

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 ENERGÍAS RENOVABLES

IEC (2008) Dice “El uso en gran escala de la energía renovable, o ER, es importante para el futuro por varias razones: para eliminar la dependencia con respecto a los combustibles fósiles, para combatir el calentamiento global y para elevar el nivel de vida de las poblaciones en los países en desarrollo”. (pág. 2)

Gran parte de la Energía Renovable es hoy en día un campo naciente de investigación, tecnología y fabricación, para el que se está desarrollando una nueva industria.

#### 1.1.1 Clasificación de las energías renovables

Dependiendo de los recursos naturales utilizados, se distinguen distintos tipos de energías renovables.

En la normalización el IEC, la determina en tres áreas relacionadas con la energía renovable: agua, sol y viento.

**TABLA N° 1**  
**ÁREAS RELACIONADAS CON LA ENERGÍA RENOVABLE**

TECNOLOGÍA	NORMALIZACIÓN	CERTIFICACIÓN
Energía hídrica - ríos	Turbinas hidráulicas.	
Energía hídrica - océanos	Convertidores de energía, olas y mareas	
Energía solar	Sistemas de energía solar fotovoltaica	ESQUEMA IECEE
Energía eólica	Turbinas eólicas	

**Fuente:** ENERGÍAS RENOVABLES, Comisión Electrotécnica Internacional

**Elaboración:** Tesistas

### **1.1.1.1 Energía Hídrica**

Es el aprovechamiento de la energía potencial del agua procedente de un salto cuyo movimiento de rotación en una turbina lo transfiere mediante un eje a un generador y este produce energía eléctrica.

El prefijo hidro viene de la palabra griega usada para designar el agua y se aplica a ríos y océanos.

#### **➤ Ríos**

Algunas de las plantas de energía hidroeléctrica más grandes en el mundo, tanto en términos de la capacidad instalada como del volumen promedio anual de generación de energía, producen millones de kilovatios y miles de millones de kilovatios-hora.

#### **➤ Océanos**

Los dispositivos de energía oceánica trabajan con olas o con mareas, aunque las corrientes marinas también son una posible fuente de energía. Estos dispositivos pueden ser flotantes o fijos y, para generar energía eléctrica, tienden a oscilar o a rotar.

### **1.1.1.2 Energía Solar**

Existen dos vías principales para el aprovechamiento de la radiación solar.

#### **➤ Térmica**

Consiste en utilizar la radiación del sol para calentar un fluido que, en función de su temperatura, se emplea para producir agua caliente e incluso vapor.

#### **➤ Fotovoltaica**

Se realiza a través de la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica mediante el llamado efecto fotovoltaico, esta transformación se lleva a cabo mediante células solares que están fabricadas con materiales semiconductores como el silicio y generan electricidad cuando incide sobre ellos la radiación solar.

### **1.1.1.3 Energía Eólica**

Son aquellas que utilizan sistemas eólicos mediante aerogeneradores que captan la energía cinética del viento para producir electricidad.

Se pueden diferenciar dos tipos de instalaciones que son:

➤ **Aisladas**

Se utilizan en lugares remotos donde no llega el suministro eléctrico y son utilizadas para su autoconsumo

➤ **Parques Eólicos**

Son un gran conjunto de aerogeneradores que son conectados a la red eléctrica para la venta de la energía en algunos lugares son híbridos complementados por sistemas solares fotovoltaicos a gran escala.

## **1.2 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

### **1.2.1 Definición de Central Hidroeléctrica**

**ESHA, (1998)** considera: “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.”(pág. 18)

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.

### **1.2.2 Clasificación de Centrales Hidroeléctricas Pequeñas**

Según la Comisión Electrotécnica Internacional IEC (2008) mencionan en la (pág. 4) la siguiente clasificación de centrales en función a la potencia.

- Pico centrales hidroeléctricas : 50W hasta 5 kW
- Micro centrales hidroeléctricas: de 5Kw a 500 kW
- Mini centrales hidroeléctricas: de 500Kw a 15 MW

## 1.3 TURBINAS HIDRÁULICAS

**MATAIX, Claudio ( 1986 )** Define: “La turbina hidráulica es una turbomáquina motora, y por tanto esencialmente es una bomba rotodinámica que trabaja a la inversa.”(pág. 356)

Las Ruedas Hidráulicas son el tipo más antiguo y más simple de turbina hidráulica que con mayores investigaciones han ido mejorando con el pasar del tiempo.

### 1.3.1 Ruedas Hidráulicas

#### 1.3.1.1 *Historia y Clasificación de Las Ruedas Hidráulicas*

El inventor de la rueda hidráulica es desconocido, inicialmente la rueda hidráulica fue usada para elevar el agua e irrigar los campos pero se usó después como medio para generar energía mecánica para moler, es descrita por primera vez por el arquitecto e ingeniero romano Vitrubio en el siglo I a.c, la cual poseía un eje horizontal conectado a una rueda de palas vertical, tenía el segmento inferior de la rueda de palas insertada en la corriente, y actuaba como una rueda hidráulica de admisión inferior.

Hacia el siglo II d.C. se empezó a utilizar en las regiones montañosas la rueda hidráulica de admisión superior. En este caso, el agua se vertía sobre las palas desde arriba, y se obtenía energía adicional de la inercia del agua en su caída. En la edad media la potencia máxima de la rueda, fabricada con madera, aumentó de 3 a 50 CV.

El primer intento de formular la base teórica para el diseño de ruedas hidráulicas aparece en el siglo XVIII y corresponde al ingeniero civil británico John Smeaton, que demostró que la rueda de empuje superior era más eficaz.

El ingeniero militar francés Jean Víctor Poncelet diseñó una rueda de empuje inferior cuyas palas curvadas aumentaban el rendimiento casi un 70%. El uso de esta máquina se extendió rápidamente.

Otro ingeniero militar francés, Claude Burdin, inventó el término turbina, como parte de un análisis teórico en que se daba una gran importancia a la velocidad de rotación. Benoit Fourneyron, un alumno de Burdin en la Escuela de Minería de Saint Étienne, diseñó y construyó ruedas que alcanzaban velocidades de rotación de 60 rpm o más y que proporcionaban hasta 50 CV en las factorías metalúrgicas francesas.

Las ruedas hidráulicas son una de las máquinas hidráulicas más viejas conocidas por el hombre y se han usado desde la antigüedad, desde entonces se construyeron las ruedas hidráulicas de madera, aunque su eficacia era mínima.

Con el desarrollo de la ingeniería hidráulica, y con nuevos materiales, la forma, el rendimiento y eficacia de ruedas hidráulicas mejoraron sustancialmente, pero se desarrollaron más, en particular en Alemania y Suiza. Esta tecnología alcanzó un punto alto de perfección técnica empezando el Siglo 20.

La Rueda hidráulica, tienen dos desventajas fundamentales: rendimiento bajo y velocidad de rotación muy lenta debido a su tamaño.

#### ***1.3.1.2 Clasificación de Las Ruedas Hidráulicas***

- a) Por la forma en la que recogen la energía del agua, las ruedas pueden ser de cajones o de paletas.
- b) Las Ruedas Hidráulicas se dividen en tres debido al tipo de admisión del caudal de agua y son las siguientes:

- Ruedas por encima Admisión superior (Overshot).
- Ruedas de costado Admisión intermedia (Breastshot).
- Ruedas por debajo Admisión inferior (Undershot).

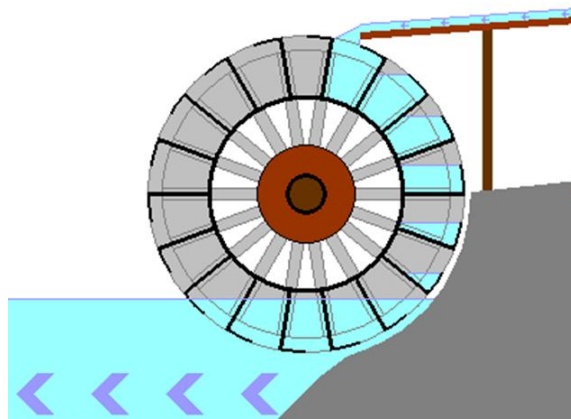
La rueda hidráulica de admisión superior es del tipo de cajón, mientras que las ruedas hidráulicas de admisión de costado y de admisión inferior son del tipo de paletas.

### 1.3.1.2.1 Ruedas por Encima Admisión Superior (Overshot)

#### ➤ Descripción

Estas ruedas hidráulicas se mueven por el peso del agua (fig.1). Están constituidas por un árbol horizontal y una serie de cajones distribuidos convenientemente en la periferia del cilindro. El agua puede llenar los cajones en la parte más alta de la rueda, o en una parte intermedia, razón por la cual se dice que la rueda es llenada en el vértice o en los cajones, respectivamente.

**FIGURA N° 1**  
**RUEDA HIDRÁULICA DE ADMISIÓN SUPERIOR (OVERSHOT)**



Fuente: <http://www.electrobaconics.co.uk/water01.shtml>

Elaboración: Tesistas

El diámetro de la rueda ( $d$ ) depende de la altura del salto disponible o salto útil. En la parte superior es indispensable conseguir un pequeño remanso o un flujo uniforme y continuo a fin de que el agua alcance una cierta velocidad de salida “ $1 c$ ”, mientras que en la parte inferior hay que dejar una altura libre de 10 a 20 centímetros, para impedir pérdidas de energía por la diversidad en la dirección de movimiento de la rueda y del agua que se descarga en el canal.

Los datos citados a continuación, son el resultado de la práctica y tienen el carácter de empírico. La velocidad periférica o tangencial “ $u$ ”, debe oscilar entre 1.5 y 2.5 m/seg, para evitar descargas prematuras del agua por fuerza centrífuga; como consecuencia, el número de revoluciones por minuto varía entre 4 y 8.

Los saltos empleados oscilan entre 4 y 12 metros y el caudal puede llegar a  $1 \text{ m}^3 / \text{seg}$ . Las ruedas llenadas en los cajones encajan para saltos menores (de 2 a 4 metros), y cuando el nivel de agua en el canal de llegada es poco variable.

La profundidad radial “ $a$ ” de los cajones se calcula con la fórmula:

$$a = \left( \frac{1}{4\sqrt[3]{H}} a \frac{1}{6\sqrt[3]{H}} \right) \quad \text{Ec. 1.1}$$

El ancho “ $b$ ” de la rueda, depende del caudal  $Q$ . Se supone que el agua llena de  $1/4$  a  $1/2$  del volumen del cajón, con lo cual se tiene la siguiente ecuación:

$$Q = \left( de \frac{1}{4} a \frac{1}{2} \right) \cdot a \cdot b \cdot u \quad \text{Ec. 1.2}$$

Las características del chorro son: el espesor  $o$   $a$ , el ancho  $o$   $b$  y la velocidad  $1$   $c$ . El ancho “ $o$   $b$ ” debe dejar a cada lado un franco de 0,10 a 0,20 metros, con relación al ancho de la rueda, a fin de evitar pérdidas por salpicaduras.

El espesor se calcula con la fórmula:

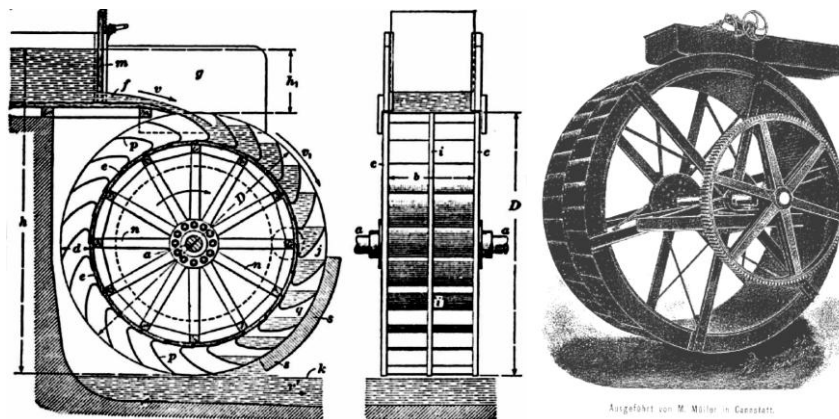
$$Q = a_0 \times b_0 \times c_1 \quad \text{Ec. 1.3}$$

En la cual, por lo general:

$$C_1 = u + (0.5 a \text{ metro}) \quad \text{Ec. 1.4}$$

En la (fig. 2), se puede observar la disposición de la compuerta, la forma de los álabes, elementos y mecanismos de la rueda admisión superior.

