



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**REPORTE TECNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL.**

**CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UNA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA, PARA FINES DIDÁCTICOS.**

**CARRERA  
ING. ELÉCTRICA**

**POR LA C.**

**PÉREZ CASTILLEJOS YENIFER.**

**Correo: yeni\_perez19@hotmailcom**

**NUMERO DE CONTROL.**

**13270323**

**agosto – diciembre 2017.**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.**

## Índice

1. Introducción.....	(2)
1.1 Antecedentes.....	(2)
1.2 Estado del Arte.....	(3)
1.3 Justificación.....	(4)
1.4 Objetivo.....	(4)
1.5 Metodología.....	(5)
2. Fundamento Teórico.....	(7)
2.1 Generación.....	(7)
2.1.1 Energía Cinética.....	(8)
2.1.2 Principio de Bernoulli.....	(8)
2.1.3 Circulación del Agua en Conductos Cerrados.....	(9)
2.2 Turbina.....	(9)
2.2.1 Turbina Kaplan.....	(11)
2.2.2 Turbina Michel Banki.....	(12)
2.2.3 Turbina Axial.....	(12)
2.2.4 Turbina Pelton.....	(13)
2.2.5 Turbina Francis.....	(13)
2.3 Central Hidroeléctrica.....	(14)
2.4 Centrales Hidroeléctricas Automáticas.....	(20)
2.5 Mini Centrales Hidroeléctricas.....	(22)
2.5.1 Clasificación de las Mini Centrales por su Potencia.....	(23)
2.5.2 Elementos de una Mini Central Hidroeléctrica.....	(24)
2.6 Transformador.....	(26)
3. Desarrollo.....	(30)
3.1 Conductividad hidráulica.....	(30)
3.1.1 Construcción de Prototipo.....	(32)
3.1.2 Circuito Propuesto.....	(35)
3.2 Descripciones de las pruebas y correcciones.....	(36)
4. Resultados y conclusiones.....	(38)
Referencias bibliográficas.....	(39)

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes

La energía eléctrica es un servicio básico fundamental para el desarrollo humano, sin embargo, en las zonas rurales muy pocas familias tienen este servicio. El acceso a través de la red nacional se hace cada vez más costoso y difícil por la lejanía de muchas de las poblaciones y el costo adicional que significa extender el tendido para atender a lugares con baja densidad poblacional.

Por otro lado los grupos electrógenos diésel son un elemento contaminante y un constante gasto para estas poblaciones, muchas veces pobres que viven en condiciones de extrema pobreza. Las energías renovables como la solar, eólica e hidráulica a pequeña escala han demostrado ser apropiadas para las condiciones de las poblaciones rurales, pues son un recurso natural local, y no requieren de una inversión para combustible.

En la actualidad la energía hidráulica es la mejor energía renovable al momento de contribuir a la producción de la energía eléctrica, además cuenta con la característica de ser de las principales fuentes de energía primaria después de los combustibles fósiles y la energía nuclear. En México el potencial hidroeléctrico solo produce poco menos de la cuarta parte de la energía eléctrica requerida.

Sabiendo que el país cuenta con los recursos necesarios para incrementar este porcentaje no se ha explotado como debiera, pero aun así actualmente son las centrales más importantes en conjunto con las térmicas y las nucleares, en relación a datos estadísticos presentados por la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) en México, el potencial hidroeléctrico es de 53 000 MW.

Actualmente según información de la SENER (Secretaría de Energía), muestra que actualmente nuestro país cuenta con capacidad instalada de 50 727.680 MW, de la cual el 22.25% son producidos en centrales hidroeléctricas. La generación de Energía con una Micro Planta de Generación Hidroeléctrica, con potencias menores a 1 MW, constituye una buena alternativa para la solución del problema presente en el suministro de energía eléctrica en regiones aisladas de acuerdo a su demanda.

Siendo así una de las bases principales para la electrificación rural, sin embargo también existen poblados no tan alejados de las grandes urbes que sufren de igual forma cierta irregularidad en el suministro de energía eléctrica. En México la población rural sufre efectos negativos a nivel de la producción y la calidad de vida, ya que este sector en su mayoría es el que se dedica a la agricultura y ganadería. En ese sector de la población se debe poner a disposición información acerca de alternativas confiables.

La energía hidráulica o hídrica es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial, la energía hidroeléctrica es la electricidad generada aprovechando la energía del agua en movimiento. La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura, la energía potencial durante la caída, se convierte en cinética, el agua pasa por las turbinas a gran velocidad.

Provocando un movimiento de rotación que finalmente, se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores. Es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua, y una vez utilizada, es devuelta río abajo, su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad.

## **1.2 Estado del Arte**

John Smeaton, un ingeniero civil británico que construyó por vez primera grandes ruedas hidráulicas de hierro colado. Pero fue hasta en septiembre de 1882, Thomas Alva Edison, se embarcó en lo que llamó "la aventura más grande de mi vida". Puso en funcionamiento la primera central eléctrica de la historia en Nueva York, en la calle Pearl, con 85 hogares, tiendas y oficinas se iluminaron súbitamente con 400 bombillas incandescentes. Edison y sus colegas, directores de la Edison Electric Light Company [1].

Marcel Depres, fue un ingeniero francés, nació en el sur de Chatillong Loing. El murió en Vincennes. Depres condujo los primeros experimentos para transmitir energía eléctrica sobre lo que hoy en día como centrales hidroeléctricas. En la exposición internacional de la electricidad, de París en 1881, Depres emprendió la tarea de presentar un sistema de distribución de electricidad basado en el transporte del flujo y presión del agua [2].

Santiago Ángel de la paz Antúnez, fue un físico ingeniero y matemático peruano. Ejerció la docencia universitaria en San Marcos y recorrió el Perú, buscando caídas de agua para la instalación de centrales eléctricas. Se le deben los estudios fundamentales para la construcción de la Central hidroeléctrica Cañón del Pato en 1883, así como el diseño de la central hidroeléctrica de Machu Picchu y del gran complejo hidroeléctrico del Mantaro, que hoy lleva su nombre [3].

Jianming Lian, Laurentiu Marinovici, Karanjit Kalsi, Pengwei Du, Marcelo Elizondo, Pacific Northwest National Laboratory, Richland WA USA proponen una nueva arquitectura de control en central hidráulica, se basa en la selección de los generadores piloto de cada área de estar equipado con control robusto descentralizada como un complementario para el control de velocidad de caída convencional en las tuberías [4].

Praghnessh Bhatt, S.P. Ghoshal Ranjit Roy, Sankarsan Ghosal, National Institute of Technology, Durgapur West Bengal USA presentan una característica añadida de la capacidad de regulación de frecuencia del generador de inducción doblemente alimentado, mediante la incorporación de una función extra de apoyo. Dicha función tiene la finalidad de responder proporcionalmente a la desviación de frecuencia para sacar la energía cinética de la turbina hidráulica [5].

### **1.3 Justificación.**

La generación hidroeléctrica juega un papel importante en el desarrollo de zonas rurales y de zonas no interconectadas al Sistema Eléctrico Nacional. Por lo tanto, para cumplir con la necesidad de energía eléctrica se encuentra en posibilidades de utilizar recursos hidro-energéticos en pequeña escala, los cuales tienen un impacto ambiental positivo, son compatibles con acueductos de agua potable y riego, entre otros.

La construcción de este prototipo a escala de una central hidroeléctrica es para poder observar el aprovechamiento del recurso agua en la generación de energía eléctrica a nivel mundial, han generado una serie de problemas e impactos de índole físico, social, económico, político y ambiental. En México esta situación, no ha sido la excepción. El establecimiento de este tipo de obras de infraestructura, al justificar su construcción parecieran tener mayores beneficios que efectos negativos.

Este tipo de centrales produce una menor incidencia en el medio ambiente y tiene una gran eficiencia energética, cada vez más gente está concienciada de los efectos medioambientales que conlleva el actual sistema de desarrollo económico. Este modelo, basado principalmente en la obtención de energía a través de combustibles fósiles, se inclina cada vez más hacia la adopción de medidas sostenibles que protejan nuestro planeta.

Entre otras, las centrales hidroeléctricas son una mejor forma de convivir con el medio ambiente. En nuestro país, la energía hidroeléctrica cuenta con una larga tradición y con un sector tecnológicamente maduro. Según un informe del Idae, la principal razón es la existencia de importantes recursos hidrológicos y un esfuerzo ya histórico en el aprovechamiento de este tipo de tecnología.

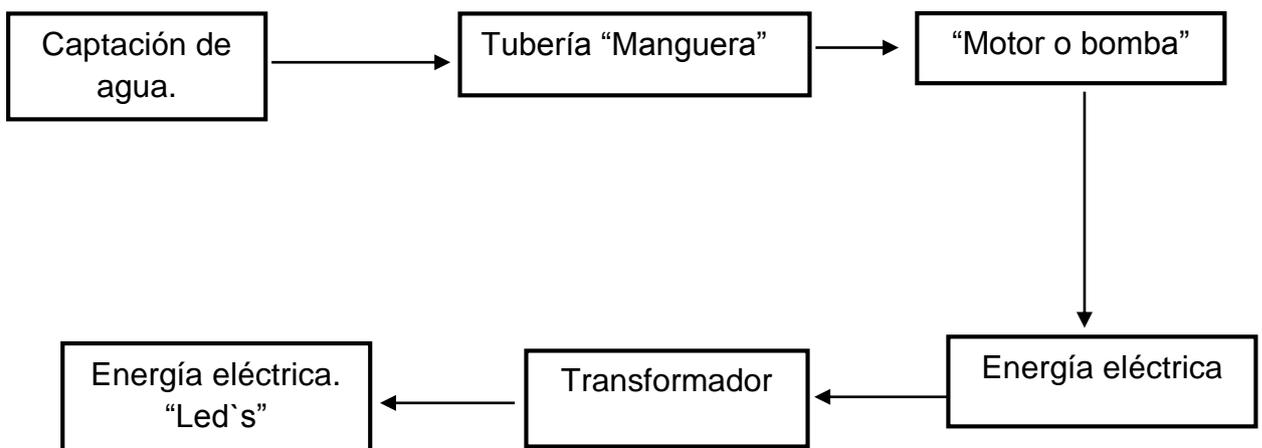
Por otra parte, la evolución de la energía hidroeléctrica ha ido creciendo, a pesar de que en los últimos años se ha experimentado una disminución en la aportación de esta energía a la producción total de electricidad. Cuando hablamos de las centrales hidroeléctricas, en cambio, si descubrimos que ha experimentado un crecimiento, aunque este ha sido de carácter moderado.

