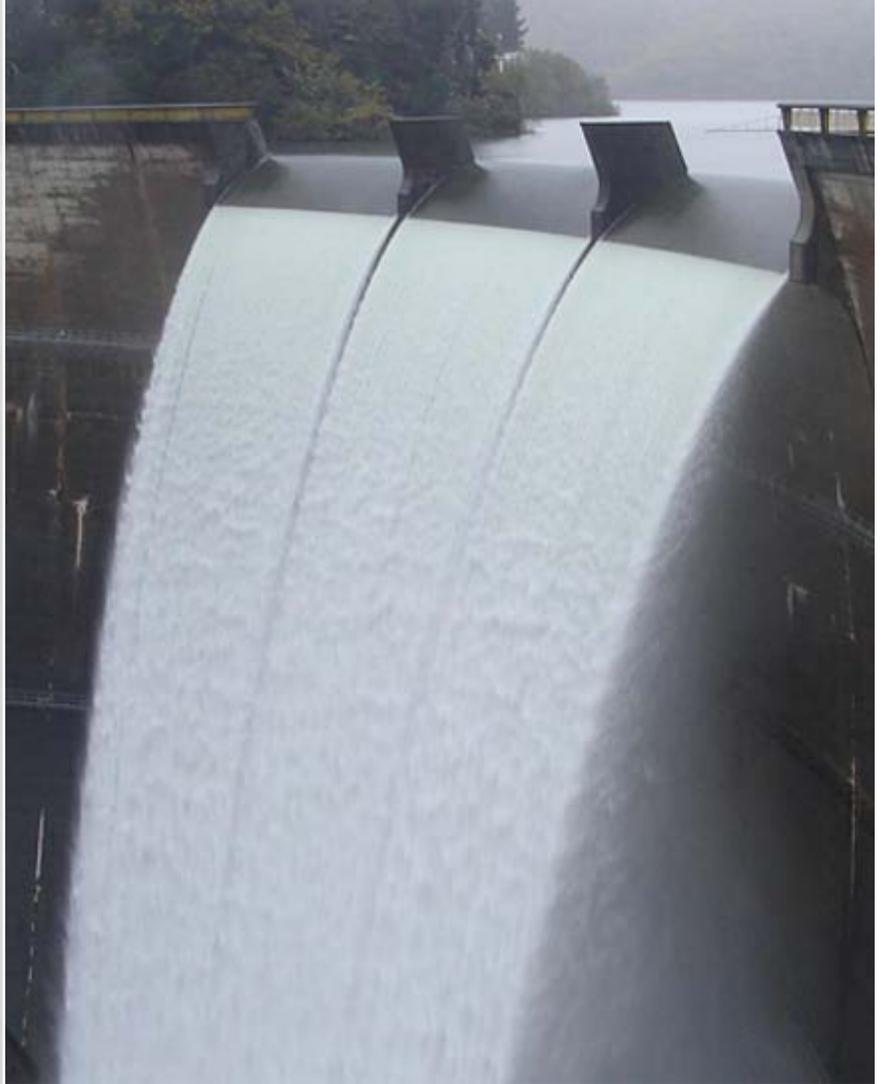
Escuela de Verano
para estudiantes de Enseñanza Media
4 al 27 de enero 2010

Universidad de Chile
Escuela de Verano 2010
Curso Energías Renovables I

Guía Teórica: Conversión de la Energía

Escrita por: Gustavo Soto

Enero 2010



Motivación

Como postula el primer principio de la Termodinámica, la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. La energía puede transformarse de una forma a otra, como por ejemplo de calor a energía eléctrica o viceversa. Sin embargo, el que pueda convertirse no significa que este proceso sea simple o que no tenga un costo. Por graficar esto, sepa que 1[kWh] equivale a 860[kcal], aunque ello no implique que en la práctica con 860[kcal] se pueda obtener 1[kWh]. De hecho, se obtiene mucho menos. En cambio, con 1[kWh] pueden obtenerse cerca de 860[kcal]. El rendimiento es un factor fundamental que marca la rentabilidad y eficacia de los diversos tipos de conversión de la energía.