**FIGURA N° 2**  
**RUEDA DE ADMISIÓN SUPERIOR**



**Fuente:** Eisernen Wasserräder, MÜLLER, Wilhelm

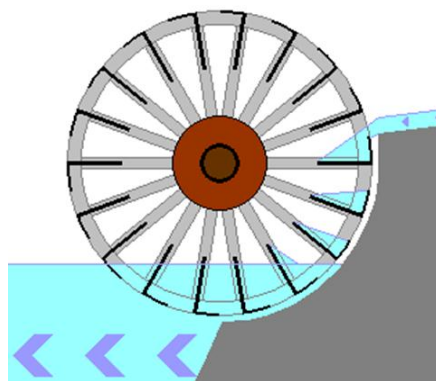
**Elaboración:** Tesistas

### 1.3.1.2.2 Ruedas de Costado Admisión Intermedia (Breastshot).

#### ➤ Descripción

Son conocidas como ruedas hidráulicas de costado dónde el agua entra en la rueda aproximadamente al nivel del eje, el agua entra a los álabes con energía cinética, pero ejecuta la mayor parte del trabajo por gravedad, como se puede observar en la (fig.3)

**FIGURA N° 3**  
**RUEDA HIDRÁULICA CON ADMISIÓN INTERMEDIA (BREASTSHOT)**



Fuente: <http://www.electrobaconics.co.uk/water01.shtml>

Elaboración: Tesistas

MÜLLER, G. y WOLTER C, (2004) utilizan algunas fórmulas en un modelo de rueda de admisión media (págs.2,3,4) en las que se cita lo siguiente.

La profundidad  $d$  de las células puede calcularse como una función de la diferencia de cabeza y el diámetro con las ecuaciones empíricas siguientes

$$d = 0.4 \sqrt[3]{\frac{D}{H}} \quad a \quad 0.5 \sqrt[3]{\frac{D}{H}} \quad \text{Ec. 1.5}$$

Con una profundidad de 0.60 m fue escogida para el modelo, el ancho  $B$  para la rueda se muestra a continuación

$$B = \frac{Q}{V_t \epsilon d} \quad \text{Ec. 1.6}$$

#### ➤ Diseño de la Salida del Fluido

A la salida del fluido, el agua puede moverse con velocidad tangencial de la rueda en m/s. La sumersión de la profundidad a la salida  $t_r$  puede ser determinada por.

$$t_r = \frac{Q}{B V_t} \quad \text{Ec. 1.7}$$

El radio  $r_a$  de la sección más baja de la hoja está dada por

$$\beta = \arcs \frac{R-t_r}{R} \quad \text{Ec. 1.8}$$

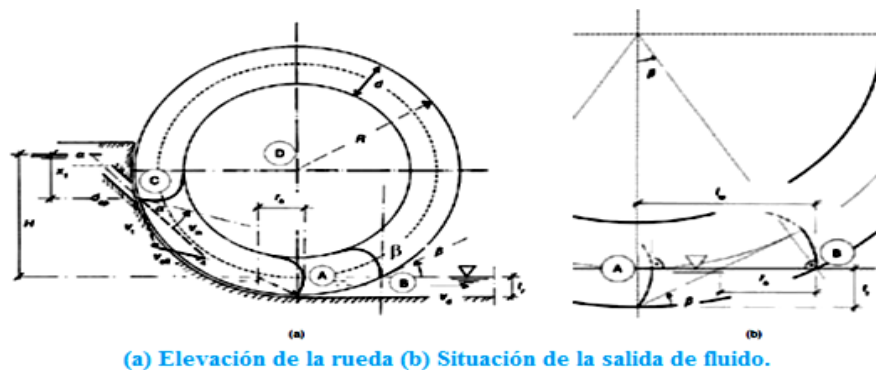
$$r_a = \frac{t_r}{\sin \beta} \quad \text{Ec. 1.9}$$

➤ *Diseño de la Entrada del Fluido*

La condición de salida del fluido está determinada por la geometría de la hoja. La entrada del fluido, detalla entonces que tiene que ser diseñado de manera que minimice las pérdidas durante la entrada de fluido. La entrada del fluido es usualmente encausado a través de una hendedura llamada deslizador. La entrada de fluido de agua entra en las células a la profundidad  $x_I$  debajo el nivel superior de agua en el punto C. En orden para maximizar el uso de la energía cinética del agua, la velocidad en la entrada de fluido  $v_{in}$  debería ser aproximadamente dos veces la velocidad tangencial  $v_t$  de la rueda.

En la (fig.4) se observan las condiciones a la entrada y salida del fluido y la curvatura de las hojas.

**FIGURA N° 4**  
**DISEÑO DE RUEDA HIDRÁULICA ADMISIÓN INTERMEDIA**



**Fuente:** MÜLLER, G. y WOLTER C, (2004)  
**Elaboración:** Tesistas

El ángulo  $\alpha'$  debajo que el agua entra en la célula es normalmente escogido para que  $\tan \alpha 0,5$  o  $\alpha=26^\circ$  (algunas veces  $30^\circ$ ). La velocidad  $v_{in}$  del agua puede ahora determinarse por:

$$v_{in} = \frac{v_t \sin \beta}{\sin (90-\beta-\alpha)} \quad \text{Ec. 1.10}$$

Con esta velocidad, la profundidad de la entrada de fluido bajo el nivel de agua puede ser calculada, asumiendo una pérdida con el factor de 0,1

$$x_1 = 1,10 x \frac{v_{in}^2}{2g} \quad \text{Ec. 1. 11}$$

Asumiendo que el nivel de entrada del fluido es 0,278 m sobre el eje de la rueda, así que la cabeza de diferencia es exactamente 2,00 m, el ángulo  $f$  de la entrada de fluido del canal con la horizontal es:

$$\varphi = \beta + \alpha - \text{asn} \frac{x_1 - v_{in}}{D} \quad \text{Ec. 1. 12}$$

Con una velocidad de entrada del fluido 2.852 m/s, el requerimiento teórico de profundidad de  $d_{op}$  para una sola abertura de fluido puede ser determinada por:

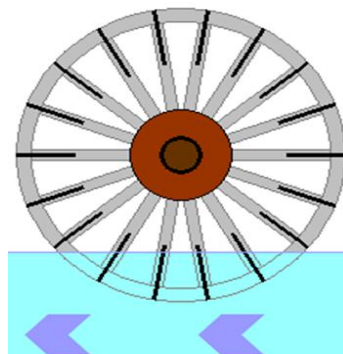
$$d_{op} = \frac{Q}{0,92 x v_{in} x B} \quad \text{Ec. 1. 13}$$

### 1.3.1.2.3 Rueda de Admisión Inferior Poncelet (Undershot)

#### ➤ Descripción

Las ruedas de admisión inferior funcionan aprovechando el golpe o choque del agua que pasa por debajo (fig. 5), el canal dentro del cual se halla instalada la rueda es un poco más ancho que la rueda, de modo que casi toda el agua choca contra los álabes, existe dos tipos las de álabes rectos y curvos, el agua puede llegar pasando bajo una compuerta, como es el caso de la Rueda Poncelet (fig. 6), la cual puede prescindirse si la carga es pequeña.

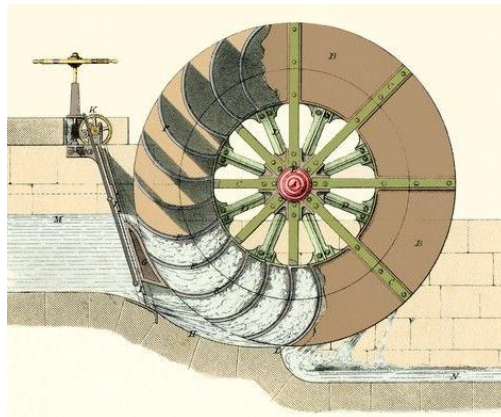
**FIGURA N° 5  
RUEDA HIDRÁULICA DE ADMISIÓN INFERIOR (UNDERSHOT)**



Fuente: <http://www.electrobaconics.co.uk/water01.shtml>

Elaboración: Tesistas

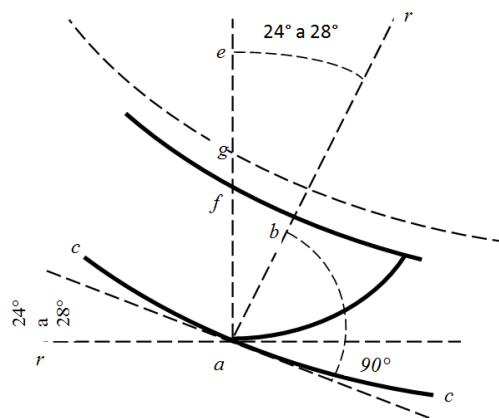
**FIGURA N° 6**  
**RUEDA HIDRÁULICA PONCELET (UNDERSHOT)**



**Fuente:** <http://www.sciencephoto.com/media/362536/enlarge>  
**Elaboración:** Tesistas

**FAIRBAIRN, Bart (1871)** expresa: “Para describir la curvatura de Poncelet, la circunferencia externa  $c c$  y la línea  $\alpha r$  el radio de la rueda, se toma  $a b = 1/3$  a  $1/4$  de la caída, y se grafica el centro de la circunferencia de la envoltura, así el ángulo formado por  $e a r$  podría ser de  $24^\circ$  a  $28^\circ$ . Tomando  $a e, f g$ , y de los puntos  $a f = 1/6$ , se grafica  $g$ , desde este punto se hace un círculo desde  $a$  hasta el centro de la segunda circunferencia así se describe la curvatura de los álabes” (pág. 154) y se traza como se observa en la (fig. 7).

**FIGURA N° 7**  
**TRAZADO DE ÁLABES RUEDA PONCELET**



**Fuente:** Mills and Millwork, On the Principles of Mechanism  
**Elaboración:** Tesistas

## 1.4 TEORÍA DE DISEÑO HIDRÁULICO

### 1.4.1 Criterios para la Selección de Caudal de Diseño

#### 1.4.1.1 Caudal Disponible

Para la realización del proyecto es necesario tener información del caudal de agua disponible del canal en m<sup>3</sup>/seg o lts/seg para ello se debe medir el caudal y la caída aprovechable es decir un estudio del canal que disponemos.

#### 1.4.1.2 Medidas Directas de Caudal

Si no existen series temporales para el tramo de río en estudio, y se dispone de tiempo para ello, se pueden medir los caudales a lo largo de un año como mínimo ya que una serie de medidas instantáneas no tienen ningún valor.

#### 1.4.1.3 Medición del Caudal con Flotador

Debido a que tenemos una distancia determinada recta del canal es el método más adecuado por su simplicidad. El método del flotador consiste en la medición de tiempo en la que recorre un volumen de agua en una determinada distancia del canal o riachuelo, se determina de la siguiente manera.

- Se elige una sección recta, homogénea del canal
- Se mide una longitud  $L$  del tramo
- Se mide la sección transversal del canal
- Como flotador se puede utilizar hojas secas o algún elemento ligero
- Se coloca el flotador al inicio del tramo y se cronometra hasta el final del tramo

Para determinar la velocidad del agua en el canal se utiliza la siguiente expresión:

$$V = \frac{L}{t} \left( \frac{m}{s} \right) \quad \text{Ec. 1. 14}$$

Se obtiene la sección transversal mediante la siguiente expresión

$$A = b \times h \quad \text{Ec. 1. 15}$$

Para determinar el caudal se debe seleccionar el factor de corrección del canal para nuestro caso es 0,7 por ser de tierra.

Una vez conocidos los parámetros de volumen sección transversal más el factor de corrección procedemos con la siguiente ecuación.

$$Q = C \times V \times A \text{ (m}^3\text{/seg)} \quad \text{Ec. 1. 16}$$

*C* : Coeficiente

*V* (m<sup>3</sup>) : Volumen

*A* (m<sup>2</sup>) : Sección transversal

#### **1.4.1.4 Estudio Hidrológico**

**ITDG, (1995)** Dice: “Permite establecer el potencial hidroenergético del lugar escogido. Muestra como el caudal varía a lo largo del año y donde se debe tomar el agua para obtener el sistema más efectivo y barato.”(pág. 39)

El estudio toma en consideración los diferentes usos del agua cuando el agua para irrigación en la agricultura tiene prioridad sobre la hidrogenación.

##### **1.4.1.4.1 Curva de Caudales**

Es la representación gráfica del registro de caudales medios sobre la base de períodos (días, meses, años) durante un tiempo de medición.

Las mediciones deben tomarse en proyectos grandes de hasta 15 años para obtener un estudio más profundo sobre los caudales.

**ITDG (1995)** Expresa: “La hidrología no es una ciencia exacta, por lo general las respuestas se dan en forma probabilística de ocurrencia”. (pág. 39)

La representación gráfica se realiza con base a mediciones instantáneas de caudal con el apoyo de equipos que permite su registro, o en su defecto con mediciones periódicas y registro del mismo (fig. 8).