Las centrales hidroeléctricas, tanto las tradicionales como las mini centrales, están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presente el lugar donde vayan a ser ubicadas. Cuando se vaya a poner en marcha una instalación de este tipo hay que tener en cuenta que la topografía del terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria.

#### 1.4 Objetivo.

Construir un prototipo a escala de una central hidroeléctrica para poder facilitar la comprensión de la generación de energía, utilizando la energía cinética del agua para realizar un movimiento mecánico y éste a su vez se convierta a energía eléctrica. Con éste proyecto, se podrá facilitar la enseñanza, sobre a todo a personas ajenas al ramo eléctrico y principalmente a los alumnos de nivel primaria, secundaria y preparatoria.

#### 1.5 Metodología.



*Fig. 1.1 Diagrama a bloques hardware.*

**Captación de agua.** Un sistema de captación de agua de lluvia es cualquier tipo de ingenio para la recolección y el almacenamiento de agua de lluvia, y cuya viabilidad técnica y económica depende de la pluviosidad de la zona de captación y del uso que se le dé al agua recogida. En este caso yo le pondré agua, para poder observar el trabajo mecánico.

**Tubería.** Con el fin de impulsar al fluido y mejorar la capacidad de generación de la captación de agua, el agua se hace correr a través de la tubería llamada “Tubería Forzada o de Presión”, especialmente diseñada para reducir las pérdidas de energía que se pudieran producir, llevando el agua hasta el funcionamiento del generador que en este caso sería el motor.

**Funcionamiento del generador. “motor o bomba”** Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos llamados polos, terminales o bornes transformando la energía mecánica en eléctrica.

El motor hará el trabajo de un generador que es una máquina eléctrica rotativa que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Eso lo conseguimos gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.

**Energía hídrica.** O hidráulica, es la capacidad de transformar o poner en movimiento algo, se conoce como energía. La energía hidráulica, el tipo de energía que se produce por el movimiento del agua. También conocida como energía hídrica, se obtiene a partir del aprovechamiento de la energía cinética y potencial de las corrientes, las mareas o los saltos de agua.

**Transformador.** Un transformador es una máquina estática de corriente alterno, que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad, manteniendo la frecuencia y la potencia, en el caso de un transformador ideal. Transforma la electricidad que le llega al devanado de entrada en magnetismo para volver a transformarla en electricidad, en las condiciones deseadas, en el devanado secundario.

**Leds.** Un diodo emisor de luz es una fuente de luz constituida por un material semiconductor dotado de dos terminales. Se trata de un diodo de unión p-n, que emite luz cuando está activado. Aquí los utilizare para poder apreciar mucho mejor el proceso dela maqueta, y así poder comprender mejor el tema sobre la energía hídrica.

La primera sección corresponde a la captación de agua ya que ahí es donde colocare una presión y gracias a esa presión, podremos observar como recorre por la manguera el agua para luego pasar por el motor, ya después de ahí pasara por un transformador que tengo en el prototipo ya que gracias a eso podremos observar todo esto y comprender mejor sobre la generación de energía, utilizando la energía cinética del agua para realizar un movimiento mecánico y éste a su vez se convierta a energía eléctrica.

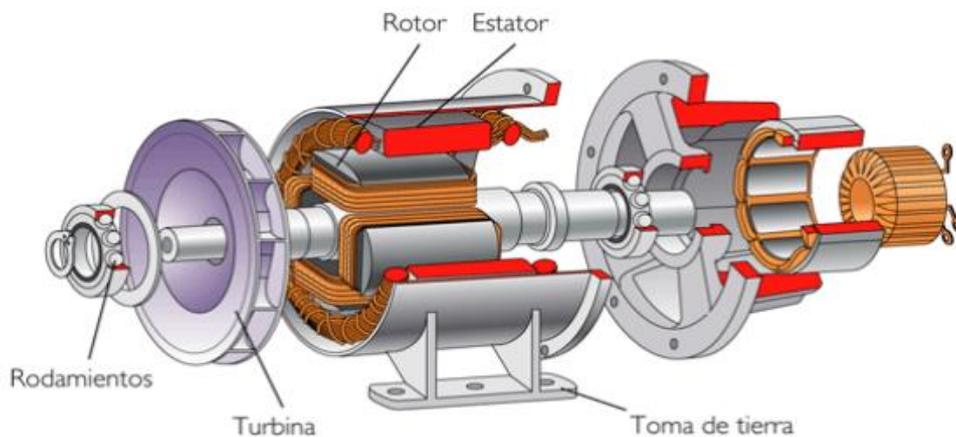
## 2. Fundamento Teórico

### 2.1 Generación.

La generación de electricidad es realizada dentro de centrales eléctricas, en ellas se realizan la transformación de la energía del sol, del viento o de los gases producidos por la quema de combustibles en energía eléctrica, las centrales eléctricas utilizan grupos de turbina-alternador para producir electricidad. Las turbinas están constituidas por un eje giratorio y unas aspas o alabes que son impulsadas por la fuerza de corriente de agua.

La generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central. El agua se lleva por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la electricidad en alternadores. Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad.

El alternador es una máquina que su principio de funcionamiento se basa en el efecto electromagnético, si un conductor eléctrico se mueve en las proximidades de un campo magnético o si el conductor es expuesto a un campo magnético variable, se genera una diferencia de potencial.



*Fig. 2.1 Alternador.*

Generación de electricidad: **La potencia**, que es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo turbinable, además de las características de la turbina y del generador. **La energía** garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, de la pluviometría anual y de la potencia instalada.

Las centrales hidroeléctricas y las centrales térmicas que usan combustibles fósiles producen la energía eléctrica de una manera muy similar. En ambos casos la fuente de energía es usada para impulsar una turbina que hace girar un generador eléctrico, que es el que produce la electricidad. Una central térmica usa calor para, a partir de agua, producir el vapor que acciona las paletas de la turbina, en contraste con la planta hidroeléctrica, que usa directamente la fuerza del agua para accionar la turbina.

La potencia de una central hidroeléctrica puede variar desde unos pocos MW, hasta varios GW. Hasta 10 MW se consideran mini centrales. Esta forma de energía posee problemas medioambientales al necesitar la construcción de grandes embalses en los que acumular el agua, que es sustraída de otros usos, incluso urbanos en algunas ocasiones, actualmente se encuentra en desarrollo.

La explotación comercial de la conversión en electricidad del potencial energético que tiene el oleaje del mar, en las llamadas centrales mareomotrices. Estas utilizan el flujo y reflujos de las mareas. En general puede ser útiles en zonas costeras donde la amplitud de la marea sea amplia, y las condiciones morfológicas de la costa permitan la construcción de una presa que corte la entrada y salida de la marea en una bahía. Se genera energía tanto en el momento del llenado como en el momento del vaciado de la bobina.

### 2.1.1 Energía cinética

La energía cinética de un cuerpo es la energía que proviene del movimiento de dicho cuerpo, está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde el reposo hasta la velocidad que posee. En mecánica clásica se puede calcular por la ecuación del trabajo de la segunda ley de Newton:

$$E_c = W = \int \vec{F} * \vec{dr} = \int m \frac{d\vec{v}}{dt} * \vec{v} dt = \frac{1}{2} m v^2$$

De aquí tenemos que la energía cinética se incrementa con el cuadrado de la rapidez, es una medida dependiente del sistema de referencia. En la hidrodinámica la energía cinética de un fluido depende de la densidad del fluido entonces tenemos que:

$$e_c = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Cálculo de la energía cinética de un fluido

Dónde:  $\rho$  es la densidad del fluido y  $V$  es la velocidad

### 2.1.2 Principio de Bernoulli

El estudio del movimiento de los fluidos en un sistema mecánico se denominada como hidrodinámica por el físico suizo Daniel Bernoulli quien según sus investigaciones determino que hay una relación entre la presión, la altura y la velocidad de un fluido ideal (sin viscosidad y sin rozamiento) en circulación y en un conducto cerrado, la energía del fluido es constante a lo largo del recorrido y Depende de tres componentes:

Cinética energía que posee debido al movimiento del fluido. Potencial gravitacional es la Energía que posee debido a la ubicación geométrica del fluido. Energía del fluido es la energía que está relacionada con la presión que posee el fluido. La siguiente ecuación es la ecuación de Bernoulli en la que se relaciona los tres componentes:

$$\frac{v^2}{2} + P + \rho gz = \text{constante}$$

Dónde: V es velocidad, g es aceleración de la gravedad, z es la altura en la dirección de la gravedad desde un punto de referencia, P es presión de la línea de corriente y  $\rho$  es la densidad del fluido de análisis.

### 2.1.3 Circulación del agua en conductos cerrados

La fórmula que vamos a utilizar para calcular la energía contenida en un fluido incomprensible que circula en el interior de un tubo viene dada por la ecuación de Bernoulli:

$$H_1 = h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

Dónde: H es la energía total, h es la elevación de la línea de corriente sobre un plano de referencia, P es la presión,  $\gamma$  es el peso específico del fluido, V es la velocidad de la línea de corriente, g la aceleración de la gravedad. La energía total en el punto 1 es pues la suma de la energía potencial en el punto  $h_1$ , la energía de presión  $\frac{P_1}{\gamma}$  y la energía Cinética  $\frac{v_1^2}{2g}$ .

Un aprovechamiento hidráulico necesita dos componentes básicos que son un determinado caudal y un determinado salto geodésico o desnivel en el cauce del flujo de caudal, se entiende por caudal a una masa de agua que fluye a través de un cauce natural construido por la mano del hombre al igual que el desnivel puede ser natural o por construcción del hombre.