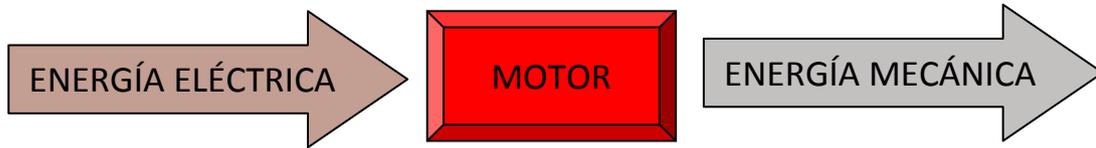
Los seres humanos a lo largo de la historia hemos inventado diversos artefactos que posibilitan la conversión energética. La eficiencia con la que esta transformación se produce está directamente relacionada con la proporción entre su forma final y su forma inicial y también depende de las leyes físicas y químicas que gobiernan la conversión.



Introducción

En esta experiencia estudiaremos la CONVERSION ELECTROMECAÁNICA DE LA ENERGÍA, es decir, la transformación de energía mecánica a eléctrica o viceversa.

Las máquinas eléctricas son las encargadas de hacer la mencionada transformación. Según su utilización reciben distintos nombres:



En el caso de los motores, son máquinas alimentadas con energía eléctrica y que entregan energía mecánica. Son fundamentales para nuestra vida tal como la conocemos, y podemos encontrarlos en artículos tan diversos como lavadoras, juguetes, escaleras mecánicas y en general, cualquier actividad en que se requiera mover una carga.



Por otro lado, los generadores son máquinas que al recibir energía mecánica en sus más variadas formas, obtenida a partir de energéticos primarios, permite generar energía eléctrica. Son fundamentales pues la energía eléctrica que nos permite realizar las actividades cotidianas debe ser obtenida de esta forma.

Base Teórica

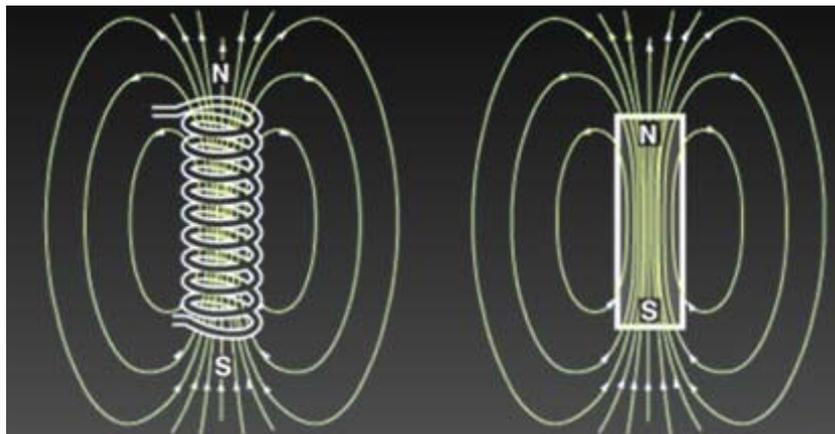
Conceptos de Electromagnetismo

Campo Magnético: En 1820, Oersted descubrió que cuando se tiene una corriente eléctrica se origina en su entorno un campo magnético. Podemos entonces, entender el campo magnético, como una perturbación del espacio debido a una corriente eléctrica.

Este fenómeno fue fundamental para el desarrollo de dispositivos de conversión electromecánica, pues el campo magnético es un campo de fuerza, que puede interactuar con otro elemento de corriente. En efecto, un elemento de corriente inmerso en un campo magnético se ve sometido a una fuerza que es capaz de generar movimiento.

Este mismo fenómeno se presenta en la naturaleza de manera particular. Todos hemos apreciado que existen materiales que atraen trozos de hierro, denominados imanes permanentes naturales. Lo que produce dicha atracción es justamente el campo de fuerzas mencionado previamente, descrito mediante una variable vectorial fundamental llamada inducción magnética, B . Tenemos así que se puede tener un campo magnético de dos formas:

- Mediante la circulación de una corriente
- Producto de un imán permanente



Note que las líneas de campo de un campo magnético se “cierran” en el aire. Esto se debe a la no existencia de cargas magnéticas, o fuentes magnéticas. En los imanes permanentes, el campo magnético se debe a una orientación particular de los dipolos magnéticos a nivel molecular y no a la existencia de cargas magnéticas.