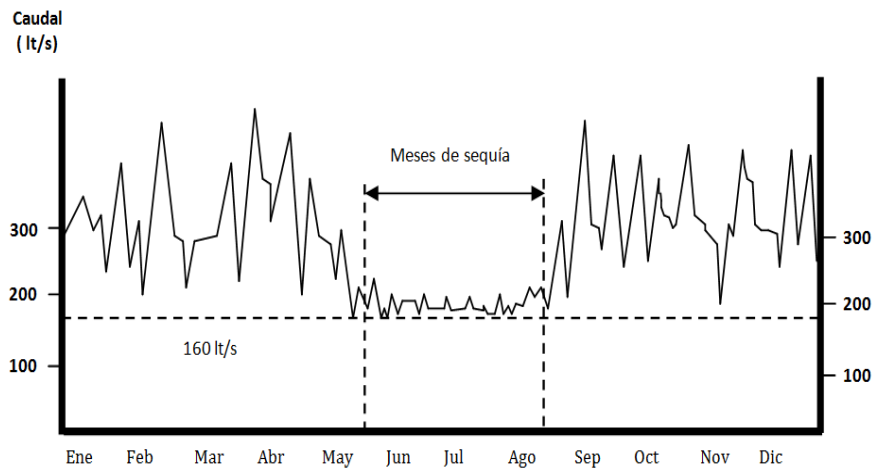
#### 1.4.1.4.2 Caudal Pico

El caudal pico corresponde al caudal máximo de creciente, el cual se presentará transcurrido un tiempo, llamado período de retorno; con base a dicho valor y en la magnitud del caudal se hace el diseño de las obras de desvío y el vertedero de exceso.

El período de retorno recomendado por la OLADE para diseño de captación, es la siguiente.

Micro centrales	20 – 25 años
Mini centrales	25 – 50 años
Pequeñas centrales	50 – 100 años

**FIGURA N° 8  
HIDROGRAMA**



**Fuente:** ITDG, Manual de Mini y Micro Centrales Hidroeléctricas

**Elaboración:** Tesistas

#### 1.4.1.4.3 Caudal Mínimo

Es el caudal que se requiere garantizar en el lecho del río para mantener áreas húmedas y no alterar la fauna y la flora del mismo; el caudal mínimo es equivalente al caudal de sequía.

#### 1.4.1.4.4 Caudal Medio

El caudal medio es el equivalente al promedio de los caudales medidos durante un lapso de tiempo; puede ser diario, mensual o anual.

#### **1.4.1.4.5 Caudal Ecológico**

Para la determinación del caudal ecológico se considera el criterio generalmente aplicado en nuestro sector, y también adoptado por el Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC), esto es que se asume un valor igual al 10% del caudal medio anual, calculado para el río en el sitio de captación.

#### **1.4.1.4.6 Curva de Duración de Caudales**

**ITDG (1995)** Expresa: “Nos da la probabilidad en un porcentaje de tiempo de todo el período de aforos, en el cual el caudal es igual o menor al caudal correspondiente a dicho porcentaje de tiempo”. (pág. 40)

Es una representación gráfica en la cual se indican los caudales ordenados de un máximo a un mínimo, se indica los períodos (diario, semanal, mensual, u otra).

Para calcular la frecuencia relativa de cada rango se divide el número de ocurrencias entre el número total de aforos:

$$fr (\%) = \left( \frac{F}{N} \right) \times 100 \qquad \text{Ec. 1. 17}$$

#### **1.4.1.4.7 Caudal de Diseño**

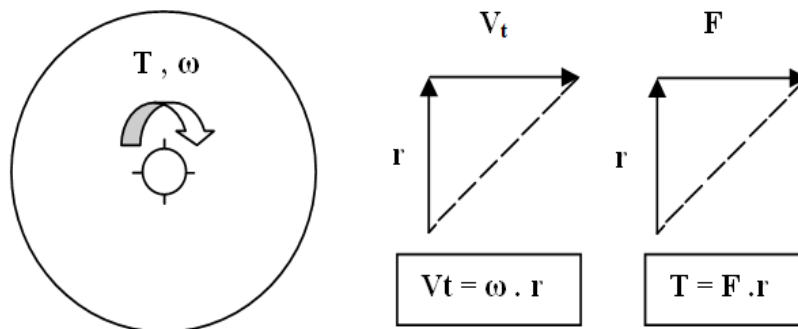
El caudal de diseño se determina con base en la curva de duración, con la cual se proyecta la PCH. En general, se toma el caudal que dura el 90% para evaluar la potencia disponible y 50% para obtener la potencia adicional con almacenamiento o puede tomarse el caudal que mayor tiempo permanece en el afluente según la curva de frecuencias.

### **1.4.2 Velocidad Tangencial de la Rueda**

La velocidad tangencial lineal, para un mecanismo giratorio puede darse por la siguiente expresión:

$$Vt = \omega \times r \qquad \text{Ec. 1. 18}$$

**FIGURA N° 9**  
**VARIABLES DE UNA RUEDA HIDRAULICA**



**Fuente:** HEREDIA, Luis. “Construcción y Ensayo de una Rueda Hidráulica de 2 M de Diámetro  
**Elaboración:** Tesistas

**CÓRDOVA, Ramiro (2006)** expresa: “Para encontrar la velocidad tangencial de la rueda, utilizamos el coeficiente de velocidad, que es el parámetro que nos permite pasar del modelo al prototipo”.(pág. 28)

$$\varphi = \text{Coeficiente de velocidad} \quad \text{Ec. 1. 19}$$

$$\varphi = \frac{V_{rueda}}{V_{agua}} \quad \text{Ec. 1. 20}$$

$$V_{agua} = \sqrt{2 \times g \times H} \quad \text{Ec. 1. 21}$$

$$V_{rueda} = V_{agua} \times \varphi \quad \text{Ec. 1. 22}$$

#### 1.4.2.1 Velocidad Angular

**CÓRDOVA, Ramiro (2006)** expresa la siguiente fórmula para calcular el número de revoluciones de una Rueda hidráulica.

$$N(\text{rpm}) = \frac{V_{rueda}}{r_{rueda}} \times \frac{60}{2\pi} \quad \text{Ec. 1. 23}$$

#### 1.4.2.2 Momento de Giro o Torque

“La aplicación de una Fuerza perpendicular a una distancia determinada de una línea de acción en un eje produce un cambio de movimiento y velocidad, a esto se le denomina momento de giro”.

Indica la capacidad de un eje giratorio para desarrollar una fuerza tangencial “*F*” a una distancia radial “*r*” del centro. Es igual a:

$$T(\text{kg.m}) = F.r \quad \text{Ec. 1. 24}$$

Para obtener el torque para un elemento giratorio se puede basar en la expresión que se plantea a continuación

$$T = \frac{P}{2\pi x f} \quad \text{Ec. 1. 25}$$

*T(N.m)* : Torque de la Rueda Hidráulica

*P(cv)* : Potencia a transmitir

*f ( )* : frecuencia

### 1.4.2.3 Fuerza del agua

Para saber cuál es la fuerza con la que impacta el agua a los álabes utilizamos la siguiente ecuación.

$$F = \frac{T}{r - (\frac{b}{2})} \quad \text{Ec. 1. 26}$$

*T(N.m)* : Torque de la Rueda Hidráulica

*r(m)* : radio

*b (m )* : altura de choque

### 1.4.3 Cálculo de Potencia de una Rueda Hidráulica

La Fábrica estadounidense Water Wheel Factory, cita para calcular la potencia en Hp los siguientes parámetros.

$$\text{Horse Power} = \text{Constante} x \text{Caudal} x \text{Altura} x \text{Eficiencia}$$

Para saber la potencia, necesitamos obtener los datos de caudal, altura de la caída.

La altura es el número de pies fuera de la tierra, la caída de agua encima de la rueda hidráulica.

$$HP = C x Q x H x \eta \quad \text{Ec. 1. 27}$$

$C$  : Constante

$Q$  ( $ft^3/seg$ ) : Caudal

$H$  ( $ft$ ) : Distancia sobre la Rueda Hidráulica

$\eta$  (%) : Eficiencia de la Rueda

La constante es 0,1134 y viene de la siguiente expresión:

$$C = (\text{lbs. de Peso de Agua.}) / (\text{pie-lbs/seg})$$

$$C = (62.42 / 550.221) = 0,113491$$

La eficiencia de la Rueda Hidráulica:

Metal: 0,85 a 0,90

Madera: 0,70

Poncelet: 0,60

**TABLA N° 2**  
**PARÁMETROS PARA CALCULAR LA POTENCIA DE UNA RUEDA**  
**HIDRÁULICA**

<b>RUEDA HIDRÁULICA (HP)</b> 85% Factor de eficiencia para la Rueda Hidráulica						
		<b>Diámetro de la Rueda Hidráulica</b>				
<b>Gal/min</b>	<b>ft<sup>3</sup>/seg</b>	<b>10 Pies</b>	<b>12 Pies</b>	<b>15 Pies</b>	<b>18 Pies</b>	<b>20 Pies</b>
100	0.223	0.215	0.258	0.322	0.387	0.430
200	0.446	0.430	0.515	0.644	0.773	0.859
300	0.668	0.644	0.773	0.966	1.160	1.289
400	0.891	0.859	1.031	1.286	1.546	1.718
500	1.114	1.074	1.289	1.611	1.933	2.148
800	1.783	1.718	2.062	2.577	3.093	3.436
1000	2.228	2.148	2.577	3.222	3.866	4.295
1500	3.342	3.222	3.866	4.832	5.799	6.443
2000	4.456	4.295	5.155	6.443	7.732	8.591
3000	6.68	6.443	7.732	9.665	11.598	12.886

Fuente: <http://www.waterwheelfactory.com>

Elaboración: Tesistas

En la Tabla 2 se puede observar el caudal y diámetro de la rueda, para transformar gal/min a  $ft^3/seg$ , se multiplica por 0,002228

### 1.4.3.1 Transferencia de Energía

HEREDIA, Luis (2009) Dice: “Considerar todos los factores involucrados puede ser engorroso y extenso, por lo que se suelen plantear relaciones sencillas para efectos de ponderación preliminar.”(pág. 17)

$$P = 0,41 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad \text{Ec. 1.28}$$

$P$  (W) : Potencia mecánica en la rueda

$\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) : Densidad del fluido

$A$  ( $\text{m}^2$ ) : Área sumergida proyectada de la rueda

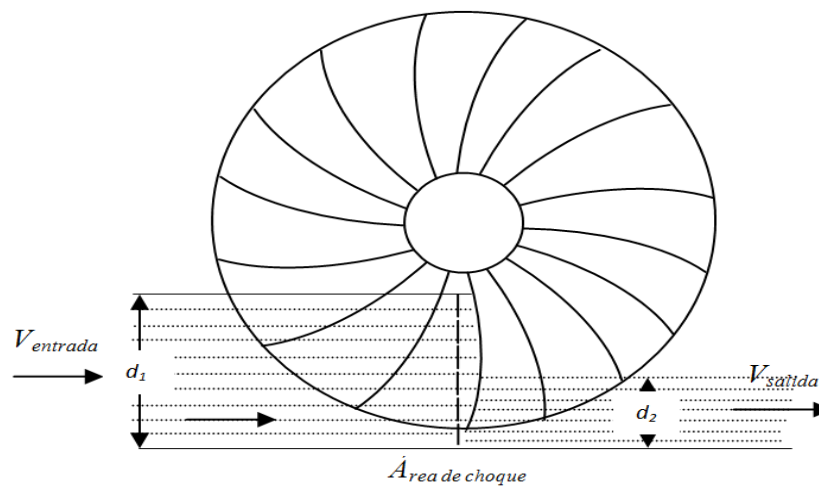
$V$  (m/s) : Velocidad de corriente

- El factor 0,41 es un coeficiente análogo a la eficiencia, en relación a un óptimo teórico.

Esta expresión es muy similar a la relación planteada para potencia ideal, de uso extendido en aerogeneradores:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad \text{Ec. 1.29}$$

FIGURA N° 10  
TRANSFERENCIA DE ENERGÍA



Fuente: HEREDIA, Luis. “Construcción y Ensayo de una Rueda Hidráulica de 2 M de Diámetro  
Elaboración: Tesistas

## 1.5 TEORÍA DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE MATERIALES

### 1.5.1 Definición de Materiales en el Diseño Mecánico

La rueda hidráulica es el elemento generador de potencia mecánica para transmitir al eje y este a su vez por medio de la transmisión mecánica, obtener energía eléctrica del generador, esta deberá contar con la resistencia suficiente para no dañarse por la fuerza y la abrasión del agua.

El material de los álabes debe responder a otras exigencias tales como; que sea ligero, homogéneo, indeformable, resistente a la fatiga, resistente a la abrasión, de producción sencilla y de coste bajo por este motivo se ha decidido construirla completamente de perfiles laminados.