## 2.2 Turbina.

Una turbina hidráulica es una máquina que transforma la energía de un fluido (energía cinética y potencial), normalmente agua, en energía mecánica de rotación. La energía del agua puede ser por la caída en un salto de agua o por la propia corriente de agua. Normalmente esta energía de rotación se utiliza para transformarla en energía eléctrica, mediante el acoplamiento de la turbina a un generador en las centrales hidráulicas.

Turbina es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbo máquinas motoras. Estas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y éste le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes. La turbina es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas.

El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice.

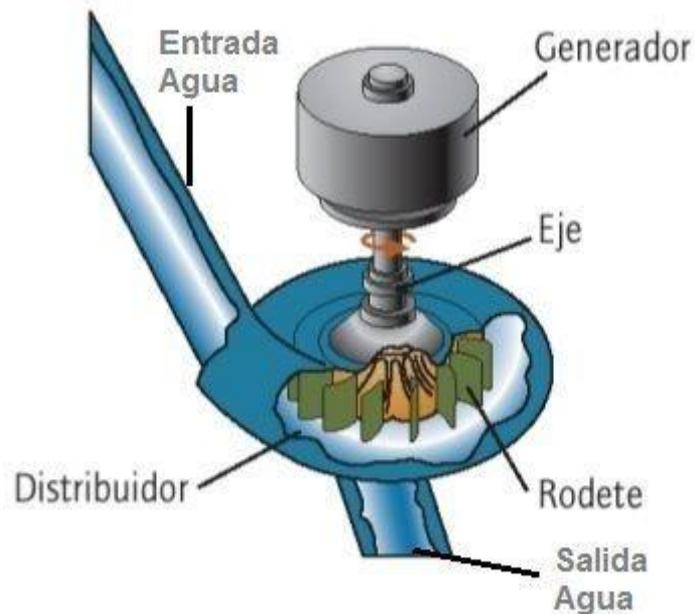
Las turbinas constan de una o dos ruedas con paletas, denominadas rotor y estator, siendo la primera la que, impulsada por el fluido, arrastra el eje en el que se obtiene el movimiento de rotación. Hasta el momento, la turbina es uno de los motores más eficientes que existen (alrededor del 50 %) con respecto a los motores de combustión interna y hasta algunos eléctricos.

Ya en los años 20, unos inventores, entre ellos uno de apellido Thyssen, patentaron una turbina de combustión interna a la que atribuyeron un rendimiento termodinámico del 31 %. El término turbina suele aplicarse también, por ser el componente principal, al conjunto de varias turbinas conectadas a un generador para la obtención de energía eléctrica.

Una turbo máquina consta fundamentalmente de una rueda de alabes, rodete, que gira libremente alrededor de un eje cuando pasa un fluido por su interior. La clasificación fundamental de una turbina (convierte la energía del flujo en una energía mecánica en el eje) es las de acción y las de reacción. En la actualidad, las turbinas que dominan el campo en las centrales hidroeléctricas.

**Partes de Una Turbina Hidráulica:** el agua se recoge por una tubería de entrada y es distribuida por varios puntos de salida mediante el distribuidor. Los puntos por donde sale el agua se llaman toberas, hacen que el agua golpee los álabes del rodete que hace girar el eje de la turbina también llamado rotor. El rodete consta esencialmente de un disco provisto de un sistema de álabes, paletas o cucharas (dependiendo tipo de turbina) sobre las que golpea el agua.

**Turbinas de acción:** Se llaman así cuando la transformación de la energía potencial en energía cinética se produce en los órganos fijos anteriores al rodete (inyectores o toberas). En consecuencia el rodete solo recibe energía cinética. **Turbinas de reacción.-** Se llama así cuando se transforma la energía potencial en cinética íntegramente en el rodete. Este recibe solo energía potencial. En la realidad no se ha desarrollado este tipo de turbina industrialmente. Se llaman así aun que habría que considerarlas como un tipo mixto.



*Fig. 2.2 Arquitectura general de una turbina.*

### 2.2.1 turbina Kaplan

La “**turbinas Kaplan**” es uno de los tipos más eficientes de turbinas de agua de reacción de flujo axial, con un rodete que funciona de manera semejante a la hélice del motor de un barco, y deben su nombre a su inventor, el austriaco Viktor Kaplan. Se emplean en saltos de pequeña altura y grandes caudales. Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a alta presión liberada por una compuerta.

Los álabes del rodete en las turbinas Kaplan son siempre regulables y tienen la forma de una hélice, mientras que los álabes de los distribuidores pueden ser fijos o regulables. Si ambos son regulables, se dice que la turbina es una turbina Kaplan verdadera; si solo son regulables los álabes del rodete, se dice que la turbina es una turbina Semi-Kaplan. Las turbinas Kaplan son de admisión axial, mientras que las semi-Kaplan pueden ser de admisión radial o axial.

Para su regulación, los álabes del rodete giran alrededor de su eje, accionados por unas manijas, que son solidarias a unas bielas articuladas a una cruceta, que se desplaza hacia arriba o hacia abajo por el interior del eje hueco de la turbina. Este desplazamiento es accionado por un servomotor hidráulico, con la turbina en movimiento. Las turbinas de hélice se caracterizan porque tanto los álabes del rodete como los del distribuidor son fijos, por lo que solo se utilizan cuando el caudal y el salto son prácticamente constantes.

Se parece a los motores de barco, consiste en una hélice situada en una conducción de manera que el paso del agua la hace girar. La energía recuperada del agua a su paso es convertida, primero en energía mecánica de rotación y, luego, en energía eléctrica. Algunos equipos disponen de álabes móviles: se mueven automáticamente al variar las condiciones de operación, lo que hace que la eficiencia se mantenga prácticamente constante durante el funcionamiento.

### 2.2.2 Turbina Michel Banki

**Turbinas Michel Banki** También están dentro de las turbinas de acción, de flujo transversal, la entrada radial y flujo transversal, en este caso el rodete está formado por alabes curvos la inyección de caudal se lo hace con un inyector, tienen una eficiencia en el orden del 80% y generan hasta 1000KW, debido a su forma son fáciles de construir reduciendo así su costo en relación a otro tipo de turbinas.



*Fig. 2.3 Turbina Michel Banki.*

### 2.2.3 Turbina Axial

**Turbina axial** Esta es una turbina de reacción de flujo axial la velocidad específica de funcionamiento es bastante alta puede trabajar con saltos bajos y caudales grandes alcanza hasta el 90% de eficiencia su construcción requiere herramienta especializada.



*Fig. 2.4 Turbina Axial.*

#### 2.2.4 Turbina Pelton.

La “**turbina Pelton**” es uno de los tipos más eficientes de turbina hidráulica. Es una turbo máquina motora, de flujo tangencial (transversal), admisión parcial y de acción. Consiste en una rueda (rodete o rotor) dotada de cucharas en su periferia, las cuales están especialmente realizadas para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre las cucharas.

Las turbinas Pelton están diseñadas para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. Las centrales hidroeléctricas dotadas de este tipo de turbina cuentan, en su mayoría, con una larga tubería llamada galería de presión para transportar al fluido desde grandes alturas, a veces de hasta más de 1500 metros. Al final de la galería de presión se suministra el agua a la turbina por medio de una o varias válvulas de aguja, también llamadas inyectoros.



*Fig. 2.5 Turbina Pelton.*

El agua disponible en la parte alta de la instalación pasa por una tubería hasta la parte inferior donde sale al exterior a través de una boquilla. Por la diferencia de altura, el agua sale a gran velocidad y choca contra las paletas del rodete haciendo que gire. Dependiendo de la instalación, pueden colocarse varias boquillas distribuidas. Esta turbina está sometida a presión atmosférica, por lo que no podrá ser sumergida.

#### 2.2.5 Turbina Francis

La “**turbina Francis**” se trata de una turbo máquina motora a reacción y de flujo mixto. Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los dos metros hasta varios cientos de metros. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más ampliamente usado en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica en centrales hidroeléctricas.



*Fig. 2.6 Turbina Francis.*

La circulación de agua se produce en sentido contrario. El agua entra por la carcasa con forma de caracol que la hace girar y la conduce hacia el centro, donde se encuentra con el rotor al que hace girar. La energía del agua es la que hace girar el rotor. Tienen un rendimiento muy alto en instalaciones con grandes caudales y saltos menores que las peltón. Aunque son caras, tienen bajo mantenimiento y un tiempo de vida elevado.

### **2.3 Central Hidroeléctrica**

La energía de estas centrales proviene de la conversión de la energía potencial que se encuentra acumulada en el agua, al existir una diferencia de altura entre el nivel superficial y la base de la presa donde se encuentra ubicado la central. El agua almacenada se hace pasar por unos conductos transformando así la energía potencial en energía cinética, con la que el agua consigue alcanzar velocidades muy grandes para ser capaz de mover las turbinas que se encuentran situadas en la presa.

Las turbinas de la central tendrán un tamaño que dependerán del caudal al que vayan a ser expuestas y del agua que la presa sea capaz de hacer pasar por los conductos para hacerlas girar. De acuerdo al tamaño de las turbinas, al estar conectadas a un generador serán capaces de producir ciertas cantidades de energía. Los diferentes tipos de clase de estas centrales se describen a continuación.

Existen diversos sistemas de producción de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas. Estos sistemas se pueden clasificar según su rango de potencia instalada: Además, se pueden clasificar en dos grupos, centrales hidroeléctricas con caudal fluyente (de derivación) y centrales hidroeléctricas con caudales en parte retenidos, en uno o en varios embalses.

**Tabla 2.0** Tipos de Hidroeléctrica Según el Rango de Potencia.

Clase	Rango de potencia
Pico hidroeléctrica	Hasta 10 KW
Micro hidroeléctrica	10 a 100 KW
Mini hidroeléctrica	100 kW a 1MW
Pequeña hidroeléctrica	1 MW a 10 MW
Mediana hidroeléctrica	10 MW a 100 MW
Gran hidroeléctrica	Superior a 100 MW

**Clasificación:** Se pueden clasificar según varios argumentos, como características técnicas, peculiaridades del asentamiento y condiciones de funcionamiento. En primer lugar hay que distinguir las que utilizan el agua según discurre normalmente por el cauce de un río, y aquellas otras a las que ésta llega, convenientemente regulada, desde un lago o pantano. Se denominan.