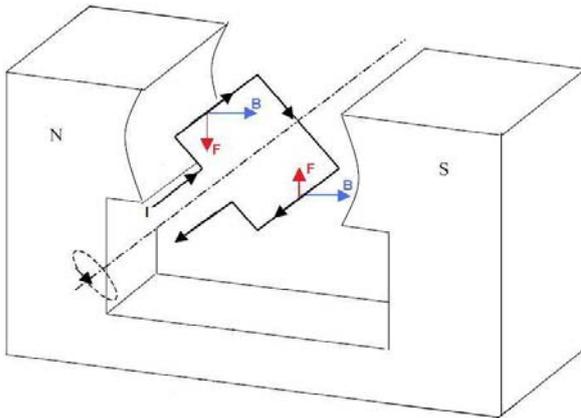
Desde un punto de vista teórico ¿qué significa que sea un campo de fuerzas? La ley de Lorentz nos dice que una partícula de carga q , que se desplaza a velocidad v en un campo magnético B , está sometida a una fuerza

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

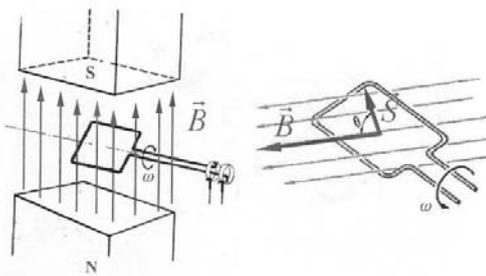
Esta expresión puede modificarse mediante consideraciones matemáticas que se escapan al alcance del curso para, en vez de dejarla expresada en función de la carga eléctrica y su velocidad de desplazamiento, expresarla en función de una corriente I que circula por un conductor.

$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B} \quad (2)$$

Donde L es el largo de un tramo de la espira orientado en una dirección, B es la inducción magnética e I es la corriente. Note que existen unos tramos del conductor en que $L \times B = 0$ (¿puede ud. Descubrir por qué?)



De este modo dada la presencia de un campo magnético producido por el imán permanente cuyos polos se denotan por N y S, y que por la espira circula una corriente I , de valor constante, la fuerza neta que sentirá la espira le hará moverse en su eje. Esto es, ¡a partir de energía eléctrica generamos energía mecánica (movimiento)!



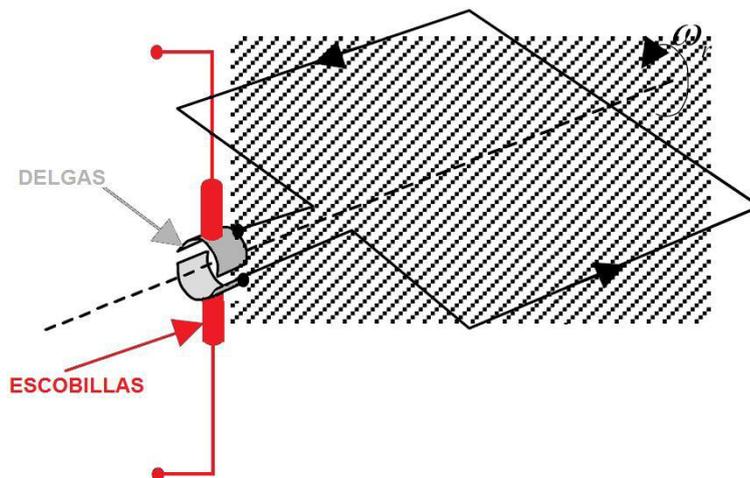
Motor de CC: Consideraciones básicas

La descripción realizada es la base para entender el funcionamiento de todas las máquinas eléctricas existentes. Todas, de una u otra forma, utilizan el fenómeno recién descrito para realizar la conversión. Debe comprender que constructivamente un generador posee prácticamente las mismas características que un motor eléctrico, pero el proceso se realiza de forma inversa. Por lo tanto, la gran mayoría de las máquinas eléctricas son capaces de funcionar tanto como motor como generador.