### 1.5.2 Clasificación y Selección de Perfiles Laminados

**RODRÍGUEZ, Ramiro, MARTÍNEZ, Carlos, y MARTÍNEZ, Rafael (1999)** Prontuario de Estructuras Metálicas, citan en la (págs. 13-53) algunos perfiles laminados como son los siguientes:

- *Perfiles simples laminados*  
IPE,IPN,HEB,HEM,HEA,UPN, redondos, perfiles de lados iguales.
- *Perfiles simples conformados en frío*  
L, LD, U, C, omega, Z
- *Vigas armadas*  
Prolongacion serie IPE, IPN, HEB, HEM, HEA
- *Chapas*  
Vertical, dos chapas paralelas (separación interior, exterior)
- *Perfiles compuestos*  
2 IPE, 2 IPN, 2 IPE cruz, 2 IPN cruz, 2 UPN, IPN+UPN, IPE +UPN
- *Perfiles alveolados*  
Obtenidos de IPE, UPN
- *Tubos*  
Redondo, cuadrado, rectangular

### 1.5.3 Selección de Perfiles Laminados

**MOTT, Robert (2006)** Señala que para la utilización de perfiles se debe tomar algunas de las siguientes consideraciones.(pág. 78)

1. Use perfiles cerrados, cuando sea posible. Como ejemplos están las barras macizas con grandes secciones transversales, tubos huecos rectangulares o cuadrados cerrados y formas especiales cerradas, que se aproximen a la forma de un tubo.
2. Por el contrario, evite perfiles abiertos hechos de materiales delgados
3. Use conexiones rígidas, como las que se obtiene al soldar sus partes.

Debido a que los perfiles van a estar sometidos a la fuerza del agua se debe realizar un cálculo de esfuerzos en los álabes que son los que van a soportar dicha fuerza.

Para un esfuerzo axial tenemos:

$$\sigma_a = \frac{P}{A_n} \quad \text{Ec. 1. 30}$$

$\sigma_a$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) : Esfuerzo Axial

$P$  ( $\text{Kg}$ ) : Peso de la Rueda hidráulica

$A_n$  ( $\text{cm}^2$ ) : Área Neta

➤ *Módulo de sección*

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad \text{Ec. 1. 31}$$

$M$  ( $\text{Kg.cm}$ ) : Momento máximo

$Z$  ( $\text{cm}^3$ ) : Módulo resistente

➤ *Momento flector máximo en placa rectangular*

$$M_x^{\text{máx}} = \beta_1 \cdot p \cdot a^2 \quad \text{Ec. 1. 32}$$

$\beta_1$  ( $\text{cm}^3$ ) : Coeficiente

$p$  ( $\text{kg.cm}$ ) : Fuerza del agua

$a$  ( $\text{cm}^2$ ) : Área de choque

➤ *Módulo resistente de una placa rectangular*

$$Z = \frac{(a)x(h)^2}{6} \quad \text{Ec. 1. 33}$$

➤ *Esfuerzo Total*

Es el esfuerzo máximo que se da cuando el álabe está sometido a la fuerza del agua mientras que el esfuerzo mínimo se da cuando el álabe se eleva y no tiene contacto alguno en se encuentra en la parte superior

$$\sigma_t = \sigma_a + \sigma_f \quad \text{Ec. 1. 34}$$

➤ *Esfuerzo Admisible*

$$\sigma_m = \sigma_a + \frac{\sigma_t}{2} \quad \text{Ec. 1. 35}$$

### 1.5.4 Datos de la Rueda Hidráulica

#### 1.5.4.1 Dimensiones de la Rueda

Las dimensiones más importantes del diseño son el diámetro de la rueda, ancho de la rueda, número de álabes, altura de carga del caudal disponible o de trabajo.

### 1.5.5 Cálculo de Masa y Peso de la Rueda

➤ *Masa y Peso de los Perfiles*

Para calcular la masa y peso de los perfiles se debe obtener el volumen y el peso específico del material con la siguiente fórmula:

$$M = V \times \gamma \quad \text{Ec. 1. 36}$$

$V (m^3)$  : Volumen

$\gamma (kg/m)$  : Peso específico

Para calcular el área

$$A = L \times l \quad \text{Ec. 1. 37}$$

$L (m)$  : Lado mayor

$l (m)$  : Lado menor

Para calcular el volumen

$$V = A \times e \quad \text{Ec. 1. 38}$$

$A (m)$  : Área

$e (m)$  : Espesor

Se debe considerar el peso específico del acero  $7850 \text{ kg/m}^3$ . También se puede obtener el resultado sabiendo el peso por metro de cada perfil.

Luego de obtener estos datos multiplicamos por la gravedad y se tiene el peso.

➤ ***Masa y Peso de los Álabes***

**BOHMAN, Iván (2000)** En su catálogo en la (pág. 15) menciona la siguiente fórmula para obtener la masa de una plancha de acero.

$$P = 7,85 \times L \times W \times T \text{ (Kg/pedazo)} \quad \text{Ec. 1.39}$$

$L (m)$  : Largo

$W (m)$  : Ancho

$T (mm)$  : Espesor

### **1.5.6 Uniones Soldadas y Remachadas**

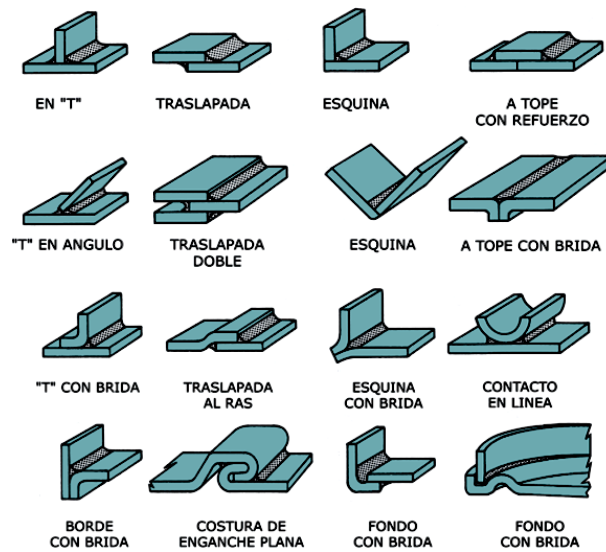
**SHIGLEY, Joseph (2008)** Menciona: “ Un diseñador ingenioso, debe ser capaz de diseñar piezas soldadas fuertes, resistentes y de poco peso que se puedan fabricar rápida y fácilmente empleando dispositivos sencillos de sujeción.”(pág. 437)

Generalmente, para fabricar piezas soldadas se sujeta en determinada posición un conjunto de elementos de acero laminado en caliente, de contenido mediano o bajo de carbono, y cortados, según configuraciones particulares antes de proceder a soldar.

#### ***1.5.6.1 Tipos de Soldadura***

**MOTT, Robert (2006)** Dice: “Para los tipos de soldadura dependen de la geometría de las orillas de las partes que se van a unir se requiere que las orillas, en especial cuando son gruesas, permitirán que la varilla de soldadura entre a la junta y forme un cordón continuo de soldadura” (pág. 784), en la (fig. 11) se observan varios tipos de soldadura.

**FIGURA N° 11**  
**DISEÑOS DE UNIONES EN SOLDADURA**



**Fuente:** RODRÍGUEZ, Pedro. Manual de soldadura  
**Elaboración:** Tesistas

En el Anexo A se pueden observar más detalladamente los tipos de soldadura, así como las fórmulas a utilizar según sea el tipo de soldadura.

### **1.5.6.2 Tamaños de la Soldadura**

La longitud del cordón de la soldadura de chaflán con carga cortante denominada (la garganta) se calcula con trigonometría sencilla, y es igual a  $0,707w$ , donde  $w$  es la dimensión del cateto o del lado.

$$A_{sol} = h \cdot (0,707)L_{cordón} \quad \text{Ec. 1. 40}$$

Ya que la mayoría de la soldadura es a tope, la resistencia del material base es mayor por este motivo no necesita tener mayor amplitud de análisis.

### **1.5.6.3 Dimensiones Mínimas de la Soldadura en Ángulo**

Si se duplica la dimensión del cateto de una soldadura en ángulo, la cantidad de metal de soldadura se cuadruplica; de esto se deduce que una soldadura continua ligera es preferible a una soldadura intermitente más pesada. Sin embargo, aunque los requisitos de resistencia puedan permitir una soldadura en ángulo muy pequeña, la experiencia sugiere las mínimas dimensiones siguientes de acuerdo con los espesores de la chapa:

		Espesor de la chapa, centímetros			
0,31 - 0,47	0,63 - 0,79	0,95 - 1,58	1,90 - 2,54	2,85 - 3,49	3,81 y más
		Espesor de la chapa, pulgadas			
1/8 - 3/16	1/4 - 5/16	3/8 - 5/8	3/4 - 1	1 1/8 - 3/8	1 1/2 y más
		Dimensión <i>b</i> mínima, centímetros			
0,31	0,47	0,63	0,95	1,27	1,90
		Dimensión <i>b</i> mínima, pulgadas			
1/8	3/16	1/4	3/8	1/2	3/4

#### 1.5.6.4 Procedimiento General para Diseñar Uniones Soldadas

La junta de soldadura para las placas, tirantes que conformarán la Rueda Hidráulica se realizará con electrodo E6011, debido a que no se presentan situaciones de carga excesiva que comprometan la estabilidad del prototipo o que generen fallas por fatiga. En la Tabla N° 3 se puede observar el esfuerzo cortante admisible para algunos tipos de aceros laminados y el tipo de electrodo que se puede utilizar.

**TABLA N° 3**  
**ESFUERZOS CORTANTES ADMISIBLES SOBRE SOLDADURAS DE**  
**CHAFLÁN**

<b>A. Acero</b>		
<b>Tipo de electrodo</b>	<b>Materiales típicos que se unen (grado ASTM)</b>	<b>Esfuerzo cortante admisible</b>
E60	A36,A500	18 Ksi (124 MPa)
E70	A242,A441	21 Ksi (145 MPa)
E80	A572,Grado 65	24 Ksi (165 MPa)
E90		27 Ksi (186 MPa)
E100		30 Ksi (207 MPa)
E110		33 Ksi (228 MPa)

**Fuente:** MOTT, Robert (2006)

**Elaboración:** Tesistas

## 1.6 TEORÍA DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS

### 1.6.1 Diseño de Ejes

**MOTT, Robert (2006)**, pronuncia: “Una flecha o eje es el componente de los dispositivos mecánicos que transmite energía rotacional y potencia”. (pág. 531)

Es la parte integral de los dispositivos o artefactos como reductores de velocidad tipo engrane, impulsores de banda o cadena, transportadores, bombas, ventiladores, agitadores y muchos tipos de equipos para automatización.

Algunos aspectos que se deben tomar en consideración son los siguientes:

- Analizar los puntos críticos del eje como los cambios de diámetro, y puntos de concentración de tensión.
- Calcular la potencia o torque a transmitir.
- Calcular las fuerzas radiales y axiales.
- Definir la forma del eje y como transmitirá la potencia.
- Determinar el lugar adecuado de las chumaceras que soportaran al eje.
- Determinar la velocidad de giro.
- Determinar los elementos que estarán montados en el eje y su ubicación.
- Especificar las dimensiones finales de cada sección del eje.
- Selección del eje que se va a emplear.

La selección del tipo, forma y dimensiones del eje se desarrolla luego de analizar las condiciones a las que el eje estará expuesto (elementos acoplados al eje, y el esfuerzo o tensión que en él se producirán).

#### ***1.6.1.1 Fuerzas Producidas por Elementos Mecánicos***

***Deflexiones en el eje.***-Por ser un eje de soporte de casi todos los elementos mecánicos implicados en la transmisión de movimiento y potencia, estos ejercen fuerzas que producen momentos de flexión, mismos que se tomarán en cuenta para el diseño del eje que será útil a los requerimientos del diseñador y del fabricante.

Un elemento mecánico sea en este caso un eje, se considera rígido cuando no se deforma, mientras que si el desplazamiento debido a la carga es grande se dice que el elemento es flexible para determinar el valor de deformación debida a la flexión que este sufre por la acción de cargas externas se utilizan de forma más común las ecuaciones referidas a la aplicación de cargas intermedias y en el centro sobre apoyos simples; siendo estas:

- **Cargas intermedias sobre apoyos simples.-** En el caso de cargas intermedias para determinar las reacciones sobre los apoyos se utiliza la siguiente ecuación.

$$\Sigma Fi = F1 + F2 + F3 + \dots = 0 \quad \text{Ec. 1. 41}$$

Luego para determinar el cortante y de momento, que mostrará el programa más expuesto a la carga crítica se hará referencia los valores obtenidos de cada uno de los momentos que produzcan las fuerzas aplicadas.