**Centrales de Agua Fluyente:** Se acepta el caudal tal cual viene, puede tener un embalsamiento pequeño o se desvíe parte del agua mediante una toma, a través de canales o conducciones hasta llegar a la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es vuelta nuevamente al cauce del río. Estas centrales dependen de la hidrología del sitio porque no regulan el caudal turbinado que es variable, y en ocasiones se necesita de una pequeña presa.



**Fig. 2.7** Central Hidroeléctrica de Agua Fluyente

Llamadas también de agua corriente, o de agua fluyente. Se construyen en los lugares en que la energía hidráulica debe ser utilizada en el instante en que se dispone de ella, para accionar las turbinas hidráulicas. No cuentan prácticamente con reserva de agua, oscilando el caudal suministrado según las estaciones del año. En la temporada de precipitaciones abundantes (de aguas altas).

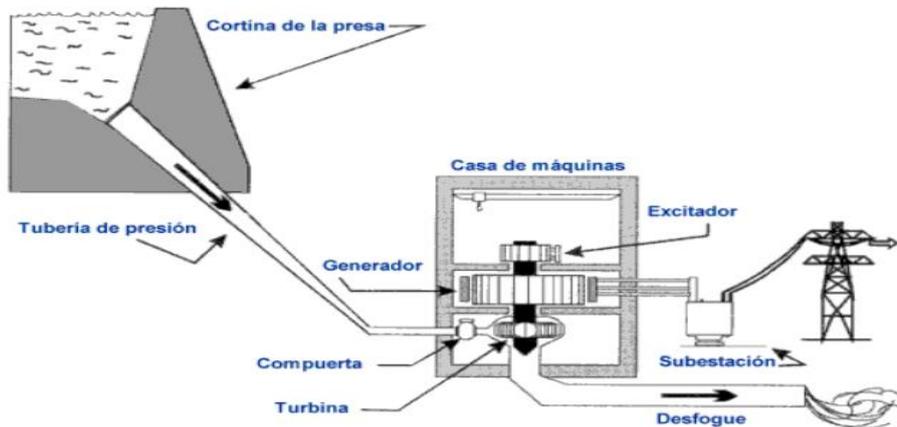
Desarrollan su potencia máxima, y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca (aguas bajas), la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en la época del estío. Su construcción se realiza mediante presas sobre el cauce de los ríos, para mantener un desnivel constante en la corriente de agua, la central y el equipamiento electromecánico, donde está situada la turbina, el generador y el transformador y por último el canal de descarga que devuelve el agua al río.

Mediante un azud y una toma de agua en el cauce del río, derivan un caudal de agua que es devuelta al río después de ser turbinada. En estas centrales no existe la opción de regular el caudal de agua que es turbinado, éste dependerá del caudal que lleve el río en cada instante. Los componentes de este tipo de centrales son: el azud de derivación, una cámara de carga, a donde llega el agua del canal y de donde se dirige hacia la turbina, una tubería forzada que conduce el agua hasta la turbina a gran presión.

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

**Centrales de Regulación:** Central de regulación de caudal, dispone de un embalse que se encarga de almacenar cierta cantidad de agua y el caudal se elige a voluntad. Puede generar electricidad todo el año, incluso en temporada seca, salvo que se agote el agua embalsada, su estructura las convierte en centrales costosas aunque el KWh producido suele resultar con un costo menor.

Tienen la posibilidad de almacenar volúmenes de agua en el embalse, que representan periodos más o menos prolongados de aportes de caudales medios anuales. Prestan un gran servicio en situaciones de bajos caudales, ya que el almacenamiento es continuo, regulando de modo conveniente para la producción. Se adaptan bien para cubrir horas punta de consumo.



*Figura 2.8 central hidroeléctrica con regulación*

**Central de bombeo:** Una central hidroeléctrica de bombeo, o reversible, es un tipo especial de central hidroeléctrica que posee dos embalses. El agua contenida en el embalse situado en la cota más baja embalse inferior puede ser elevada, durante las horas valle, mediante bombas al depósito situado en la cota más alta embalse superior, con el fin de reutilizarla posteriormente para la producción de energía eléctrica.



*Figura 2.9 Central Hidroeléctrica de Bombeo*

Disponen de un par de embalses a distinto nivel. Lo que permite turbinar del alto y bombear del bajo al alto. Este tipo de centrales produce energía eléctrica durante las horas puntas del consumo las de mayor demanda de electricidad mediante la acción que ejerce un salto de agua sobre los álabes de una turbina asociada a un alternador, es decir, funcionando como una central hidroeléctrica convencional.

Después durante las horas valle las de menor demanda, se bombea el agua que ha quedado almacenada en el embalse inferior al embalse superior, bien mediante una bomba o bien mediante la turbina, si ésta es reversible, de manera que el agua pueda volver a ser utilizada en un nuevo ciclo. Para elevar el agua desde el embalse inferior hasta el depósito superior, la central dispone de grupos moto-bombas.

En otros casos, sus turbinas son reversibles, de modo que pueden actuar ellas mismas como bombas, funcionando los alternadores como motores. No es una solución de alto rendimiento, pero se puede admitir como suficientemente rentable, ya que se compensan las pérdidas de agua o combustible.

Las centrales de bombeo se suelen instalar en los cauces altos de los ríos. Disponen de dos embalses situados a diferente altura. Cuando la demanda de energía eléctrica es máxima, las centrales de bombeo funcionan como una central convencional generando energía eléctrica, turbinando agua desde el embalse superior al inferior, quedando el agua almacenada en el embalse inferior.

A las horas en que la demanda de energía es menor, consume la energía eléctrica excedentaria utilizándola para bombear el agua al embalse superior actuando así como un sistema de almacenamiento de energía. Estas centrales están concebidas para satisfacer la demanda energética en horas pico y almacenar energía en horas valle. Utilizando estas centrales, se suaviza la curva de la demanda, con lo que se reducen las variaciones de energía que tienen que realizar las tecnologías menos apropiadas para ello.

Este tipo de centrales disponen de grupos de motores bomba o, alternativamente, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores. Estas centrales pueden ser de dos tipos: de bombeo mixto cuando el embalse superior está abastecido por un cauce de agua además de por el agua bombeada desde el embalse inferior, y de bombeo puro, cuando el único abastecimiento del embalse superior es a través del bombeo de agua del embalse inferior.

**Centrales de Alta Presión:** Aquí se incluyen aquellas centrales en las que el salto hidráulico es superior a los 200 metros de altura. Los caudales desalojados son relativamente pequeños, 20 m<sup>3</sup>/s por máquina. Situadas en zonas de alta montaña, y aprovechan el agua de torrentes, por medio de conducciones de gran longitud. Utilizan turbinas Peltón y Francis.

**Centrales de Media Presión:** Aquellas que poseen saltos hidráulicos de entre 200-20 metros aproximadamente. Utilizan caudales de 200m<sup>3</sup>/s por turbina. En valles de media montaña, dependen de embalses. Las turbinas son Francis y Kaplan, y en ocasiones Peltón para saltos grandes. **Centrales de Baja Presión.-** Sus saltos hidráulicos son inferiores a 20 metros. Cada máquina se alimenta de un caudal que puede superar los 300m<sup>3</sup>/s.

**Conceptos generales:** Distintas clases de salto de agua. El aprovechamiento de las fuerzas naturales fue constante preocupación de la humanidad que vio en ellas un medio de aliviar el trabajo muscular con el ahorro consiguiente de las energías del hombre, quien de este modo podría realizar cantidades de trabajo importantes que hubieranpreciado abundante mano de obra.

Refiriéndonos a las caídas de las masas de agua, producidas por los desniveles existentes en los causes por donde aquellas discurren, fueron de antiguo utilidades para producir energía mecánica por medio de ruedas de paletas y de cajones que, aunque eran artefactos rudimentarios, tenían adecuadas aplicaciones, entre otras para elevar agua en los riegos, para ver molinos harineros, también movidos por rodeznos, para el trabajo de batanes.

Una masa de agua de peso  $P$  kilogramos, al caer desde una altura de  $h$  metros produce un trabajo de  $P \cdot h$  kilográmetros que, es estimado en caballos de vapor, vale  $P \cdot h / 75$ . Desde luego esta energía no es toda útil porque existen pérdidas de la misma con el funcionamiento del receptor y por ello, los antiguos artefactos solamente aprovechaban una reducida fracción de la producida por la caída del agua.

A medida que la técnica fue progresando se perfeccionaron los aparatos para aprovechar el salto de agua en su producción de energía, y con ellos se logró que se perdiese de esta la menor cantidad posible. Anteriormente y con artefactos primitivos, se llegaba a perder hasta 70% de la energía potencial, mientras que en la actualidad las turbinas modernas permiten rendimientos  $n$  de 85 a 91%.

Fácilmente se comprende que el agua que discurre por los causes de los ríos y arroyos, en virtud del desnivel existen entre el origen y el final del tramo considerado, produce un trabajo que se invierte en vencer los frotamientos de unas moléculas contra otras, y también contra las superficies más o menos rugosas del cauce de la corriente de agua, a las que corroe lentamente y las arrastra en forma de cantas rodado; entretiene asimismo, los remolinos y bate el agua.

De lo expuesto se deduce que, para utilizar mejor la potencia teórica del salto, es preciso evitar toda pérdida inútil de energía, procurando un movimiento del agua tan regular y en calma como sea posible, y creando al propio tiempo el salto de un modo racional. El aprovechamiento de los saltos de agua tiene lugar, no por la velocidad de esta, sino por la presión que puede obtenerse conduciéndola a un punto elevado en relación con la altura de la toma de agua.

En nuestro país la energía que pueda obtenerse de los desniveles y caudales de nuestros ríos, estimada en energía eléctrica, se cifra en el orden de 35 000 a 40 000 millones de KWh, con las condiciones de trabajo actuales; porque si pudieran aprovecharse las aguas sobrantes en los periodos de abundancia de estas, por ser posible trabajar en ciertas factorías con dos o tres turnos, la producción que se obtendrá, sería sensiblemente superior a la de las cifras máximas expresadas.