La primera máquina en ser desarrollada fue la máquina de corriente continua (C.C.) alrededor del año 1860. La razón principal fue porque en un principio no se creyó que la corriente alterna tuviera las ventajas que hoy la hacen fundamental en los sistemas de distribución y también en los consumos (la electricidad que ud. recibe en su casa no es continua, es alterna)

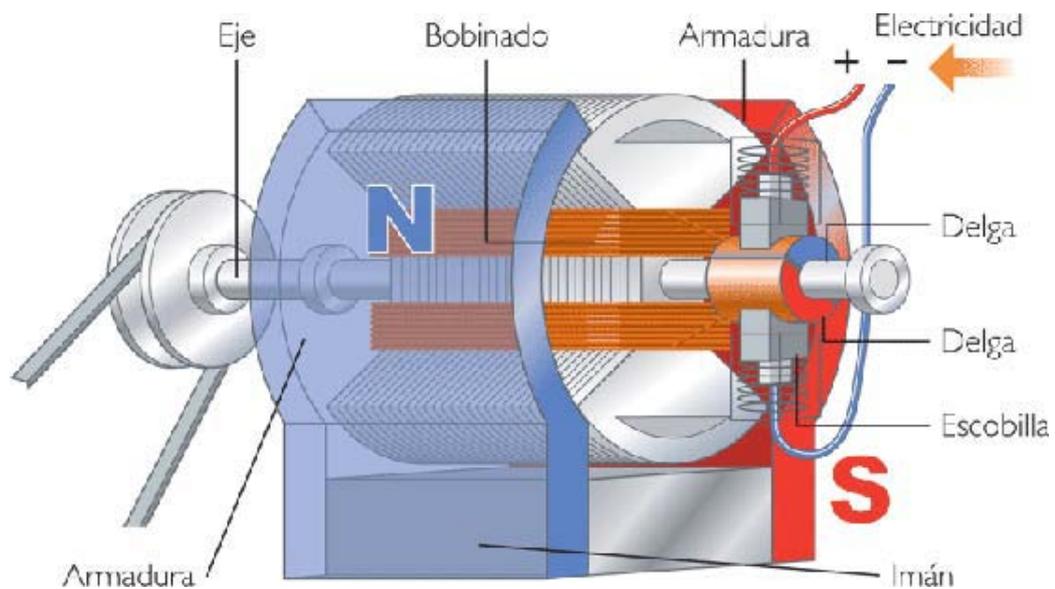
Observe la figura presentada en el punto anterior. El eje de la espira se encuentra girando, debido a la fuerza de Lorentz. ¿Cómo conciliaría esta situación con el hecho de que se debe suministrar una corriente al mismo tiempo que gira? Si simplemente se conectara una batería, por ejemplo, el conductor comenzaría a enrollarse y no cumpliría con nuestro propósito.

Para solucionar este problema, se utiliza frecuentemente un sistema de delgas y escobillas.



Básicamente son contactos rozantes, en que las delgas son delgadas laminas de cobre aisladas eléctricamente entre sí fijas al rotor, mientras que las escobillas, fijas al estator, van rozando las delgas a medida que se produce el movimiento.

Una máquina de C.C. típica presenta la siguiente estructura:



Las máquinas C.C tienen excelentes prestaciones, pues permiten controlar de manera muy eficaz la velocidad del eje mecánico. Además según su construcción permiten modificar su característica de torque en un rango variable, lo que hace que sean capaces ya sea de mover cargas que presenten una gran inercia o, en el otro extremo, ser utilizados en prestaciones mucho más delicadas, como los servomotores que permiten el movimiento de los robots.

Note que el sistema de contactos rozantes descrito es mecánicamente complejo. Esta es una de las dificultades más importantes que presentan. Requieren una mantención detallada de sus partes, son mucho más pesadas en comparación a otras máquinas de potencia similar y debido a los avances tecnológicos de los últimos tiempos, en particular debido al notable desarrollo de la electrónica de potencia, es posible obtener prestaciones similares con otros tipos de motor, principalmente con el motor de inducción.