- **Cargas en el centro sobre apoyos simples.-** En este caso para hallar el valor de las reacciones sobre los apoyos se puede utilizar la ecuación:

$$RA = RB = \frac{W}{2} \quad \text{Ec. 1. 42}$$

**RA** : Reacción sobre el apoyo a

**RB** : Reacción sobre el apoyo b

**W** : Carga aplicada

Luego para hallar el momento que producen estas cargas se deberá utilizar la siguiente expresión:

$$M = \frac{W}{2} (L - X) \quad \text{Ec. 1. 43}$$

**M** : Momento

**L** : Longitud donde se aplica la carga.

**W** : Carga aplicada

**X** : Distancia medida donde se ubica la carga.

Luego para hallar los valores que se usarán para trazar el diagrama de cortantes resolverá la ecuación:

$$V = \frac{W}{2} - X \quad \text{Ec. 1. 44}$$

**V** : Cortante

**W** : Carga aplicada

**X** : Distancia medida donde se ubica la carga.

- **Concentración de Tensiones en el eje.**- La concentración de tensiones sobre el eje se presenta en todos los cambios que se realicen sobre la forma geométrica de este, entendiéndose por cambios, el fabricar chaveteros, chaflanes, ranuras para anillos de sujeción, entre otros que pueden causar una disminución de la resistencia del eje.
- **Tensiones en el eje que generan fatiga.**- Son cargas que se aplican de manera transversal al eje, las condiciones para fabricar y operar el eje se tomarán en cuenta cuando se especifiquen la tensión de diseño, para esto se puede utilizar un valor de límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico; para hallar este valor se deberá hacer uso de factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga; teniendo:

$$S_e = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times S'_n \quad \text{Ec. 1. 45}$$

**K<sub>a</sub>** : Coeficiente por superficie

**K<sub>b</sub>** : Coeficiente por tamaño

**K<sub>c</sub>** : Coeficiente de confiabilidad.

**K<sub>d</sub>** : Coeficiente por temperatura

**K<sub>e</sub>** : Factor para concentración de tensiones.

**S'<sub>n</sub>** : Valor que depende del tipo de esfuerzo y material (Kg/cm<sup>2</sup>).

Para lo cual se podrá determinar cada uno de estos factores como sigue

- **Factor de superficie**

$$k_a = a \times sut^b \quad \text{Ec. 1. 46}$$

**a** : Factor por acabado superficial

**Sut** : Carga aplicada

**b** : Exponente

- **Factor de tamaño**

$$K_b = \left( \frac{d}{0,3} \right)^{-0.107} \quad (plg) \quad \text{Ec. 1. 47}$$

$$Kb = \left( \frac{d}{7,62} \right)^{-0.107} \quad (mm) \quad \text{Ec. 1. 48}$$

$d$  : Diámetro en pulgadas o milímetros según corresponda.

➤ **Factor de carga**

$$Kc = 0,85 \quad \text{Axial} \quad \text{Ec. 1. 49}$$

$$Kc = 1 \quad \text{Flexión} \quad \text{Ec. 1. 50}$$

$$Kc = 0.597 \quad \text{Torsión} \quad \text{Ec. 1. 51}$$

➤ **Factor de temperatura**

$$Kd = \frac{st}{srt} \quad \text{Ec. 1. 52}$$

Para obtener los datos más claramente se puede observar el Anexo B

➤ **Factor de efectos diversos**

$$Ke = \frac{1}{kf} \quad \text{Ec. 1. 53}$$

$Kf$  : Factor de concentración de esfuerzos por fatiga.

➤ **Factor de concentración de esfuerzos por fatiga**

$$Kf = 1 + q(Kt - 1) \quad \text{Ec. 1. 54}$$

$Kf$  : Factor de reducción de resistencia

$Kt$  : Factor de concentración de tensión

$q$  : Factor de sensibilidad debido a ranuras

➤ **Relación de fatiga**

Como la mostrada en la ecuación

$$S_{sy} \text{ o } S'n \geq 0.50 \times S_y = 0,5(0,7 \times Sut) \quad \text{Ec. 1. 55}$$

➤ **Factor de diseño**

Es un valor muy importante a considerar por ser utilizado para obtener un resultado adecuado en las primeras aproximaciones de los resultados obtenidos de los cálculos desarrollados.

Para determinar el momento flector máximo se puede utilizar la siguiente ecuación.

$$M_{fmax} = \frac{L \times F}{4} \quad \text{Ec. 1. 56}$$

### 1.6.1.2 Selección del Diámetro del Eje cuando trabajan a Flexión y Torsión

Un eje con Flexión y Torsión es aquel que soporta cargas verticales en una o varias partes de su longitud producidas por engranajes, poleas o volantes y la carga de torsión que genera la transmisión de potencia.

### 1.6.1.3 Teoría de Falla del Esfuerzo Cortante Máximo

Una teoría de falla ayudará para expresar el esfuerzo en términos de las cargas, de las dimensiones de eje y de un esfuerzo admisible según la resistencia del material y el factor de seguridad, la teoría más aplicada es la del esfuerzo cortante máximo, donde; si tanto los esfuerzos de flexión como de torsión tiene componentes estables y variables la teoría del esfuerzo cortante máximo conduce a las ecuaciones:

➤ **Para carga estática**

$$d = \left[ \frac{32n}{\pi S_y} (M^2 + T^2) \frac{1}{2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 1. 57}$$

➤ **Para corrección de valores con carga variable**

Utilizando el criterio de Soderberg se tiene el diámetro corregido.

$$d = \left[ \frac{32 \cdot n}{\pi} \left[ \left( \frac{M_{fmax}}{S_e} \right)^2 \right] + \left[ \left( \frac{T_{max}}{S_y} \right)^2 \right] \frac{1}{2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 1. 58}$$

**d** : diámetro.

**n** : Factor de seguridad.

**M<sub>f máx</sub>**: Momento flector máximo

**S<sub>y</sub>** : Resistencia al punto de fluencia.

**S<sub>ut</sub>** : Resistencia última.

**S<sub>e</sub>** : Limite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico.

**T<sub>máx</sub>** : Momento torsor máximo

Luego de haber determinado las características de resistencia y el diámetro del eje es necesario seleccionar de manera adecuada el tipo de cojinetes que se emplearán para el soporte del eje y sus elementos como se verá a continuación.

#### 1.6.1.4 Selección de Rodamientos

LARBURU, N. (2003), expone: “Los cojinetes rodamientos pueden ser radiales o axiales; se componen de elementos de rodadura que son aros o arandelas provistos de una o más superficies de rodadura que sirven para que los cuerpos rodantes, que son bolas y rodillos de varios tipos, se deslicen sobre aquellas superficies sin rozamiento aparente” (pág. 293).

##### 1.6.1.4.1 Clasificación de Rodamientos

Los variados procesos y trabajos en donde los rodamientos son requeridos permiten clasificarlos de la manera que sigue:

- Cojinetes radiales.
- Cojinetes axiales.

Estos tipos de rodamientos se pueden observar en la (fig. 12)

**Cojinetes Radiales:** Utilizados para cargas radiales y axiales, un ejemplo son:

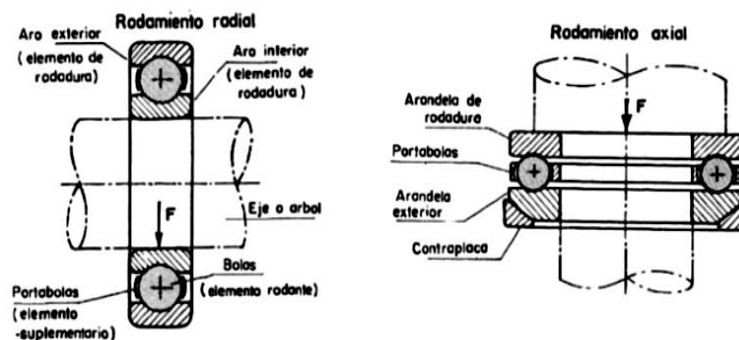
- *Rodamientos a bolas con rótula, con agujeros cilíndricos*

Soportan cargas radiales y facilitan la alineación de los árboles.

- *Rodamientos a bolas rígidos; camino de rodadura profundo*

Soportan cargas radiales y axiales

FIGURA N° 12  
RODAMIENTOS CARGA AXIAL Y RADIAL



Fuente: Nicolás Larburu, Máquinas Prontuario

Elaboración: Tesistas

**Cojinetes Axiales:** Estos cojinetes son utilizados únicamente con cargas axiales, los más usados son:

➤ *Rodamientos axiales de simple efecto*

Soportan cargas axiales en un solo sentido, está compuesto por dos elementos de rodadura.

➤ *Rodamientos axiales de doble efecto*

Soportan cargas axiales en los dos sentidos, estos tienen tres elementos de rodadura.

#### **1.6.1.4.2 Procedimiento de Selección de Rodamientos**

**MARKS', L (2004)**, hace la siguiente referencia: “La selección del tipo de cojinete de elementos rodantes depende de muchos factores, como la carga, velocidad, sensibilidad al desalineamiento, limitaciones de espacio y necesidad de la ubicación precisa del eje.”(pág.742). Sin embargo para determinar si se debe seleccionar un cojinete de bolas o de rodillos se aplica las siguientes reglas generales

- Los cojinetes de bolas funcionan en contacto puntual teórico por tanto se desempeña favorablemente con velocidades elevadas y cargas reducidas.
- Los cojinetes de rodillos son más costosos, funcionan en contacto lineal y por esto soportan cargas más fuertes además de las de choque; estos se ven limitados en la velocidad.

#### **1.6.1.4.3 Dimensionamiento**

El dimensionamiento de rodamientos se realiza en base a dos sollicitaciones; para carga estática y carga dinámica la más utilizada en diseño mecánico se deberá obtener los valores preliminares de carga, factor de esfuerzo, factor de velocidad entre otros, en el Anexo C se tiene La Escala para el cálculo de la vida nominal básica de los rodamientos.

$$fh = fn \frac{Cr}{Pr} \quad \text{Ec. 1. 59}$$

**fh** : Factor de vida

**fn** : Factor de velocidad

**Cr** : Capacidad de carga dinámica

**Pr** : Carga dinámica equivalente

#### 1.6.1.4.4 Determinación del Tiempo de Vida del Rodamiento

Después de haber obtenido el valor, se determina el tiempo de vida en horas que tendrá un rodamiento usualmente se muestran estos valores en los catálogos de selección de rodamientos, dependiendo del fabricante y la marca escogida.

Se puede relacionar el tiempo de vida del fabricante con un estimado en horas de trabajo por un determinado tiempo de trabajo diario, para hallar el valor de vida en años con la siguiente relación:

$$V_U = \frac{L_{10h}}{Hd \times 365} \quad \text{Ec. 1. 60}$$

$V_U$  : Tiempo de vida útil del rodamiento en años.

$Hd$  : Horas de trabajo diarias.

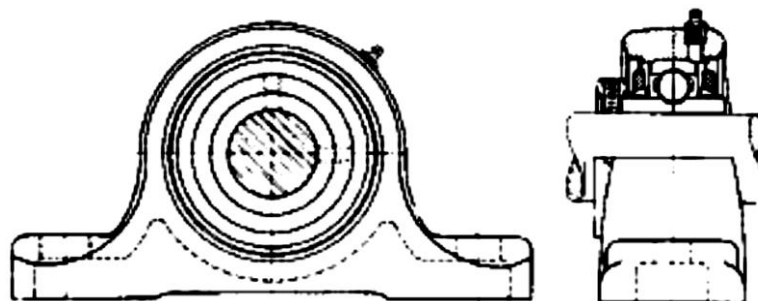
$365$  : Días de trabajo al año.

$L_{10h}$  : Vida nominal del rodamientos en horas.

#### 1.6.1.4.5 Selección del Tipo de Rodamiento

Una vez conocidos los valores sobre los cuales trabajarán el o los rodamientos, se deberá recurrir a catálogos, para determinar el tipo de rodamiento que se adapte a las necesidades del diseño, tanto para factores de carga, dimensiones de ubicación, Montaje, desmontaje, lubricación, mantenimiento, y accesorios que se pueden emplear en el uso de estos elementos.

**FIGURA N° 13**  
**COJINETE CON RODAMIENTO DE BOLAS**



**Fuente:** MARKS´ L, Manual del Ingeniero Mecánico  
**Elaboración:** Tesistas

## 1.6.2 Sistemas de Transmisión de Potencia

### 1.6.2.1 Bandas o Correas

Las bandas se utilizan para transmitir potencia entre dos ejes paralelos. Tales ejes deben estar situados a cierta distancia mínima, dependiendo del tipo de banda, para trabajar con mayor eficiencia. Las bandas tienen las siguientes características:

- Pueden utilizarse para grandes distancias entre centros.
- La relación entre velocidades angulares de los dos ejes no es constante ni exactamente igual a la relación entre los diámetros de las poleas.
- El diámetro de la polea es función de la tensión de la banda y puede modificarse cambiando la distancia entre centros.
- Generalmente es necesario algún ajuste de la distancia entre centros cuando se utilizan las bandas.
- El empleo de poleas escalonadas es un medio económico para cambiar la relación de velocidad.