Las centrales hidroeléctricas pueden trabajar con caudal fluente o con caudales en parte retenidos, en uno o en varios embalses. Las primeras solamente utilizan, en su caso el agua necesaria en las turbinas para su potencia máxima, en las centrales que trabajan como embalse las presas retienen una cantidad apreciable de agua que se aprovecha posteriormente por la central y en la forma conveniente.

Como es natural los embalses no pueden tener una cavidad excepcional que permita almacenar la mayor parte del agua que circula por el río. La capacidad viene limitada económicamente y depende de una serie de factores, las aportaciones fluyentes del río y el desembalse que suple la insuficiencia del caudal necesario para el funcionamiento de la central.

## 2.4 Centrales hidroeléctricas automáticas.

**Clasificación:** Estas centrales funcionan sin ningún personal de vigilancia, por lo cual las maniobras de puesta en servicio, regulación de potencia activa, así como la parada de la máquina se realizan automáticamente. Estas centrales se clasifican en 3 grupos: a) centrales semiautomáticas, que aun siendo vigiladas por personal de servicio, funcionan automáticamente.

b) Centrales con mandados a distancias y gobierno desde la central de base, c) centrales enteramente automáticamente con mando a distancia, pero sin gobierno ni local ni a distancia. La elección del tipo de central depende de variadas circunstancias, entre ellas: si se trata de zonas con invierno muy crudo, o cuando se busca el ahorro en la mano de obra de operación; si se presenta dificultades para el alojamiento de este, o se exigen condiciones particulares de servicio.

Los diversos constructores emplean, para este objeto soluciones distintas pero todas ellas coincidentes en la meta de efectuar las diversas maniobras que son las correspondientes a las normales que se realizan cuando la central funciona con vigilancia. Para los movimientos realizados en las operaciones previstas se hace uso del servomotor eléctrico o del servomotor hidráulico y para la alimentación del circuito de mando se adopta el sistema de corriente de reposo.

Consiste en mantener la corriente o la presión en todos los circuitos de mando, con objeto de asegurar el trabajo correspondiente en el momento oportuno, o también el sistema llamado por corriente de trabajo, en el cual todos los circuitos de mando son recorridos por la corriente, o por el fluido a presión solamente cuando aquellos deben actuar. Las centrales hidráulicas automáticas pueden ser síncronas o asíncronas.

Las primeras están constituidas por grupos normales de turbina y alternador, las centrales asíncronas están formados por turbinas y generadores asíncronos, los cuales son en realidad motores asíncronos que funcionan a velocidad superior a la de sincronismo, y como es sabido una máquina asíncrona movida a velocidad súper síncrona funciona como generador, transformando en energía eléctrica la mecánica que le imprime la turbina.

En las centrales síncronas el dispositivo automático de maniobra interviene en la regulación de la frecuencia, de la tensión y de la carga todo ello debe actuar de modo que las maniobras para poner en paralelo el grupo síncrono se realicen en perfectas condiciones es decir, frecuencia de la maquina igual a la de la red y lo mismo ha de ocurrir con las tensiones del grupo y de la red que deben también estar en fase.

En las centrales asíncronas, los dispositivos automáticos para la puesta en marcha por el lado de la turbina son: un aparato taquímetro que interviene de modo que el cierre del interruptor de la maquina se efectúa cuando el número de revoluciones es cercano al de sincronismo, y un interruptor centrifugo; para la puesta en marcha del lado del generador un conmutador automático de tensión y un interruptor centrifugo.

**Centrales automáticas síncronas:** Se seguirán las operaciones por el mismo orden que las realiza el personal en las centrales vigiladas para la puesta en marcha, la repartición de la carga y la parada de los grupos, para la puesta en marcha del lado de la turbina y el acoplamiento en paralelo del grupo, para la reparación de la carga: intervención automática del motorcito que se hace actuar para modificar la velocidad de la turbina.

Antes de poner en marcha la válvula de admisión está completamente cerrada, mientras que el distribuidor de la turbina está abierto en la cantidad necesaria para que una ligera apertura de la referida válvula baste para su puesta en marcha en vacío, la válvula de admisión debe moverse por un servomotor que se acciona mediante un dispositivo auxiliar que en el caso de tratarse de un servomotor con aceite a presión.

Será un electro bomba que funcionara tan pronto se ponga en tensión la línea o se produzca la intervención por medio de telemando. Abierta la válvula el grupo comenzara a girar y sucesivamente se irán insertando por medio de una dinamo taquimétrica y también mediante un relé o voltímetro: el regulador de velocidad, el regulador de tensión, el aparato de acoplamiento automático y el regulador repartidor de carga.

La puesta en marcha de una central síncrona puede efectuarse también del lado del generador poniendo esta en tensión, con lo cual la maquina arrancara como motor asíncrono. Una vez que haya alcanzado una velocidad próxima al sincronismo se excitara el alternador y se llevara al sincronismo mediante un relé de inserción maniobrado por un diámetro taquimétrico y acoplado al grupo, o bien por un relé taquimétrico.

Simultáneamente, la bomba de la turbina envía aceite a presión que determina el orden de maniobras, con la apertura de la válvula de admisión y del distribuidor de la turbina. Este segundo sistema de puesta en marcha tiene el inconveniente de que, aun siendo más económico que poniendo el grupo en servicio por el lado de la turbina, provoca una elevada demanda de corriente en el momento del arranque trabaja como motor asíncrono y por ello se emplea únicamente en las instalaciones de pequeña potencia.

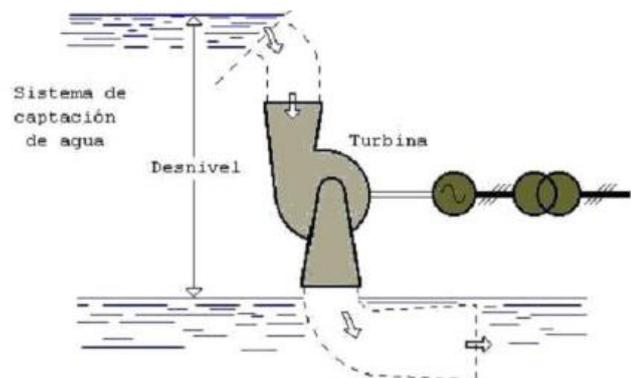
**Centrales automáticas asíncronas:** El arranque de la central automática asíncrona puede realizarse lo mismo que se ha ido indicado para los grupos asíncronos, es decir por el lado de la turbina o por el lado del alternador. Tan pronto el generador ha alcanzado la velocidad normal, al entrar la turbina en funcionamiento, el generador sobrepasa la velocidad de sincronismo y se estabiliza.

El grupo asíncrono permite aplicar un relé térmico contra las sobrecargas que puedan presentarse y especialmente cuando se producen bajadas de tensión. La potencia de equilibrio de un generador asíncrono tiene un límite máximo, que depende de la tensión; a cada valor de esta, corresponde una potencia máxima por encima de la cual el generador asíncrono pierde el sincronismo.

Lleva también un relé batimétrico para que el generador asíncrono para que el generador asíncrono no continúe funcionando como motor, cuando se cierre el distribuidor de la turbina o falte el agua; también un relé centrífugo que actuara cuando el grupo adquiriera la velocidad de fuga. Para el grupo síncrono es preciso disponer de limitadores automáticos de tensión de corriente y de velocidad.

## 2.5 Mini Centrales Hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas pueden definirse como instalaciones mediante las que se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica. Esto se logra conduciendo el agua desde el nivel en el que se encuentra, hasta un nivel inferior en el que se sitúan una o varias turbinas hidráulicas que son accionadas por el agua y que a su vez hacen girar uno o varios generadores, produciendo energía eléctrica.



*Fig. 3.0 Esquema Típico de Aprovechamiento Hidroeléctrico.*

### 2.5.1 Clasificación de las Mini Centrales por la Potencia.

La organización Latinoamericana de energía OALDE clasifica las PCH de acuerdo a La potencia instalada como se muestra en el siguiente cuadro:

*Tabla 2.5.0 Clasificación Según la Potencia Instalada.*

Potencia (KW)	Tipo
0-50	Micro central
50-500	Mini central
500-5000	Pequeña central

*Tabla 2.5.1 Clasificación de las mini centrales por la caída.*

	Baja (m)	Media(m)	Alta(m)
Micro	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
Mini	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
Pequeña	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

### 2.5.2 Elementos de una Mini Central Hidroeléctrica

Una mini central está constituida por diversos componentes y equipos que pueden Clasificarse en tres grandes grupos: Obra civil, Equipamiento electromecánico Y Equipos auxiliares.

#### Obra civil

Las obras de captación del agua son las que están relacionadas con la desviación del caudal de agua hacia la mini central, además de asegurar la confiabilidad del servicio y de la calidad del agua. Cuando se hace referencia a la calidad de agua se hace referencia Que las obras captación de agua deben tener obras de filtración de sólidos que pueden Afectar la vida útil de la turbina y todos las partes electromecánicas de la central de generación.

## **Bocatomas**

Es la infraestructura ubicada en la entrada del canal de captación su misión será el de tomar una parte del caudal de una corriente de agua, aparte de la captación de agua otro De los objetivos de la bocatoma será el proveer de un caudal con la menor cantidad de Sedimentos para minimizar los costos de operación y mantenimiento.

## **Presa de derivación**

Tiene por objetivo captar una parte del caudal del rio para facilitar su ingreso a la Bocatoma para su conducción hacia la mini central.

## **Canales de conducción**

Son los encargados de transportar el caudal hacia la ubicación de la casa de máquinas donde estarán ubicadas las turbinas. Depende del material del que sea construido el canal Depende la velocidad de conducción del agua hacia la turbina.

## **Aliviadero**

El objetivo principal de construir una aliviadero es la de brindar seguridad a la mini Central, este debe ir ubicado en un sitio estratégico ya que este está destinado a verter el Exceso de caudal cuando este propase la capacidad del canal, así evitaremos la posibilidad De desbordes del canal cuando varíen las condiciones normales de funcionamiento del canal.

## **Desarenadores**

La función que cumple el desarenador dentro de la mini central es fundamental ya que Este tiene como misión eliminar las partículas de material solido que se encuentran Suspendidas en el caudal de agua mediante la disminución de la velocidad del caudal a 0,5 m/s.