Centrales Eléctricas

Introducción

La función de una central hidroeléctrica es transformar la energía potencial y cinética del agua primero en energía mecánica y luego en eléctrica. Mediante un sistema de captación (en general será a través de embalses y tuberías) y un sistema de transformación (turbinas y generadores) la energía eléctrica obtenida, será adecuada para suministrar los sistemas de consumo.

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 y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

La tecnología de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante el siglo XX. Las centrales dependen de un gran embalse de agua contenido por una presa. El caudal de agua se controla y se puede mantener casi constante. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas y turbinas para adecuar el flujo de agua con respecto a la demanda de electricidad. El agua que entra en la turbina sale por los canales de descarga. Los generadores están situados justo encima de las turbinas y conectados con árboles verticales. El diseño de las turbinas depende del caudal de agua; las turbinas Francis se utilizan para caudales grandes y saltos medios y bajos, y las turbinas Pelton para grandes saltos y pequeños caudales.



Además de las centrales situadas en presas de contención, que dependen del embalse de grandes cantidades de agua, existen algunas centrales que se basan en la caída natural del agua, cuando el caudal es uniforme. Estas instalaciones se llaman de agua fluente. Una de ellas es la de las Cataratas del Niágara, situada en la frontera entre Estados Unidos y Canadá.

A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de hidroelectricidad eran Canadá y Estados Unidos. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas. En todo el mundo, la hidroelectricidad representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los países en los que constituye fuente de electricidad más importante son Noruega (99%), Zaire (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay; se inauguró en 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo.

Tipos de Centrales Hidroeléctricas.

Las centrales hidroeléctricas, en general, se clasificarán según el discurrir del agua, en:

- Centrales Hidráulicas de Pasada
- Centrales Hidráulicas con Embalse de Reserva
 - o Casa de máquina a pie de presa
 - o Aprovechamiento por derivación de agua
 - o De Bombeo

La principal diferencia entre ellas es que la central de pasada no cuenta con un embalse aguas arriba de las turbinas. Simplemente captan el caudal que fluye por el río o canal correspondiente asumiendo las variaciones estacionales de agua. Por ejemplo, en un periodo lluvioso serán capaces de generar máxima potencia, pero eventualmente existirá tanta agua que deberán “perder” energía, liberando agua antes que pase por las turbinas, pues los generadores no tienen la capacidad de aprovecharla. Por otro lado, en un período seco, habrá poca agua, y al no contar con reservas estarán generando la mínima potencia o incluso nada.

Por otro lado las centrales con embalse poseen presas aguas arriba de las máquinas generadoras que les permiten formar lagos artificiales. Las presas son grandes murallas que evitan que el agua escurra. Esto permite “guardar energía potencial” en el agua almacenada en los estanques y evitar que se pierda como ocurre con las centrales de pasada. Además de esta forma se puede asegurar el suministro en períodos más secos. Su principal dificultad es que son considerablemente más caras que las centrales de pasada, pues requieren una inversión mayor, y por otro lado se debe inundar un sector para hacer el lago, lo que implica pérdidas de flora y fauna irrecuperables.

Reproducción de una caída de agua

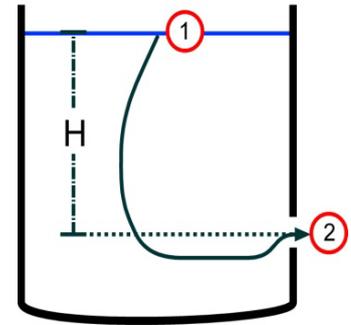
El caudal, es decir la cantidad de agua por unidad de tiempo que circula por la tubería o río, y la altura del agua son 2 parámetros muy importantes para determinar su energía.

Suponga que tiene 2 puntos que se encuentran a una diferencia de altura H . En cada punto el agua tendrá energías cinética y potencial propias, diferentes entre sí.

Si se supone que el fluido es ideal, es decir no es viscoso ni compresible, se puede aplicar el criterio de conservación de energía entre 1 y 2, descrito mediante la ecuación de Bernoulli.

