



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

## **ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

### **CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL**

#### **TEMA:**

“DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA CARLOS MORA  
CARRIÓN DE LA EERSSA”

**INFORME TÉCNICO PREVIO A OPTAR POR EL  
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD Y  
CONTROL INDUSTRIAL**

#### **AUTOR**

*Rómulo Efrén Quezada Cobos*

#### **DIRECTOR**

*Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa*

**LOJA - ECUADOR**

**2013**

# CERTIFICACIÓN

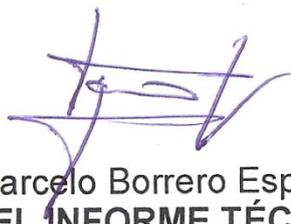
Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa,

**DOCENTE DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA; Y DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.**

## CERTIFICA:

Que el trabajo de investigación titulado ***“DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CARLOS MORA CARRIÓN DE LA EERSSA”***, desarrollado por el señor **Rómulo Efrén Quezada Cobos**, previo a optar el Título de ***Tecnólogo en Electricidad y Control Industrial***, ha sido realizado bajo mi dirección, mismo que cumple con los requisitos exigidos en las normas de graduación, por lo que autorizo su presentación ante el tribunal.

Loja, 12 de Agosto del 2013



Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa  
**DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.**

# AUTORÍA

Yo **RÓMULO EFRÉN QUEZADA COBOS**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo práctico en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Autor:** RÓMULO EFRÉN QUEZADA COBOS

**Firma:** 

**Cédula:** 1900290071

**Fecha:** 12/08/2013

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo **RÓMULO EFRÉN QUEZADA COBOS**, declaro ser autor de la tesis titulada: **DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CARLOS MORA CARRIÓN DE LA EERSSA**, como requisito para optar al grado de: **Tecnólogo en Electricidad y Control Industrial**; autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI; en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenido la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 22 días del mes de enero del dos mil catorce, firma el autor.



**Firma:**

**Autor:** Rómulo Efrén Quezada Cobos

**Cedula:** 1900290071

**Dirección:** Las Pitas

**Coreo:** romuloquezada@hotmail.com

**Teléfono:** 072 615702

**Celular:** 0994078589

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa.

**Tribunal de grado:** Ing. Jorge Luis Maldonado Correa. Mg. Sc.

Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera Mg. Sc

Ing. Norman Augusto Jiménez León

# **AGRADECIMIENTO**

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradecer hoy y siempre a mi familia por el esfuerzo realizado por ellos. El apoyo en mis estudios, de ser así no hubiese sido posible. A mis padres, esposa e hijos ya que me brindan el apoyo, la alegría y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Al Ing. Ramiro Borrero, por haberme dirigido este proyecto de fin de carrera, por todas las atenciones prestadas, por el tiempo dedicado a mi superación, y sobre todo por su apoyo.

Gracias a todos.

**RÓMULO E. QUEZADA C.**

## **DEDICATORIA**

*A Dios por haberme dado salud para lograr mis objetivos y la culminación de este proyecto, además de su infinita bondad y amor.*

*A mis padres por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.*

*A mi mujer e hijos por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, con sus muestras de amor, cariño y respeto.*

**RÓMULO E. QUEZADA C.**

## RESUMEN

Una Central Hidroeléctrica de Agua Fluyente o de Pasada, es aquella que aprovecha el desvío de parte del agua de un río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada para la generación eléctrica, finalmente el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río.

La central hidroeléctrica "Ing. Carlos Mora Carrión", es una central de pasada (no tiene represa o embalse); se ubica en el sector El Tambo de la parroquia Sabanilla, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, a 32 Km. de la ciudad de Loja.

La Central hidroeléctrica utiliza las aguas de los ríos San Francisco y San Ramón mediante conducciones independientes, hasta los tanques de presión correspondientes, incluyendo las aguas de las quebradas Zurita, Durazno y Milagros.

La Central está conformada por tres unidades hidroeléctricas, dos turbinas tipo Pelton de 600 KW cada una y una tipo Francis de 1.200 KW, que están operando desde hace aproximadamente 57, 52 y 46 años, respectivamente, con una producción de energía media anual de 17,5 GWh.

El caudal necesario para generar 2.400 kW que es la potencia máxima de la central es de 2,16 m<sup>3</sup>/s.

## SUMMARY

A Hydroelectric Plant of flowing water or in passing, is one that takes advantage of the diversion of part of the water of a river through a socket, and through channels or pipes leading to the main center where it will be turbine for power generation, finally the water diverted is returned again to the river.