## **Tanque de presión**

Es la estructura destinada a combinar un sistema de baja presión con un sistema de alta presión además está destinado a Mantener un nivel de reserva de carga para cambios bruscos de carga, Evitar la llegada a la turbina de elementos sólidos, Sirve como un Control de caudal en condiciones atmosféricas adversas Y Evitar la entrada de aire en la tubería.

## **Tubería de presión**

La tubería de presión es la última etapa del transporte del caudal hacia la turbina Criterios para la elección de la turbina de presión Considerar los material es para las Uniones,

Comparar los costos de mantenimiento y vida útil de los diferentes materiales Considerar los diámetros de tubería disponibles en el mercado.

### **Casa de maquinas**

Es la estructura que aloja los equipos electromecánicos que transforman la energía cinética del agua en energía eléctrica entre los equipos que están ubicados en la casa de Maquinas Empalme entre la tubería de presión y válvula de entrada, Válvula dedicada a Controlar el flujo de agua hacia la turbina, Turbina es la que transforma la energía cinética Del agua en energía mecánica, Generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

La subestación eleva el voltaje de salida del generador para facilitar el transporte De la energía hacia los centros de consumo y canal de salida es la estructura que conduce Las aguas turbinadas hacia el rio o canal de riego. Y órgano de cierre de la turbina Son válvulas o compuertas que aíslan la turbina en caso de parada y permiten el vaciado de la tubería y las labores de reparación y mantenimiento.

### **Equipos Auxiliares**

Estos equipos son también necesarios para el correcto funcionamiento de una mini central. Entre los más comunes están: Compuertas, Reja y máquina limpiar rejas, Grúa para movimiento de máquinas, Sistema contra-incendios, Alumbrado, Caudalímetro.

## **2.6 Transformadores.**

**Generalidades constructivas:** Los transformadores elevadores de las centrales eléctricas deben corresponder a las características funcionales del generador síncrono, y a la de la red alimentada. Generalmente, en las modernas centrales los generadores van directamente acoplados a los respectivos transformadores, con el interruptor directo solamente en la alta tensión.

Mientras que en la media tensión puede conectarse mediante un seccionador tripolar, a un sistema de barras ómnibus que permite la conexión de un generador con el transformador de otro grupo en el caso de avería en la máquina. La potencia activa del transformador, para acoplamiento en bloques, es prácticamente igual ala del respectivo alternador.

La potencia reactiva del transformador y por consiguiente la del alternador depende, desde luego del factor de potencia de la red. Con la elevación creciente de las tensiones de transporte, ya se emplean en la construcción de los transformadores, los voltajes de 380 KV, para lo cual las casa constructoras debieron resolver los problemas de aislamiento.

**Arrollamiento y Aislantes:** Según el criterio observado estos últimos años con respecto al aislamiento, los transformadores se clasifican a base de un número limitado de clases de aislamiento, a cada una de las cuales corresponde cierto valor de la tensión compuesta respecto a las cuales están referidas las prescripciones para el aislamiento y en particular la prueba de rigidez dieléctrica, a la frecuencia industrial y a la de impulso.

Para valores intermedios de la tensión compuesta, se adopta el aislamiento de clase superior, la técnica moderna se orienta hacia el aprovechamiento del poder aislante del papel impregnado con aceites minerales. En los transformadores de media y gran potencia, las espiras de los arrollamientos van casi exclusivamente aisladas con papel, que está a veces recubierto con una espiral de algodón.

Y que tiene por objeto protegerlo mecánicamente contra los desgarros que puedan producirse durante la confección del arrollamiento. En el aislamiento entre arrollamiento va limitándose el uso del papel baquelizado, y se emplean cada día más los cilindros obtenidos envolviendo hojas de cartón o de papel sobre el arrollamiento, se tiende a la eliminación del barniz, que impide la penetración del aceite en la fibra del papel.

Es necesario en este sistema constructivo obtener a fondo una desecación y desaireación, con este sistema se ha llegado a reducir notablemente los espesores de los aislantes, lo cual aminora las dimensiones del transformador con una reducción de 10% en la distancia entre arrollamientos. También se disminuye en la misma proporción la altura del arrollamiento y como es natural, la altura del núcleo.

**Núcleos:** Se construye con placas magnéticas con espesor de 0.35 mm y con pérdida de 1,1 a 1,3 vatios por kilogramo. El aislamiento entre laminas consiste en un ligero barniz de laca; con ello se consigue una sección útil del hierro de 95% de la sección total, útilmente se emplean para la fabricación de los núcleos, placas magnéticas de cristales orientados que se obtienen como las placas ordinarias de aleación hierro-silicio.

Pero sufren después una serie de laminados en frío y tratamientos térmicos a unos 800°C, que les dan una estructura cristalina, lo cual mejora sus propiedades magnéticas. Las características magnéticas más favorables, en el sentido del laminado, se conocían desde mucho tiempo atrás, y las placas magnéticas laminadas en caliente y los planos en su corte eran ejecutados generalmente para tener en cuenta, en lo posible esta particularidad.

Estas placas con cristales orientados dan no solamente pérdidas menores, sino que mejoran el valor de la potencia reactiva consumida, a las inducciones normales de 14 000 a 15 000 gauss. La saturación se produce para inducción del orden de 15 000 gauss y el codo es tanto más pronunciado, a medida que contiene mayor cantidad de silicio. Una vez efectuadas las operaciones con las matrices y punzones.

Es necesario proceder a un nuevo reconocimiento para volver el material a sus condiciones primitivas, las mejoras obtenidas con el empleo de estas clases de planchas, que deben cortarse de modo que el circuito magnético este orientado en el sentido de la laminación de las placas, son muy sensibles y para demostrarlo se indican a continuación dos resultados obtenidos con placas ordinarias y con placas de cristales orientados.

**Tabla 2.6** Diferencia entre Planchas Ordinarias y Planchas de Cristales Orientados.

<b>Planchas ordinarias.</b>	<b>Planchas de cristales orientados.</b>
Peso del hierro..... 5.5 t	Peso del hierro..... 5.8 t
Perdida en el hierro..... 12 KW	Perdidas en el hierro..... 6 KW
Peso del cobre..... 1.8 t	Peso del cobre..... 1.8 t
Perdidas en el cobre..... 45 KW	Perdidas en el cobre..... 45 KW
Peso total sin aceite..... 16 t	Peso total sin aceite..... 16 t
Precio..... 100%	Precio(circuito magnético más pesado) 105%

**Refrigeración de los transformadores:** Enfriamiento natural, este procedimiento es más sencillo pero exige que la superficie de la caja o de los radiadores tenga la suficiente extensión para ponerse en contacto con el aire circulante que absorbe las calorías producidas por las pérdidas en el hierro y en el cobre. Los transformadores pequeños suelen llevar una caja de placa ondulada que aumenta la superficie en contacto con el aire.

Para la refrigeración y enfriamiento consiguiente es necesario que circule una cantidad de aire de unos 5 m<sup>3</sup> por minuto, por cada kilovatios de pérdida, con este sistema de enfriamiento y con la adopción de varios radiadores se llega a potencias de 20 000 KVA, las cuales servirán asimismo para que en el caso de tener que separar un radiador no sea menester vaciar el transformador.

Enfriamiento por ventilación forzada, por este procedimiento se consigue elevar notablemente la potencia del transformador, con respecto al enfriamiento natural antes indicado. El aire se aspira mediante uno o dos ventiladores del tipo centrífugo, y por un conducto de placas que circunda la caja del transformador se conduce por varios tubos que reparten el aire uniformemente a lo largo de los radiadores.

Este conducto conviene que este situado en la parte superior de la caja, por cuanto esté allí donde el aceite está más caliente. En las grandes unidades los electros ventiladores se ponen en marcha automáticamente y por medio de termostatos situados en la parte superior y cerca de la tapa de la caja, en esta forma cuando suba la temperatura al valor fijado, el termostato pone en marcha un relé que actúa sobre el dispositivo de arranque del motor.

Lo contrario ocurre cuando la temperatura del aceite llega al valor previsto. Otro sistema empleado es el de ventilar la caja y radiadores por medio de pequeños ventiladores cuya puesta en servicio y parada se realiza automáticamente, este sistema presenta la ventaja de que, subdividiendo la columna de aire necesaria a la refrigeración, produce menos ruido y en caso de avería de uno de los ventiladores puede este ponerse fuera de servicio sin que apena se note su influencia en el enfriamiento de la caja y radiadores.

Enfriamiento con refrigerante formado por serpentín y situado dentro de la caja, este sistema ha sido abandonado por los peligros que lleva consigo, dado que el agua circula en un serpentín colocado en el interior de la caja y se va apoderando del calor que trasmite el aceite calentado por el núcleo y por los arrollamientos. Es posible que el serpentín se perfora, en cuyo caso el agua se pondría en contacto con el aceite.

Enfriamiento por circulación forzada del aceite, estos sistemas se emplean cuando los refrigerantes no se pueden disponer sobre la caja del transformador y con el aumento de velocidad en la circulación del aceite se obtiene una eficacia mayor en la acción de los refrigerantes, observándose que entre la parte alta y la baja del radiador hay una pequeña diferencia de temperatura mientras que en la circulación por termosifón esta diferencia es apreciable.

Enfriamiento por circulación forzada del aceite, pero con refrigeradores de agua también en circulación, para las grandes unidades en los casos de no disponerse de suficiente espacio y donde sea difícil la renovación del aire por la gran cantidad de este necesario para la ventilación, como ocurre por ejemplo en las centrales en caverna se usa refrigerantes enfriados por agua y por los cuales circula forzadamente el aceite caliente.

Este es aspirado de la parte superior de la caja por medio de bombas especiales y después de enfriado penetra en el interior de la misma por la parte inferior, utilizando tal sistema se da al aceite una presión mayor que la del agua, de modo que en caso de avería el aceite se vertería en el agua pero no al contrario, con lo cual se evitan averías de consideración empleando la circulación forzada del aceite.