### 1.6.2.2 Relación de Transmisión

Las transmisiones por bandas además de transmitir movimiento y fuerza se usan para aumentar o reducir la velocidad entre las poleas conductora y conducida, cuando se expresa numéricamente se tiene una relación de transmisión  $i$  esta relación se podrá determinar por la siguiente ecuación si se trata de una relación de incremento de velocidad:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad \text{Ec. 1. 61}$$

$i$  : Relación de transmisión

$\omega_1$  : Velocidad angular, polea conductora, mayor diámetro

$\omega_2$  : Velocidad angular, polea conducida, menor diámetro

$D_1$  : Diámetro polea conductora

$D_2$  : Diámetro polea conducida

Otra manera sencilla para poder determinar la relación de transmisión es la siguiente:

$$N_2 = N_1 \left( \frac{D_b}{D_a} \right) \quad \text{Ec. 1. 62}$$

$$N_3 = N_2 \left( \frac{D_b}{D_a} \right) \quad \text{Ec. 1. 63}$$

$$N_4 = N_3 \left( \frac{D_b}{D_a} \right) \quad \text{Ec. 1. 64}$$

Si las poleas son del mismo tamaño se puede utilizar:

$$N_4 = N_1 \left( \frac{D_b}{D_a} \right)^3 \quad \text{Ec. 1. 65}$$

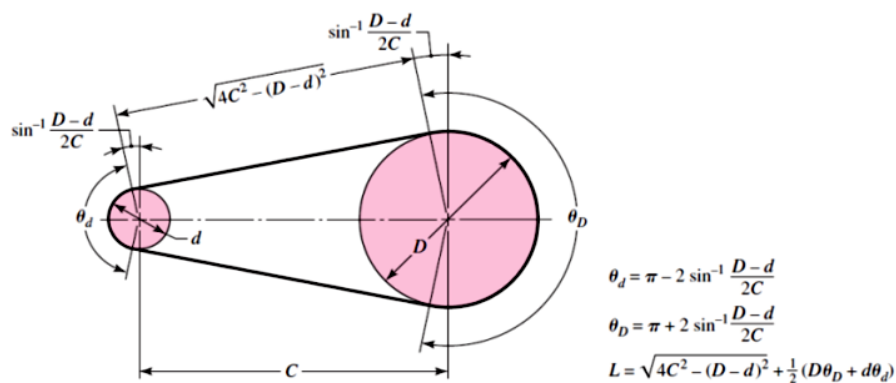
$D_b$  : Diámetro de la polea Mayor

$D_a$  : Diámetro de la polea Menor

$N_1$  : Rpm a la Entrada

$N_4$  : Rpm a la Salida

**FIGURA N° 14**  
**ARCO DE CONTACTO Y DISTANCIA ENTRE EJES**



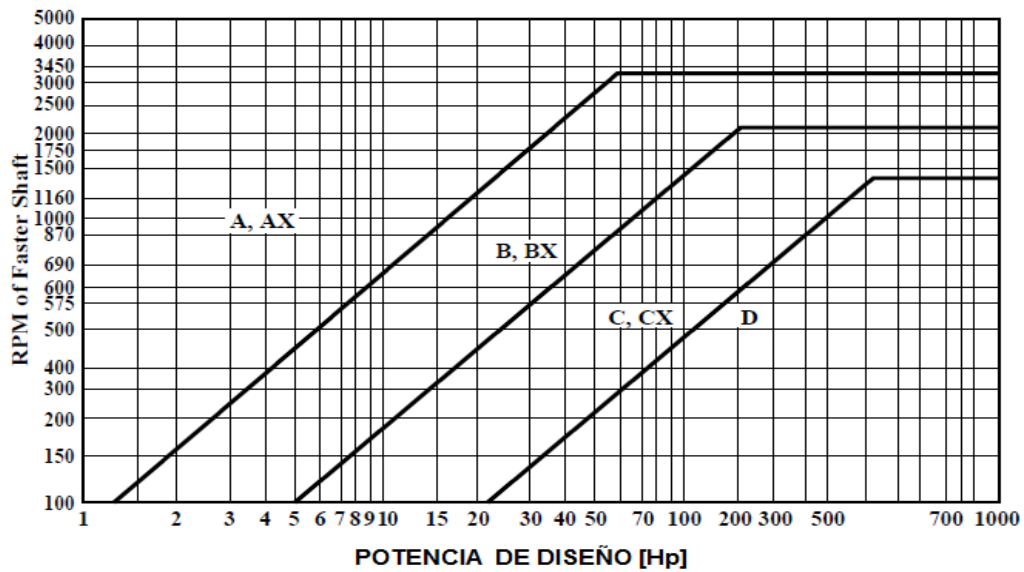
**Fuente:** SHIGLEY, Joseph, Diseño en Ingeniería Mecánica

**Elaboración:** Tesistas

### 1.6.2.3 Selección del Tipo de Banda

Para determinar el tipo de banda se utiliza la tabla en función de la potencia a transmitir corregida y el número de revoluciones por minuto de la polea menor como se observa en la (fig. 15) se debe considerar las condiciones en las que se vaya a trabajar, para lo cual se puede recurrir a la selección directamente de los catálogos de los fabricantes, donde se pueden observar tablas para una correcta aplicación que facilite el trabajo.

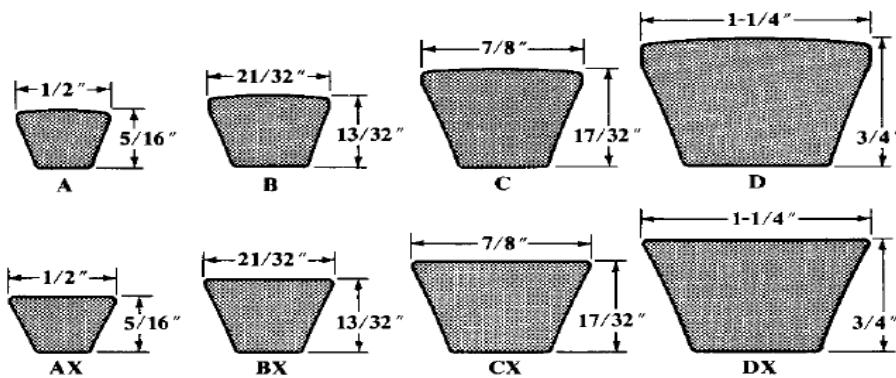
**FIGURA N° 15  
SELECCIÓN DEL TIPO DE BANDA**



Fuente: SHIGLEY, Joseph, Diseño en Ingeniería Mecánica  
Elaboración: Tesistas

En la (fig. 16) se puede observar las principales medidas de bandas clásicas en V

**FIGURA N° 16  
SECCIONES TRANSVERSALES DE BANDAS EN V**



Fuente: SHIGLEY, Joseph, Diseño en Ingeniería Mecánica  
Elaboración: Tesistas

#### 1.6.2.4 Cálculo de Longitud de las Correas

La longitud de la correa está dada en función del diámetro de las poleas conducida como conductora para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$L = \sqrt{4C^2 - (D - d)^2} + \frac{1}{2}(D_{\theta D} + d_{\theta d}) \quad \text{Ec. 1.66}$$

$L (m)$  : Longitud de la banda

$C (m)$  : Distancia entre centros

$D (m)$  : Diámetro mayor

$d (m)$  : Diámetro menor

$D_{\theta D} (rad)$  : Arco de contacto polea mayor

$d_{\theta d} (rad)$  : Arco de contacto polea menor

➤ *Arco de contacto polea mayor*

$$\theta_D = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2c}\right) \quad \text{Ec. 1. 67}$$

➤ *Arco de contacto polea menor*

$$\theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2c}\right) \quad \text{Ec. 1. 68}$$

Luego de determinar el tipo de banda, diámetros de las poleas, longitud de la correa, se procede hallar el valor de la distancia real entre centros con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{L - 1.57(D - d) - (D - d)^2}{\frac{1.57(L - R)}{2}} \quad \text{Ec. 1. 69}$$

$L (m)$  : Longitud de la banda

$C (m)$  : Distancia entre centros

$D (m)$  : Diámetro mayor

$d (m)$  : Diámetro menor

### 1.6.2.5 *Cálculo de Tensiones sobre La Polea*

Para determinar el valor de la tensión sobre la polea se debe considerar el momento torsor de entrada que se aplica a la polea conductora con la siguiente ecuación.

$$M = (F_1 - F_2)X r \quad \text{Ec. 1. 70}$$

$M (m - N)$  : Momento o par torsor

$F_1 (N)$  : Fuerza del lado tenso

$F_2 (N)$  : Fuerza del lado flojo

$r (m)$  : Radio de la polea

Con la siguiente relación para la tensión  $T = (F_1 - F_2)$

Tenemos que:

$$(F_1 - F_2) = \frac{M}{r} \quad \text{Ec. 1. 71}$$

Después sabiendo que la relación de las tensiones es constante debido al rozamiento entre la banda y la polea esta relación se puede determinar por la expresión:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\alpha\beta} \quad \text{Ec. 1. 72}$$

$\mu$  : Coeficiente de fricción= 0,4

$\alpha$  : Ángulo de contacto en radianes

$\beta$ : Factor propio de las bandas = 3,07

$F_1$  : Tensión mayor según el sentido de giro

$F_2$  : Tensión menor sentido contrario de giro

Luego de hallar estos valores la magnitud de la tensión será la suma de las fuerzas aplicadas teniendo así:

$$F_1 + F_2 = T \quad \text{Ec. 1. 73}$$

$T (N)$  : Tensión resultante

$F_1 (N)$  : Fuerza del lado tenso

$F_2 (N)$  : Fuerza del lado flojo

### 1.6.3 Sistema de Engranajes

**MOTT, Robert (2006)** Describe: “Los engranajes son ruedas dentadas cilíndricas que se usan para transmitir movimiento y potencia desde un eje giratorio hasta otro”.(pág. 301).

Los dientes de un engrane conductor encajan con precisión en los espacios entre los dientes del engrane conducido.

Los dientes del impulsor empujan a los dientes del impulsado, lo cual constituye una fuerza perpendicular al radio del engrane. Con esto se transmite un par torsional, y como el engrane es giratorio también se transmite potencia.

### 1.6.3.1 Tipos de Engranés

Se usan con regularidad varios tipos de engranes, que se diferencian debido a la geometría de los dientes.

**FIGURA N° 17**  
**TIPOS DE ENGRANAJES**



Fuente: [www.es.scribd.com/doc/52622822/MARCO-TEÓRICO](http://www.es.scribd.com/doc/52622822/MARCO-TEÓRICO)

Elaboración: Tesistas

Estos pueden ser rectos, helicoidales, cónicos y conjuntos de tornillo sinfín y corona (fig. 17), cuando los ejes van unidos a los engranes se los conoce como tren de engranes, estos a su vez pueden ser reductores o multiplicadores de velocidad.

### 1.6.3.2 Relación de Velocidades

Con frecuencia se emplean para producir cambio de velocidad angular del engrane conducido a la del engrane conductor, la cantidad de reducción de velocidad depende de la relación del número de dientes en el piñón entre el número de dientes en el engrane mayor, de acuerdo con la relación siguiente

$$\frac{n_p}{n_g} = \frac{N_G}{N_P} \quad \text{Ec. 1. 74}$$

$$n_g = n_p(N_G/N_P) \quad \text{Ec. 1. 75}$$

Cuando existe una reducción de la velocidad angular del engrane, existe un incremento proporcional simultáneo en el par torsional del eje unido al engrane.

### ***1.6.3.3 Multiplicador de Velocidad***

**SHIGLEY, Joseph (2008)**. Pronuncia: “Un multiplicador de velocidad es un sistema de transmisión formado por engranajes, caracterizado porque su velocidad de salida es mayor que la de entrada” (pág. 624).

Es un sistema opuesto al reductor de velocidad, más habitual en la industria, ya que en la mayor parte de los casos la velocidad de giro de los motores es superior a la adecuada para el trabajo de las máquinas. Físicamente un multiplicador de velocidad coincide con un reductor de velocidad, diferenciándose en cuál es el eje de entrada y el de salida. La eficiencia de este dispositivo puede alcanzar valores entre 90% a 97%.

**FIGURA N° 18  
TREN DE ENGRANAJES**



Fuente: [www.photaki.com](http://www.photaki.com)  
Elaboración: Tesistas

### ***1.6.3.4 Determinación de un Multiplicador de Velocidades***

Para nuestro caso debemos saber cuál es la potencia, relación de transmisión y el torque que va a ser aplicado ya que de utilizar un reductor en sentido inverso se debe tener muy en cuenta estos aspectos para no tener mayores problemas a corto plazo.

### **1.6.4 Acoplamientos**

Los acoplamientos tienen por función prolongar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes, estén o no alineados entre sí.

Es un hecho real que siempre habrá alguna desalineación entre el eje impulsor y un eje impulsado por lo cual se debe utilizar acoplamientos flexibles.

#### **1.6.4.1 Características para la Selección de Acoples**

Según el caso determinado para elegir el modelo de acople más conveniente, se debe tomar en cuenta algunos datos importantes como son los siguientes:

- Potencia a transmitir
- Velocidad de trabajo
- Dimensiones de los ejes a unir

#### **1.6.4.2 Descripción y Clasificación**

Los acoplamientos se clasifican en los siguientes tipos:

**Acoplamientos Rígidos.-** Son aquellos que son diseñados para que dos ejes a unir queden de manera apretada y no sea posible que se genere movimiento relativo entre ellos.

Los acoplamientos rígidos deben emplearse solo cuando la alineación de los ejes puede mantenerse con mucha precisión, no solo en la instalación sino también cuando están en operación las máquinas se pueden observar en la (fig. 19).