The hydroelectric power station "Ing. Carlos Mora Carrión ", it is a passing power station (he/she doesn't have it dams or dam); it is located in the sector The Tambo of the parish Small sheet, canton Zamora, county of Zamora Chinchipe, to 32 Km. of the city of Loja.

The hydroelectric Power station uses the waters of the rivers San Francisco and San Ramón by means of independent conductions, until the corresponding tanks of pressure, including the waters of the gulches Zurita, Durazno y Milagros.

The Power station is conformed by three hydroelectric units, two turbines type Pelton of 600 KW each an and a type Francis of 1.200 KW that you/they are operating for approximately 57, 52 and 46 years, respectively, with a production of annual half energy of 17, 5 GWh.

The necessary flow to generate 2.400 kW that is the maximum power of the power station is of 2, 16 m<sup>3</sup>/s.

# ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN.....	vii
SUMMARY.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD.....	4
2.1. ENERGÍA HIDRÁULICA.....	5
2.2. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	5
2.2.1. Clasificación de las Centrales.....	6
2.2.2. Aspectos Básicos de una Central Hidroeléctrica.....	8
2.2.2.1. Potencia instalada $P_{inst}$ .....	8
2.2.2.2. Energía producida y horas equivalentes $h_e$ .....	9
2.2.2.3. Nivel y Cota.....	11
2.2.2.4. Altura del salto de agua $H$ .....	12
2.2.2.5. Caudal.....	13

2.2.2.6. Cálculo de la energía anual en función de $Q_e$ .....	15
2.2.3. Componentes Principales de una Central Hidroeléctrica .....	17
2.3. CENTRAL DE AGUA FLUYENTE .....	19
2.3.1. Azud.....	21
2.3.2. Toma de Agua o Bocatoma.....	24
2.3.3. Aliviadero.....	25
2.3.4. Desarenador y Cámara de carga.....	26
2.3.5. Canal de conducción.....	27
2.3.6. Chimenea de equilibrio .....	29
2.3.7. Válvulas.....	31
2.3.8. Distribuidor Fink.....	32
2.3.9. Tubería forzada.....	34
2.3.9.1. <i>Materiales empleados en la tubería forzada</i> .....	36
2.3.10. Edificio central o Casa de Máquinas.....	40
2.3.11. Turbina .....	40
2.3.11.2. <i>Turbinas de reacción</i> .....	42
2.3.11.3. <i>Tipos de turbinas</i> .....	43
2.3.11.4. <i>Turbinas Pelton</i> .....	43
2.3.11.5. <i>Turbinas Francis</i> .....	45
2.3.11.6. <i>Turbinas Kaplan y semi-Kaplan</i> .....	48
2.3.12. Generadores.....	50

2.3.13. Sala de Control.....	52
2.3.14. Equipos Auxiliares .....	53
2.3.15. Canal de descarga .....	53
2.3.16. Subestación y línea eléctrica .....	54
<b>III. MATERIALES.....</b>	<b>55</b>
3.1. MATERIALES PARA RECONOCIMIENTO DE INSTALACIONES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “CARLOS MORA CARRIÓN” .....	56
<b>IV. PROCESO METODOLÓGICO EMPLEADO.....</b>	<b>57</b>
4.1. PROCEDIMIENTO .....	58
<b>V. RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
5.1. CENTRAL HIDROELÉCTRICA “Ing. Carlos Mora C.”.....	60
5.1.1. Características principales.....	61
5.1.2. Características de las Obras Civiles. ....	61
5.2. AZUD.....	63
5.3. BOCATOMA.....	64
5.3.1. Captación y Túnel Zurita.....	64
5.3.2. Captación de Quebrada Durazno con Acueducto. ....	64
5.3.3. Captación del río San Francisco. ....	64
5.3.4. Captación Quebrada Milagros. ....	66
5.3.5. Captación del río San Ramón.....	66
5.4. ALIVIADEROS.....	67