La diferencia entre la temperatura del aceite en las partes altas y bajas de las cajas es reducida en 2° a 3°C, mientras que en el sistema de enfriamientos natural fundamentado en la circulación por termosifón, esta diferencia se eleva a 15° o 20°C, como es natural en estos sistemas en que circulan el agua y el aceite, deben colocarse dispositivos que acusen la circulación de ambos fluidos.

**Elección del sistema de acoplamiento y puesta a tierra del neutro:** Para que dos transformadores puedan trabajar en paralelo es necesario que tengan la misma relación de transformación, el mismo desfase angular entre el primario y secundario y que tengas la misma relación de cortocircuito para evitar que una corriente circule por ambos arrollamientos impida a uno de ellos rendir su carga nominal.

Estas condiciones no son necesarias cuando el transformador forma bloque con el alternador y el trabajo en paralelo tiene lugar por el lado de la más alta tensión. Con los valores normalmente adoptados para la inducción del hierro, correspondiente a la tensión nominal que se supone sinusoidal, la corriente magnética del transformador contiene varias armónicas.

Si el transformador no tiene ningún arrollamiento conectado en triángulo, y su neutro está puesto a tierra y por consiguiente circula por el exterior del transformador, causando daños por efecto inductivo sobre los circuitos telefónicos, si el neutro está aislado y siempre que el transformador no tenga ningún arrollamiento conectado en triángulo, la armónica de orden tercero de la corriente no puede circular.

Por ser prácticamente infinita la impedancia a ella relativa y si la tensión compuesta es sinusoidal la tercera armónica aparecerá en la tensión entre fase y neutro, y por consiguiente en el flujo que induce tal tensión. En los transformadores del tipo de núcleo, por la elevada reluctancia del circuito magnético correspondiente, la amplitud de la tercera armónica del flujo resulta pequeña, y la tercera armónica de la tensión entre el neutro y la fase generalmente no excede al 5% de la onda fundamental.

En el caso de los transformadores trifásicos acorazados o monofásicos de cualquier tipo que no tienen, en el circuito magnético relativo a cada fase, ninguna parte en comunicación con el circuito magnético relativo a la otra fase, la reluctancia correspondiente a la tercera armónica del flujo es casi análoga a la del flujo fundamental, con el consiguiente aumento del valor máximo de la onda de tensión entre fase y neutro.

Si el transformador lleva un arrollamiento conectado en el triángulo, la tercera armónica de la corriente encuentra en el interior del triángulo un camino de reducida impedancia para poder circular libremente, reduciendo así a valores despreciables su amplitud en el circuito externo o la amplitud de la tercera armónica en la tensión entre fase y neutro, cuando el neutro está aislado.

## 3. Desarrollo

### 3.1 Conductividad hidráulica.

La conducción en un sistema de bombeo es uno de los elementos más importantes, ya que su función es precisamente formar un sistema que una a todos los equipos y conduzca al fluido entre ellos. De su dimensionamiento adecuado dependerán: Las pérdidas de carga del sistema, el rendimiento energético del sistema, la inversión necesaria para construir el sistema, las posibilidades de mantenimiento adecuado.

El ahorro de energía en la conducción de un sistema de bombeo, debe concebirse de tal forma que minimice las pérdidas de carga, tomando en cuenta que la inversión necesaria para construirlo resulte rentable, que se faciliten las tareas de mantenimiento y que se eviten fenómenos indeseables tales como la cavitación y al golpe de ariete. El diámetro de la tubería de la conducción es un aspecto muy importante dentro del proyecto.

Una conducción con diámetros pequeños, tendrá como consecuencias: baja inversión para instalar la conducción y altos consumos energéticos en bombeo. Una conducción con diámetros mayores, tendrá como consecuencia: alta inversión para instalar la conducción, pero bajos consumos energéticos por bombeo. Estrictamente habrá que analizar los costes globales del sistema de bombeo empleando diferentes diámetros para la conducción.

Y determinar con base en dicho análisis, el "diámetro óptimo" que conduzca al coste total mínimo. En resumen, vemos que existe un compromiso entre el costo de inversión para construir la conducción (a mayor diámetro mayor costo), y el costo de la energía requerida para vencer las pérdidas por fricción (a mayor diámetro, menor costo). El diámetro óptimo será aquel que resuelva dicho compromiso al menor costo total.

**Pérdidas de carga:** Cuando un proceso precisa de la instalación de una bomba, lo primero es el diseño de la instalación; este punto debe estudiarse con cuidado para evitar detalles malignos, prestando especial interés en la línea de aspiración, evitando bolsas de aire, excesos de codos y malas disposiciones de éstos y correcto dimensionamiento de la tubería.

Acto seguido afrontaremos el cálculo del sistema teniendo muy presente que los datos en que nos basemos sean lo más exactos en cuanto a caudales, presiones necesarias en la descarga; fluctuaciones de nivel o presión en la aspiración, recorrido geométrico de la tubería, peso específico del fluido, viscosidad, temperatura, presión de vapor y cualquier otro parámetro que pueda influir en la determinación de la curva carga-capacidad del sistema. Si es preciso se calculará la carga neta positiva de succión disponible.

**Pérdidas Primarias:** El flujo de cualquier fluido está acompañado de dos tipos de fricción: fricción interna causada por el frotamiento de las partículas del fluido unas contra otras; y la fricción externa causada por el frotamiento de las partículas de fluido contra las paredes del tubo o contra la capa estática del líquido adherido a las paredes. Se tiene que gastar energía para vencer esta fricción.

Si el flujo es turbulento, la fricción desarrollada dependerá en parte de la rugosidad de las paredes. Debido a que las superficies interiores de los tubos del mismo material son prácticamente la misma cualquiera que sea el diámetro, las tuberías más pequeñas son relativamente más ásperas que las grandes. Así para velocidades iguales, mientras mayor sea el diámetro de la tubería, menor será la pérdida por fricción.

La rugosidad de la pared del tubo también dependerá del material del que está hecho el tubo, y después que éste ha estado en servicio, de cualquier cambio que ocurra en la superficie interior. Cuando las tuberías son nuevas, las pérdidas por fricción por cada 100 pies de tubería de acero al carbón cedula 40 y hierro forjado. Un parámetro importante en la determinación del tipo de régimen, es el número de Reynolds el cual involucra la velocidad, la viscosidad del fluido y el diámetro interno de la tubería.

**Pérdidas Secundarias:** La determinación de las pérdidas secundarias, puede ser llevada a cabo por varios métodos. Durante el presente, sólo mencionaremos el método de longitud de tubería recta equivalente. Este método consiste en evaluar la caída de presión que se genera a través de un accesorio de tubería y determinar una longitud de tubería recta que genere la misma cantidad de pérdida.

En el prototipo se muestra una tubería, el cual consta de una manguera transparente. Uniéndola con una recta el punto de la escala izquierda correspondiente al accesorio en cuestión, con el punto de la escala derecha, correspondiente al diámetro de la bomba de la tubería. El punto de intersección de esta recta con la escala central, nos indica la cantidad de tubería recta equivalente del accesorio.

El valor de la carga determinado debe ser desarrollado por la bomba a las condiciones de caudal especificado, siempre y cuando los valores de rugosidad absoluta de la tubería no cambien sustancialmente; ya sea por problemas de corrosión o incrustación. En caso contrario, se deben hacer estimaciones del posible incremento de pérdidas de carga cuando la tubería envejezca.

Este valor es difícil de predecir, debido al comportamiento inestable que presentan algunos materiales de que están fabricadas las tuberías. Cuando no se disponga de una base de comparación, un aumento en el coeficiente de fricción de un 25% con el tiempo, será una tolerancia razonable.

**Curvas carga-capacidad del sistema:** Una vez que se ha calculado el valor de  $\Delta H_b$  a la capacidad de operación, es conveniente llevar a cabo, una gráfica de carga capacidad del sistema, en la cual se muestren: las pérdidas totales en carga, las cargas estáticas y la diferencia en presiones sobre los puntos de suministro y captación de la instalación. Como ya habíamos puntualizado anteriormente, las pérdidas por rozamiento varían con la capacidad manejada por el sistema, permaneciendo constantes; las cargas estáticas y de presión.

### 3.1.1 Construcción del prototipo.

Comencé haciendo pruebas con diferentes tipos de motores de cd que como ya sabemos estos funcionan para convertir la energía eléctrica a energía mecánica a través de la acción de los campos magnéticos producidos por sus bobinas. Estos tienen varias diferencias ya que son construidos de diferente manera comparados con los de corriente alterna. Una de las principales diferencias es que pueden funcionar a la inversa, es decir no solamente pueden ser utilizados para transformar energía eléctrica en mecánica. También pueden funcionar como generadores de electricidad.

Los motores de corriente continua tienen un par de arranque alto comparado con los de corriente alterna, También son más fáciles de controlar la velocidad, por tal motivo son eficaces en aplicaciones donde se requiera un control de velocidad. Son usados para ascensores, trenes, tranvías, automóviles eléctricos y todas aquellas aplicaciones en las que se requiere un control de velocidad constante.

A continuación presento las partes y características de un motor común de corriente directa o continua. Se compone de las siguientes partes o piezas: Carcasa, Rotor, Colector o conmutador, Escobillas, Campo o inductor y Armadura o inducido.



*Fig. 3.1 Partes de Motor de CD.*

### **Carcaza**

Aloja en su interior, de forma fija, dos imanes permanentes con forma de semicírculo, con sus correspondientes polos norte y sur. **Colector o conmutador** Situado en uno de los extremos del eje del rotor, se compone de un anillo deslizante seccionado en dos o más segmentos. Generalmente el colector de los pequeños motores comunes de C.D. se divide en tres segmentos.

### **Rotor**

Se compone de una estructura metálica formada por un conjunto de chapas o láminas de acero al silicio, troqueladas con forma circular y montadas en un mismo eje con sus correspondientes bobinas de alambre de cobre, que lo convierten en un electroimán giratorio. Por norma general el rotor de la mayoría de los pequeños motores de C.D. se compone de tres enrollados o bobinas que crean tres polos magnéticos. Los extremos de cada una de esas bobinas se encuentran conectados a diferentes segmentos del colector.