- *Acoplamientos Rígidos de manguito o con prisionero (a)*
- *Acoplamientos Rígidos de platillos (b)*
- *Acoplamientos Rígidos por sujeción cónica (c)*

**Acoplamientos Flexibles.-** Son aquellos que están diseñados de tal manera que sean capaces de transmitir torque con suavidad, en tanto permiten cierta desalineación axial radial o angular se pueden observar en la (fig. 19).

Estos pueden dividirse en:

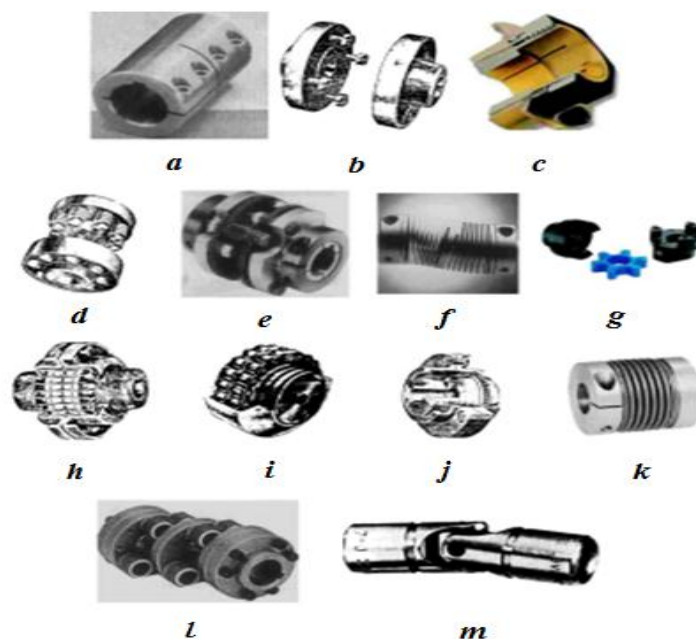
- *Acoplamientos flexibles de Manguitos de goma (d)*
- *Acoplamientos flexibles de Disco Flexible (e)*
- *Acoplamientos flexibles de fuelle Helicoidales (f)*
- *Acoplamientos flexibles de Quijadas de Goma (g)*
- *Acoplamientos flexibles Direccionales de tipo Falk (h)*

- *Acoplamientos flexibles de Cadenas (i)*
- *Acoplamientos flexibles de Engrane (j)*
- *Acoplamientos flexibles de fuelle metálico (k)*

**Acoplamientos especiales o articulados**

- *Junta eslabonada de desplazamiento lateral. (l)*
- *Junta universal (m)*

**FIGURA N° 19**  
**ACOPLAMIENTOS RÍGIDOS, ELÁSTICOS Y ESPECIALES**



**Fuente:** Piovan Marcelo, Proyecto de Elementos de Acoplamiento  
**Elaboración:** Tesistas

**1.6.5 Mecanismo de elevación de Rueda Hidráulica**

Para el diseño del tornillo de potencia se deben obtener algunos parámetros principales como son el diámetro exterior  $D$ , el paso de la rosca  $p$  y los coeficientes de rozamiento  $\mu$ , tanto del tornillo como el del collarín así como su diámetro.

Si deseamos saber cuál es la fuerza necesaria para elevar y descender la rueda hidráulica se puede aplicar la siguiente ecuación

$$Fa = (H.A.K) + W \qquad \text{Ec. 1. 76}$$

$$Fd = (H.A.K) - W \quad \text{Ec. 1. 77}$$

$F(Tn)$  : Fuerza necesaria en el ascenso y descenso

$H(m)$  : Altura del agua

$A(m^2)$  : Área de choque

$K$  : coeficiente de rozamiento

$W(Tn)$ : Peso de la Rueda Hidráulica

Con estos valores se determina el diámetro de raíz con la siguiente expresión:

$$d = D - 2p \quad \text{Ec. 1. 78}$$

Luego se determina el diámetro medio con la siguiente expresión:

$$dm = \frac{D+d}{2} \quad \text{Ec. 1. 79}$$

Para la profundidad de la rosca

$$P = D - dm \quad \text{Ec. 1. 80}$$

Para el avance

$$L = n.p \quad \text{Ec. 1. 81}$$

Una vez que se han obtenidos estos datos se procede a calcular el torque de elevación y descenso de la carga.

$$T_s = \frac{F.Dm}{2} \left( \frac{l + \pi\mu.Dm}{\pi.Dm - \mu.l} \right) + F.\mu c \frac{d_c}{2} \quad \text{Ec. 1. 82}$$

$$T_b = \frac{F.Dm}{2} \left( \frac{l - \pi D_m \cdot \mu}{\pi.Dm + \mu.l} \right) + F.\mu c \frac{d_c}{2} \quad \text{Ec. 1. 83}$$

Para el cálculo se asume un coeficiente de rozamiento, entre el filete del tornillo y la tuerca  $\mu$ ,  $\mu c$  de 0,15 se debe también obtener el diámetro de collarín.

Para obtener el ángulo de filete

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{l}{\pi.dm} \right) \quad \text{Ec. 1. 84}$$

Con este valor se podemos determinar si el tornillo es auto asegurante, con el objetivo que no descienda sin haberle aplicado el torque necesario, que comprobamos con la expresión siguiente.

$$\mu > \tan\lambda \quad \text{Ec. 1. 85}$$

## 1.7 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

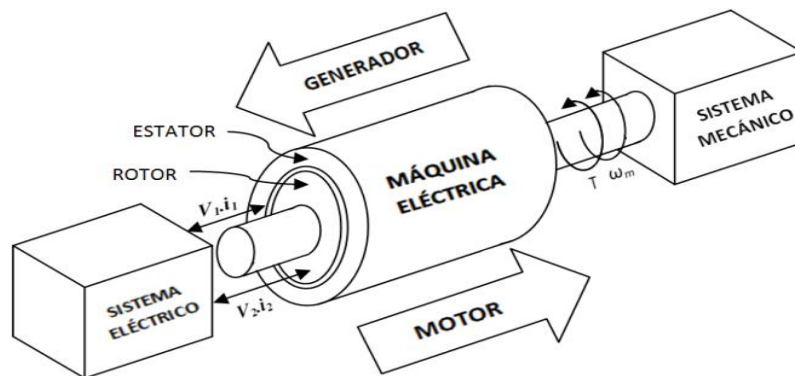
### 1.7.1 Generadores

El principio general de funcionamiento de los generadores se encuentra en el movimiento relativo y la interacción de un lazo conductor y un campo magnético.

**CHAPMAN S.(2005)** Dice “El elemento del generador que produce el campo magnético se denomina Inductor, y otro componente, en el cual se origina la energía eléctrica que será entregada a la red es el Inducido”.(pág. 89)

En la (fig. 20), se puede observar el principio general de un motor y en sentido inverso un generador y sus partes constitutivas con los sistemas que lo conforman. Existen generadores de AC y generadores de DC, los de DC son poco utilizados o en casos especiales de generación.

**FIGURA N° 20**  
**MÁQUINA ELÉCTRICA COMO CONVERTIDOR DE ENERGÍA**



**Fuente:** Chapman S. J. “Máquinas Eléctricas”  
**Elaboración:** Tesistas

### 1.7.2 Clasificación de los Generadores

#### 1.7.2.1 Generador Síncronico

Las máquinas síncronicas son por definición "síncronicas", lo cual significa que la frecuencia eléctrica producida está relacionada con la velocidad angular mecánica del rotor, la misma que permanece invariable y origina en la corriente alterna la

frecuencia síncrona normalizada, en donde la velocidad rotativa está dada por la máquina hidráulica (turbina).

1. Frecuencias síncronas normalizadas: 50Hz y 60Hz.
2. Velocidad síncrona deducible de la frecuencia y el número de polos de la máquina.

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \quad \text{Ec. 1. 86}$$

$N_s$  : Velocidad síncrona (rpm)

$f$  : Frecuencia (Hz)

$p$  : Número de polos

**TABLA N° 4**  
**VELOCIDAD DE GIRO DEL GENERADOR SÍNCRONO**

FRECUENCIA (Hz)	POLOS	VELOCIDAD SÍNCRONA (rpm)
<b>50</b>	2	3000
	4	1500
	6	1000
	8	750
	10	600
	12	500
<b>60</b>	2	3600
	4	1800
	6	1200
	8	900
	10	720
	12	600

**Fuente:** ITDG, Manual de Mini y Micro Centrales Hidroeléctricas

**Elaboración:** Tesisistas

### **1.7.2.2 Generador de Inducción**

Llamado también como motor como generador, es una alternativa utilizada pero que por su fabricación como motor, no posee la característica de un generador que permita generar debido a esto se adiciona un puente de condensadores para su funcionamiento además debe de ser suministrado una corriente para que funcione, ya que no tiene autoexcitación en el rotor además se debe realizar cálculos para los condensadores sean los adecuados.

Se utiliza con pequeñas potencias, hasta 10Kw, es una alternativa por su bajo costo.

### 1.7.2.3 *Generador de Imanes Permanentes*

Se entiende por generador de imanes permanentes aquellos generadores sincrónicos sin escobillas, con flujo radial o axial, con enrollados concentrados o distribuidos, control de corriente sinusoidal o rectangular, con rotores de imanes interiores o exteriores.

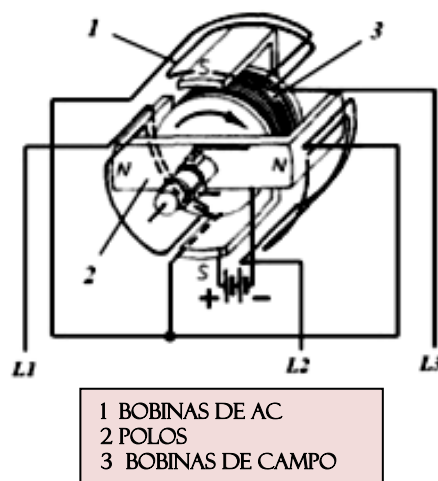
### 1.7.2.4 *Alternador Automotriz.*

Al igual que un dinamo, es un generador de corriente que transforma la energía mecánica que recibe en su árbol en energía eléctrica que se recoge en sus bornes. Alimentado con corriente continua procedente del mismo generador a través de dos anillos rozantes situados en el eje del rotor (fig. 21).

Es otra alternativa, especialmente para cargar baterías, ya que posee un equipo rectificador en su interior, la corriente a la salida es continua.

Para su utilización se debe obtener datos de corriente y realizar algunas pruebas de velocidad a las que funcione la máquina.

**FIGURA N° 21  
FUNDAMENTO DEL ALTERNADOR**



**Fuente:** Curso de Electricidad del Automóvil

**Elaboración:** Tesistas

## 1.8 ELEMENTOS DE CONTROL Y LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

### 1.8.1 Protecciones del Sistema de Generación

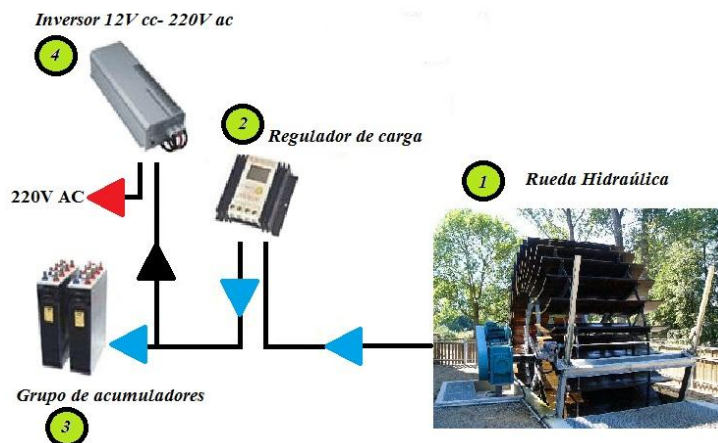
#### 1.8.1.1 Reguladores de Carga

Se encargan de mantener constante el voltaje de trabajo, evitan las subidas y bajadas de voltaje que pueden dañar a los artefactos o equipos de los usuarios.

Los reguladores pueden ser de velocidad (electromecánicos/oleohidráulicos) o de carga.

Los reguladores electrónicos son los más utilizados por su bajo costo, fácil operación y mantenimiento. Se observa en la (fig. 22) (2)

FIGURA N° 22  
ESQUEMA CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN



Fuente: <http://www.grupoerxis.com/?Galer%EDa&pic=1&page=0>

Elaboración: Tesistas

#### 1.8.1.2 Tableros de Control

Los tableros de control son las cajas metálicas que contienen los instrumentos de medición y control como son: voltímetro, amperímetro, medidor de frecuencia y medidor de potencia y energía, además el cableado de interconexión.

Sirven para evitar el contacto con las personas, con las partes con tensión e impedir el ingreso de polvo, humedad y cuerpos extraños impidiendo el normal funcionamiento del sistema.(fig. 23).