5.5.	CANAL DE CONDUCCIÓN .....	68
5.5.1.	Conducción Principal de San Francisco.....	68
5.5.2.	Conducción del río San Ramón. ....	69
5.5.3.	Túnel San Francisco.....	70
5.5.4.	Desarenador.....	71
5.6.	TANQUES DE PRESIÓN. ....	72
5.7.	TUBERÍAS DE PRESIÓN.....	74
5.8.	CASA DE MÁQUINAS.....	75
5.8.1.	Turbinas .....	77
5.8.2.	Transformadores .....	80
5.9.	SUBESTACIÓN CARLOS MORA.....	81
5.10.	Edificios de Campamentos, Casa de Guardián, Auditorio y Bodega.....	82
5.11.	TELEFÉRICO .....	82
5.12.	OBRAS AUXILIARES. ....	84
5.12.1.	Sistema Auxiliar de Corriente Continua .....	84
5.12.1.1.	Cargador de Baterías.....	84
5.12.1.2.	Características generales del cargador y banco de baterías.....	85
5.12.2.	Generación de desechos líquidos y descargas líquidas.....	87
5.12.3.	Gestión de Desechos Sólidos.....	89
5.12.4.	Seguridad Industrial y Salud Ocupacional. ....	90
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>

<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>100</b>
<b>IX. ANEXOS.....</b>	<b>105</b>
DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN “CARLOS MORA CARRIÓN” .....	106
FOTOS DEL SISTEMA SCADA .....	108
PROYECTO.....	112

**“DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO  
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
CARLOS MORA CARRIÓN DE LA  
EERSSA”**

# I. INTRODUCCIÓN

La superficie terrestre está cubierta en un 71% de agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol, calientan la superficie terrestre, ríos, lagos y océanos, provocando la evaporación del agua. El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve. Una parte de la energía solar permanece almacenada en el agua de los ríos, los lagos y los glaciares.

Las centrales y minicentrales hidroeléctricas transforman esa energía en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, ésta activa el generador, que transforma en un segundo paso la energía mecánica en energía eléctrica. De ahí que la energía hidroeléctrica es una de las más rentables, aunque el costo inicial de construcción es elevado

La central hidroeléctrica “San Francisco” (Carlos Mora Carrión), perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional del Sur S. A. (EERSSA), ubicada en el kilómetro 32 de la vía Loja – Zamora, actualmente es una planta de generación de energía eléctrica que aprovecha el caudal de agua y un desnivel para dicho proceso.

La Central está conformada por tres unidades hidroeléctricas (dos turbinas tipo Pelton de 600kW cada una y una tipo Francis de 1200kW), que están operando desde hace aproximadamente 57, 52 y 46 años, respectivamente.

Información que motiva a plantearse el objetivo principal del presente proyecto investigativo:

❖ ***Cómo funciona y en qué estado se encuentra la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión” en la actualidad.***

Objetivo que se desea cumplir dando respuesta a las siguientes interrogantes, mismas que a la vez fungen de objetivos específicos:

- *¿Cómo funciona una Central Hidroeléctrica?*
- *¿Qué partes constituyen una Central Hidroeléctrica?*
- *¿Qué parámetros se consideran para instalar una Central Hidroeléctrica?*
- *¿Qué importancia tiene la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión” en la región sur del Ecuador (Loja y Zamora Chinchipe)?*
- *¿Cuáles son las características técnicas de los equipos de generación de la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión”?*
- *¿Cuáles son los planes de mantenimiento con los que cuenta la EERSSA para la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión”?*
- *¿Cuáles son las condiciones actuales de las instalaciones y equipos de la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión”?*

## **II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD**

## 2.1. ENERGÍA HIDRÁULICA

Se denomina energía hidráulica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde.



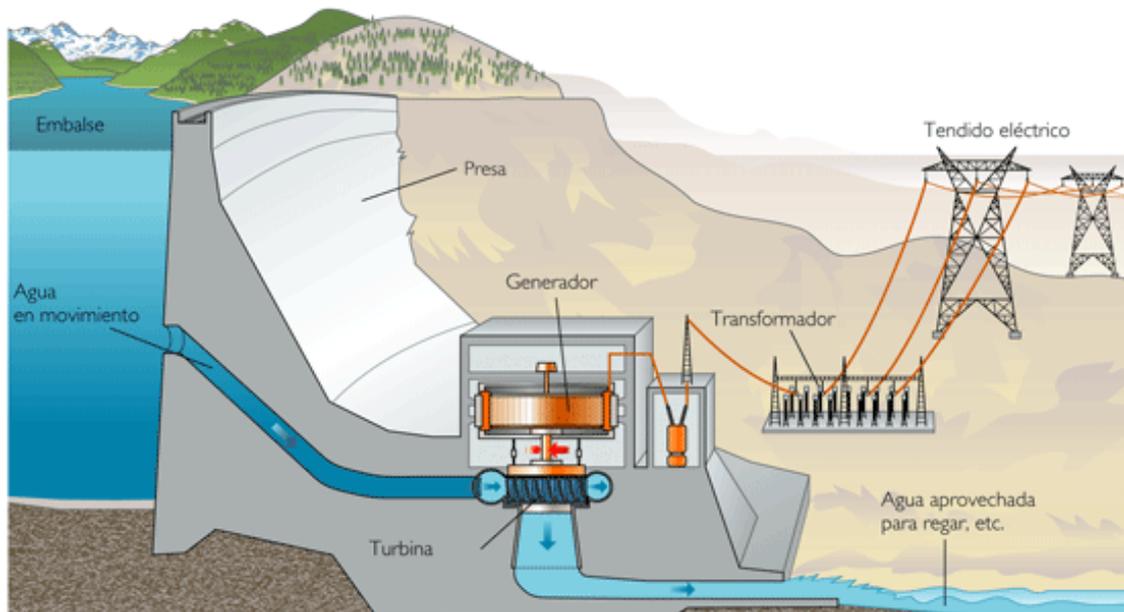
**Figura 2.1.** Esquema de energía hidráulica