### **Escobillas**

Representan dos contactos que pueden ser metálicos en unos casos, o compuesto por dos piezas de carbón en otros. Las escobillas constituyen contactos eléctricos que se deslizan por encima de los segmentos del colector mientras estos giran. Su misión es suministrar a la bobina o bobinas del rotor a través del colector, la corriente eléctrica directa necesaria para energizar el electroimán. En los pequeños motores las escobillas normalmente se componen de dos piezas o flejes metálicos que se encuentran fijos en la tapa que cierra la carcasa o cuerpo del motor.

Sabiendo esto me di a la tarea de buscar un motor de este tipo e integrarle una turbina por donde pase el agua como una bombita pero de corriente directa pero tuve algunos problemas con estos ya que se mojaban por lo cual opte por una bombita sumergible que encontré la cual trabaja como motor a 5v. Pero en nuestro caso lo vamos a utilizar como generador utilizando el agua como energía mecánica para obtener energía eléctrica.



*Fig. 3.2 Bomba de CD Sumergible.*

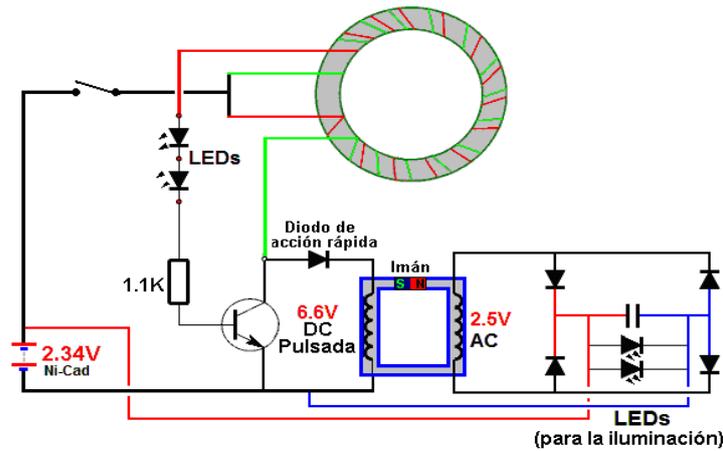
A esta bomba le hice un par de modificaciones para que el flujo de agua entrara por donde sale cuando se utiliza como motor de tal manera que trabaje como generador. En las primeras pruebas el flujo de agua no era el suficiente para que pudiese generar algo de

energía eléctrica por lo que opte por una bomba presurizadora para que el flujo del agua tenga la presión suficiente con la cual genere energía.



*Fig. 3.3 Bomba Presurizadora.*

### 3.1.2 Circuito Propuesto.

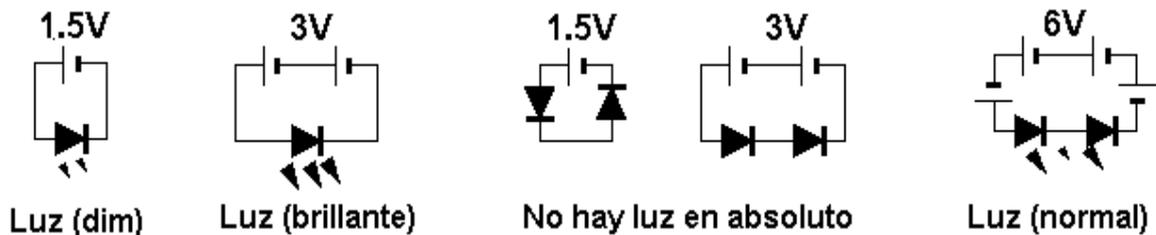


1.1 Circuito reductor

En el circuito 1.1 se puede apreciar un circuito reductor elevador donde con un voltaje pequeño con la ayuda de un transformador podemos elevar el voltaje haciendo funcionar una serie de leds, además podemos observar que la corriente que nos entrega el transformador a su vez ya sale rectificadas eliminando un poco los picos de ruido, con ayuda del transformador de joule.

Un circuito Ladrón Joule es un circuito auto-oscilante impulsor tensión minimalista que es pequeño, de bajo costo y fácil de construir. Se utiliza normalmente para conducir cargas ligeras. Se puede utilizar casi toda la energía en una batería de célula única, incluso aquellos que ya están muy por debajo del nivel de tensión en otros circuitos en cuenta que la batería se "descarga completa" (o "muerto").

Con modificaciones apropiadas este circuito puede adquirir energía del medio ambiente a la salida de potencia. Esto es muy fácil de lograr. En primer lugar, antes de comenzar a discutir los circuitos, que voy a decir las cosas raras acerca de los LED:



Observe que puede iluminar un led con sólo 1,5 voltios y obtener una luz más brillante con 3 voltios, pero si se conectan dos leds en serie luego de que 3 voltios es demasiado baja para encenderlas y así no hay luz en absoluto y cero consumo de corriente, bueno las cosas raras es que se puede alimentar un led con 1,5 v y no se puede encender dos led en serie con 3 voltios y mientras que las resistencias controlan el brillo de la luz.

### 3.2 Descripciones de las pruebas y correcciones.



Las pruebas que se realizaron fueron el cambio de bobina entre más grande y más pequeña, y los efectos que se obtuvieron fueron el aumento de voltaje y la reducción de voltaje dependiendo el tamaño de las bobinas, también se observó que entre más revoluciones mayor voltaje entrega y entre menos revolución menor voltaje.



En la imagen anterior se puede observar los voltajes obtenidos a través de los diferentes transformadores y de las diferentes revoluciones



## 4. Resultados y conclusiones

### **Resultados.**

Los resultados obtenidos en las imágenes anteriores, obtuve variación de voltaje y pérdidas pequeñas de voltaje ya también se pudo observar que a revoluciones constantes podemos obtener un voltaje más estable, al mismo tiempo cambiando el diámetro de las bobinas y el número de vueltas obtendremos mayor o menor voltaje dependiendo las bobinas de un pequeño transformador.

### **Conclusiones.**

En la conclusión que pude llegar es que con materiales muy económicos y reciclables podemos construir una pequeña mini hidroeléctrica y con un pequeño caudal podemos hacer una pequeña generación de voltaje que gracias al flujo constante de agua y la fuerza de ello hacen girar un pequeño generador.

## Referencias bibliográficas

STEPHEN j. chapman, Máquinas eléctricas, 3edición, editorial Mc Graw hill, 2000.

GRAINGER Jhon j – William d. Stevenson jr. 1 edición McGraw hill, 2002.

VIII encuentro latinoamericano y del Caribe sobre pequeños aprovechamientos hidroenergeticos 1999.

ORTIZ Ramiro “pequeñas centrales hidroeléctricas” segunda edición, editorial mexicana, 1982.

OLADE “manual de diseño estandarización y fabricación de equipos para Pequeñas centrales hidroeléctricas volumen 1, 1983

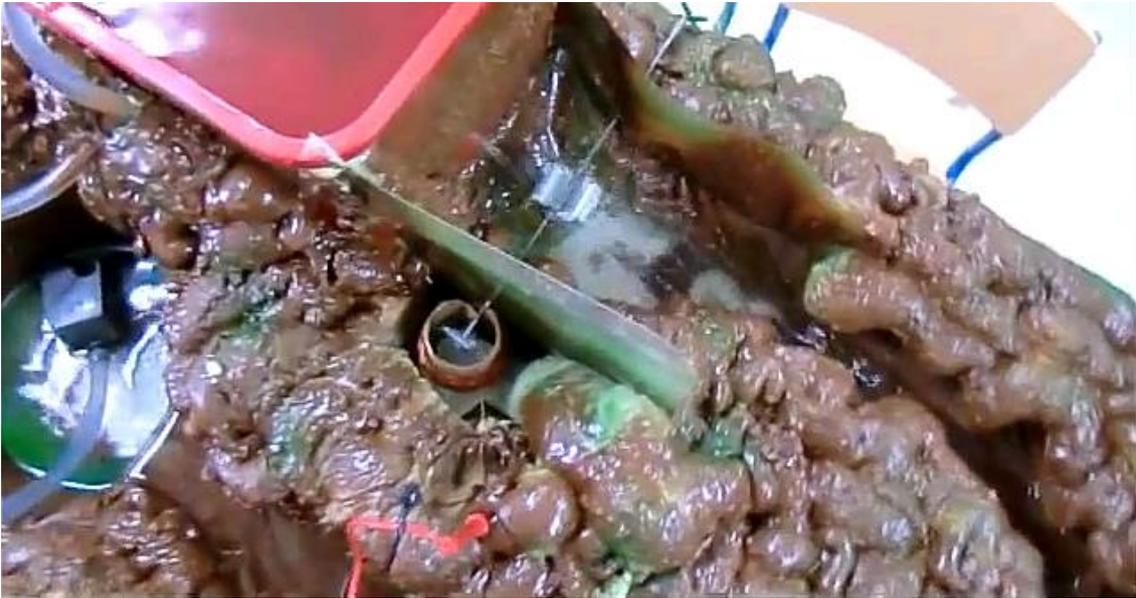
CASTRO “mini centrales hidroeléctricas Madrid 2006

L. TAPIA “operación de subestaciones” México 2005

OSCARMALLITASIG, “modelación y diseño digital para micro centrales de generación hidroeléctrica” ecuador 2008

Harper Gilberto, Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales, segunda edición, editorial LIMUSA.

## Anexos









**Mayorga Ingeniería y Servicios, S.A. de C.V.**

RFC: MIS-010821-KV3

IMSS: A58-34864109

CMIC: 86215

Elaboración de Proyectos, Construcciones Eléctricas, Civiles y de Telecomunicaciones

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a 5 de Diciembre del 2017.

A QUIEN CORRESPONDA

El propósito de este documento es informar que la estudiante **Pérez Castillejos Yenifer** con número de control **13270323**. Alumna de la carrera de Ingeniería Eléctrica, cumplió satisfactoriamente la residencia profesional "Construcción de prototipo de una Central Hidroeléctrica; para fines didácticos" en el periodo Agosto-Diciembre 2017.

A petición del interesado y para los fines que correspondan se emite la presente en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; el día 5 de Diciembre del 2017.



ATENTAMENTE

Mtro. Ernesto Jordán Mayorga Álvarez

ADMINISTRADOR UNICO