**FIGURA N° 23**  
**TABLERO DE CONTROL EN RUEDA HIDRAULICA**



Fuente: <http://www.impler.de/wasserraeder/erzeugung-regenerativer-energie.html>

Elaboración: Tesistas

### **1.8.2 Baterías**

Para la aplicación que se pretende dar al sistema eléctrico del prototipo no es posible la utilización de baterías comunes, por ejemplo las utilizadas en automóviles.

Las baterías fabricadas especialmente para trabajar con energías renovables, tienen sistemas capaces de soportar descargas profundas, extendiendo la vida útil de la misma.

El acumulador plomo-ácido parece ser una alternativa atractiva, pero ésta produce hidrógeno y ácidos corrosivos al momento de cargarla, por lo tanto necesitan ser instaladas en un lugar bien ventilado y protegido de posibles derrames.

Otra alternativa resulta ser el uso de acumuladores de níquel-cadmio, los cuales pueden soportar una mayor cantidad de descargas profundas, pero pueden almacenar una menor cantidad de energía que las de plomo-ácido, además son más escasas.

Por otro lado se tienen los acumuladores sellados y particularmente los cuales su electrolito es un gel. Estos presentan la gran ventaja de que no necesitan mantención y tienen una mayor libertad para las características del lugar donde van a ser instalados. Al ser sellados no presentan derrames y pueden ser transportados fácilmente. Además, gracias a su diseño, se pueden cargar más

rápido que los acumuladores convencionales de plomo ácido y soportan temperaturas más bajas de operación, pudiendo llegar a congelarse.

Los acumuladores sellados son muy usados en energías renovables, pero presentan el inconveniente de ser más costosos. Típicamente además almacenan menos energía y tienen una esperanza de vida menor que los de plomo-ácido.

### **1.8.3 Inversores DC - AC**

Los inversores son sistemas que permiten generar tensión en corriente alterna, a una frecuencia fija o variable, a partir de una fuente continua.

#### **1.8.3.1 Aplicaciones:**

- **Sistemas autónomos:** Aquellos que obtienen su energía a partir de baterías.
- **Fuentes de alimentación ininterrumpida (UPS).** Genera una tensión senoidal a partir de una batería con el fin de sustituir a la red cuando se ha producido un corte en el suministro eléctrico.
- **Control de velocidad de motores AC.** La alimentación se obtiene a partir de la tensión de red, obteniendo una etapa intermedia de tensión continua. A continuación se coloca el inversor para variar la velocidad del motor.

#### **1.8.3.2 Clasificación de Inversores**

Se clasifican en dos tipos básicos según la técnica de conmutación que se utilice: de conmutación externa y los de auto conmutación.

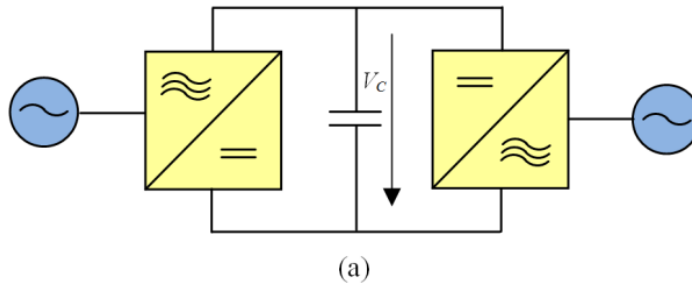
**Los inversores de conmutación externa.**-Son aquellos en los cuales la energía necesaria para apagar los SCR la suministra una fuente de potencia externa. Es llamado también inversor de conmutación de carga.

Si no es posible contar con una fuente externa que suministre la tensión inversa necesaria para apagar el SCR se debe utilizar entonces un inversor de auto-conmutación.

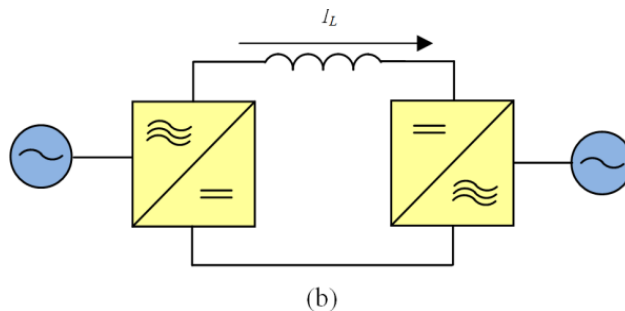
Este es un inversor en el cual los SCR activos han sido apagados con energía almacenada en un condensador cuando otro SCR ha sido encendido.

**Los inversores de auto-conmutación.-** Existen 2 principales que son los inversores con fuente de tensión y los de fuente de corriente (fig. 24), estos inversores son los más sencillos.

**FIGURA N° 24**  
**INVERSORES:**  
**(a) FUENTE DE TENSIÓN (VSI).**



**(b) FUENTE DE CORRIENTE (CSI)**



**Fuente:** EPSE, Electrónica de Potencia, Inversores  
**Elaboración:** Tesistas

Según la frecuencia necesaria son utilizados:

- Inversores de baja frecuencia (onda cuadrada).
- Inversores de alta frecuencia (modulación por anchura de pulsos).

Otros tipos de inversores para mayor potencia pueden utilizar otros tipos de elementos como son los siguientes.

- Inversores de transistores bipolares.
- Inversores de MOSFET's.
- Inversores de IGBT's.
- Inversores de tiristores.
- Inversores de GTO's.

### **1.8.3.3 Inversores comerciales**

En el mercado existe una variada cantidad de inversores, listos para su conexión y uso en aplicaciones de artefactos domésticos hasta industriales. El precio de estos equipos se ve incrementado a medida que se buscan inversores de mayor potencia. En la práctica, a la hora de escoger un inversor el primer aspecto a considerar es el voltaje del sistema de corriente continua.

Comúnmente el estándar es para valores de 12, 24 y 48 Volts.

Los inversores de onda sinusoidal modificada son menos costosos que los de onda sinusoidal pura y pueden ser utilizados en muchas aplicaciones que no necesitan tanta exactitud en la forma de la señal, como por ejemplo algunos televisores, luces, herramientas y computadores.

Si se necesita utilizar elementos que necesiten de una alimentación de fidelidad, es el inversor de onda sinusoidal pura el que debe ser adquirido.

Luego de dar por superadas las interrogantes anteriores, los últimos criterios a la hora de escoger el inversor serán la potencia nominal, la máxima potencia que el sistema puede generar, la amplitud del voltaje, fases, la frecuencia y la eficiencia.

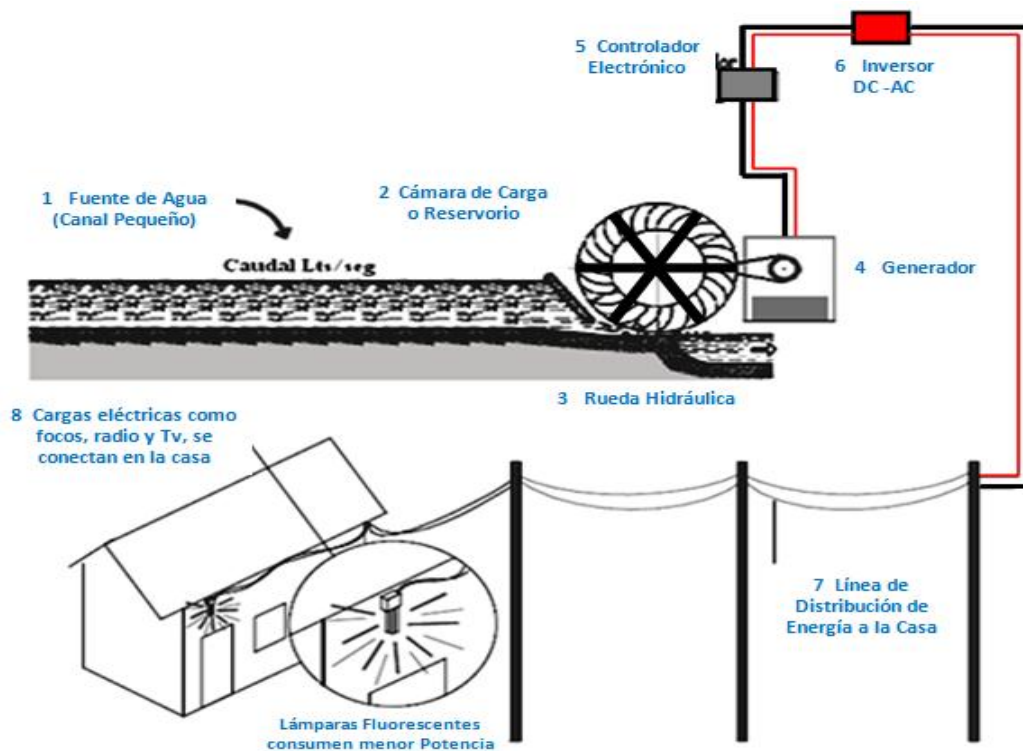
### **1.8.4 Línea de Distribución Eléctrica**

La energía generada deberá transmitirse mediante una red de baja tensión, desde el tablero hacia el lugar de consumo, será necesario tender una línea de distribución al voltaje apropiado para generar las menores pérdidas.

Debe también equiparse los correspondientes elementos de maniobra, de puesta a tierra y de protección. Una vez que sabemos la Potencia generada se procede a realizar el cálculo respectivo para la selección del conductor adecuado.

Para transmitir la energía generada se puede hacer uso de postes de madera con los respectivos accesorios para transportar la electricidad hasta la hostería como se observa en la (fig. 25) (7)

**FIGURA N° 25**  
**FUNCIONAMIENTO DE UNA PICOGENERADORA CON RUEDA**  
**HIDRÁULICA**



Fuente: <http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/docs/ImpspanCh1-6.pdf>

Elaboración: Tesistas

## 1.9 OBRAS CIVILES

### 1.9.1 Cimentaciones

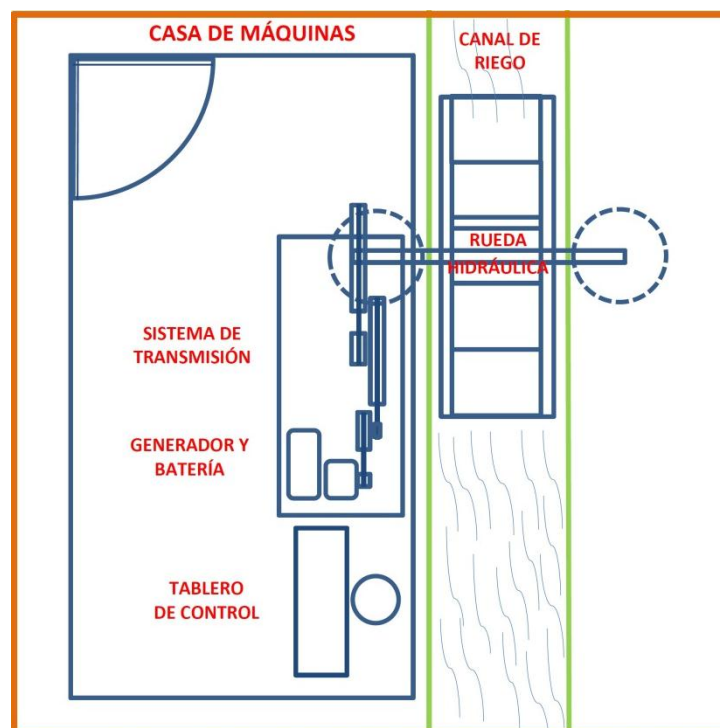
Las bases sobre las cuales se apoya el equipo electromecánico constituyen los cimientos.

Para la colocación de una rueda hidráulica es necesaria unos soportes donde se apoye la rueda, no es necesario colocar rejillas, ni otros elementos ya que los álabes de la rueda no sufren daños por arena, pequeñas piedras o algún otro elemento extraño que se encuentre en el agua, ya que por tener álabes de gran dimensión el mantenimiento no es dificultoso, por lo cual es necesario un buen canal y las bases deben transmitir las cargas al terreno y aislarlo de los agentes destructivos como el agua, lodos, etc., y resistir su propio deterioro.

## 1.9.2 Casa de Máquinas

Por las dimensiones de la rueda hidráulica se puede realizar una pequeña estructura que sirva como casa de máquinas la cual cubrirá de alguna manera los elementos electromecánicos de las agresiones climáticas a su vez se debe realizar una protección adecuada de la estructura de la rueda con capas de pintura para que tener mayor vida útil.

**FIGURA N° 26**  
**CASA DE MÁQUINAS DE UNA PICOGENERADORA**



Fuente: [www.unesco.org.uy/phi/libros/microcentrales/csuarez](http://www.unesco.org.uy/phi/libros/microcentrales/csuarez)

Elaboración: Tesistas

Para el área de la casa de máquinas, en el caso de las picocentrales hidroeléctrica se establece una estandarización de dimensiones de acuerdo a rangos de potencias:

5 a 30 (kW)

3,00 (m) a 4,50 (m)