Este dice que la energía de un fluido en cualquier instante de tiempo en una misma línea de corriente tiene 3 componentes:

- Energía cinética, debida a la velocidad que posea el fluido.
- Energía potencial gravitacional, debido a la altitud que un fluido posee.
- Energía de flujo, que es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.



Matemáticamente, esto equivale a:

$$\frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh + P = cte \quad (1)$$

Si aplicamos la ecuación anterior a los puntos 1 y 2 de la figura anterior, se obtiene:

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 \quad (2)$$

En que:

- P_1 y P_2 son las presiones en los puntos 1 y 2.
- ρ es la densidad del fluido, en este caso agua.
- h_1 y h_2 son las alturas en los puntos 1 y 2.
- g es la aceleración de gravedad, $9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$.
- V_1 y V_2 son las velocidades del agua en los puntos 1 y 2.

Por otra parte, la ecuación de continuidad indica que la *masa de agua* que circula por el tubo es constante. En palabras simples, *la masa que entra es igual a la masa que sale*.

Matemáticamente esto equivale a:

$$\rho S_1 V_1 = \rho S_2 V_2 \quad (3)$$

Donde:

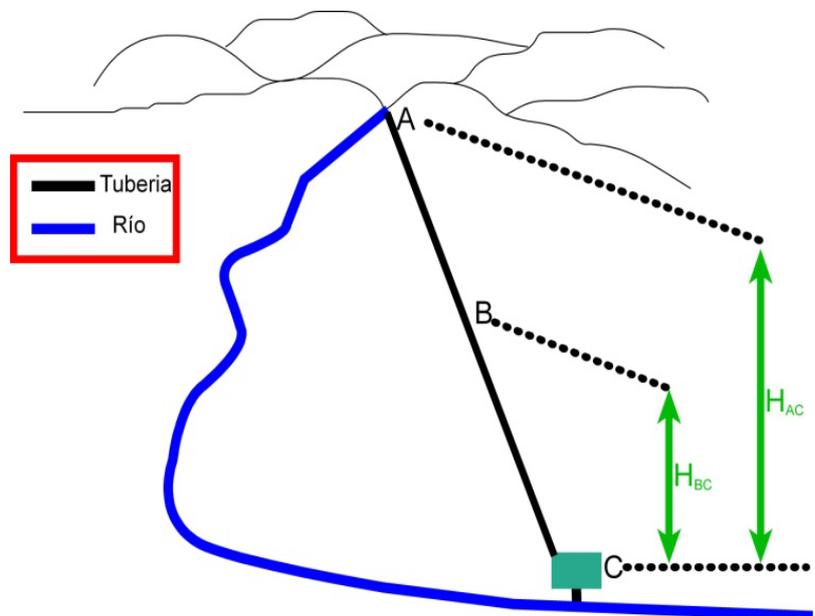
- S_1 y S_2 son las áreas de la tubería en los puntos 1 y 2, respectivamente
- V_1 y V_2 son las velocidades del agua en los puntos 1 y 2.
- ρ es la densidad del fluido, en este caso agua.

Suponiendo que el diámetro del estanque (punto 1) es muy grande comparado con la salida del punto 2, entonces se puede decir que la altura del punto 1 permanece constante, lo que implica, de la ecuación 3, que su velocidad es nula ($V_1 = 0$). Por otro lado, la presión en ambos puntos corresponde a la presión atmosférica y por lo tanto tienen el mismo valor.

Aplicando lo anterior en la ecuación 2 se obtiene:

$$H = h_1 - h_2 = \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow V_2 = \sqrt{2gH} \quad (4)$$

De la ecuación 3 se desprende que si las dimensiones del orificio son despreciables comparadas con el diámetro del estanque, la velocidad de salida del agua es la misma que tiene una partícula en caída libre desde una altura igual a la profundidad del orificio. Ahora se puede aproximar el comportamiento que tiene el agua cuando es canalizada por una tubería con el fin de llevarla a la turbina de una central. Esto se aprecia en la siguiente figura.



Lo anterior es una simplificación ilustrativa del fenómeno de conversión de energía hidráulica a energía mecánica. En el proceso hemos despreciado las pérdidas de energía que ocurren en el trayecto de la tubería.