Una masa de agua situada a una determinada altura posee una energía potencial igual al producto de  $mgh.$ , que se transforma en energía cinética al dejarla caer libremente ( $1/2 mv^2$ ). Pues bien, se entiende como energía hidráulica la energía asociada a las corrientes o saltos de agua, siendo las centrales hidroeléctricas las encargadas de aprovechar esta energía y transformarla en energía eléctrica. [1]

## 2.2. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que permiten aprovechar la energía potencial gravitatoria contenida en la masa de agua que transportan los ríos para convertirla en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a

alternadores. Se trata de un proceso que permite un alto nivel de eficiencia energética, ya que se pueden alcanzar grados de eficiencia de hasta un 90%.



**Figura 2.2.** Estructura de una Central Hidroeléctrica

Las turbinas hidráulicas son accionadas por el agua como consecuencia de la energía cinética o a la de presión que ha desarrollado en su descenso. Anteriormente, el agua es retenida, encauzada y controlada.

Estas centrales suelen ubicarse lejos de los grandes centros de consumo y el lugar de asentamiento de las mismas está condicionado por las características del terreno.

### **2.2.1. Clasificación de las Centrales**

Son varios los argumentos que aportan datos para realizar una clasificación, suficientemente explícita, de las mismas en función de las 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 respectivamente:

- Centrales de agua fluente o de pasada
- Centrales de agua embalsada

A su vez, y dentro de las centrales de agua embalsada tenemos las:

- Centrales de regulación
- Centrales de bombeo

Así mismo y en relación con la altura del salto de agua existente, o desnivel, están las:

- Centrales de alta presión
- Centrales de media presión
- Centrales de baja presión

Según la potencia instalada, las centrales hidroeléctricas pueden ser:

- **Centrales hidráulicas de gran potencia:** más de 10MW de potencia eléctrica.
- **Minicentrales hidráulicas:** entre 1MW y 10MW.
- **Microcentrales hidroeléctricas:** menos de 1MW de potencia.

Otra consideración a tener en cuenta en la clasificación también es por el servicio que prestan, teniendo:

Centrales de base

Centrales de punta

Centrales de reserva

## 2.2.2. Aspectos Básicos de una Central Hidroeléctrica

### 2.2.2.1. Potencia instalada $P_{inst}$

La potencia instalada  $P_{inst}$  (también denominada potencia útil nominal) de la central hidroeléctrica puede ser obtenida a partir de: [3]

$$P_{inst} = \gamma * Q_e * H_n * \eta_t * \eta_m * \eta_g * \eta_{tr}; \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

$P_{inst}$ : Potencia instalada o potencia útil nominal [kW]

$\gamma$ : Peso específico del agua (9,81 kN/m<sup>3</sup>)

$Q_e$ : Caudal de equipamiento [m<sup>3</sup>/s]

$H_n$ : Salto neto [m]

$\eta_t$ : Rendimiento de la turbina

$\eta_m$ : Rendimiento del multiplicador

$\eta_g$ : Rendimiento del generador

$\eta_{tr}$ : Rendimiento del transformador

Para centrales hidroeléctricas se puede tomar, como primera aproximación, el producto de todos los rendimientos, comprendido entre 0,8 y 0,85. [3]

Si no se conocen las eficiencias reales de los elementos se puede considerar como una primera aproximación: [3]

$$P_{inst} = 8 * Q_e * H_n; \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Sin embargo, para un estudio en profundidad de la potencia generada para cada caudal, conviene tomar el valor exacto de los rendimientos.

Si en lugar de caudal de equipamiento  $Q_e$  se utiliza el caudal en un momento dado, la potencia corresponderá a la potencia instantánea.

#### **2.2.2.2. Energía producida y horas equivalentes $h_e$**

La energía producida se obtiene del producto de la potencia generada por el número de horas en las que el generador trabaja a esa potencia. [3]

Una central hidroeléctrica se puede caracterizar por el número de horas equivalentes  $h_e$ . Este número se obtiene del cociente entre la energía anual producida por la central y su potencia nominal. [3]

Atendiendo al número de horas equivalentes, las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar en: centrales base, con un número de horas equivalentes en torno a 5000 horas; centrales semipunta, con un número de horas equivalentes en torno a 3000 horas; y centrales punta, con un número de horas equivalentes en torno a 2000 horas o menos. [3]

Otro concepto similar es el factor de carga  $f$ , que determina el porcentaje entre el número de horas equivalentes frente a las 8760 h que tiene un año de 365 días. [3]

$$h_e = \frac{E_{anual}}{P_{nominal}}; \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$f_c = \frac{h_e}{8760}; \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

$h_e$ : Número de horas equivalentes [h]

$E_{anual}$ : Energía generada anualmente [kWh]

$P_{nominal}$ : Potencia nominal de la instalación [kW]

$f_c$ : Factor de carga

Otra posible definición para el factor de carga se deduce de la particularidad de las centrales hidroeléctricas estacionales. Estas instalaciones trabajan a prácticamente plena potencia durante unos meses al año, quedando paradas durante el resto del tiempo. En este caso el factor de carga se puede calcular en relación con las horas de funcionamiento  $h_{fun}$ , menores de 8760 h. [3]

$$f_c = \frac{h_e}{h_{fun}}; \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Las horas equivalentes pueden servir de guía para saber si una central está bien dimensionada.

Es necesario determinar lo más ajustadamente posible la energía anual generada, ya que esto permitirá conocer con mayor precisión la rentabilidad de la inversión.

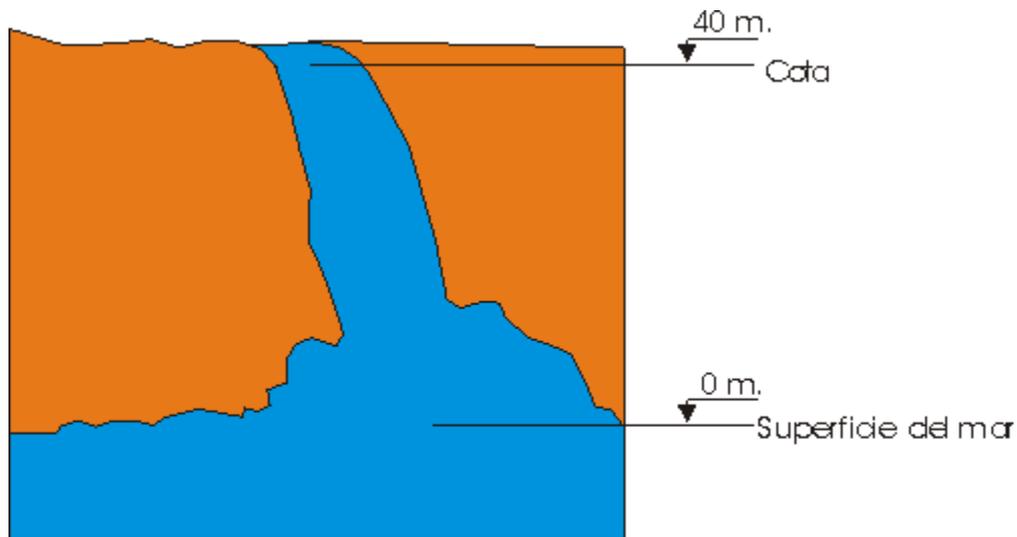
Para conocer con exactitud la energía anual que se espera generar es necesario obtener, en primer lugar, la potencia de generación para cada caudal a turbinar. Aquí hay que tener en cuenta que el rendimiento del generador también varía con la potencia transmitida por la turbina. Multiplicando la potencia por el número de horas que corresponde a cada caudal se obtiene la energía generada por este caudal. Sumando las energías calculadas se obtiene la energía total generada a lo largo del año.

Se puede obtener con gran fiabilidad la energía que se va a producir si se conocen las potencias instantáneas correspondientes a los diferentes caudales. Además hay que saber el número de horas en las que la central trabaja con la potencia dada.

### **2.2.2.3. Nivel y Cota**

Se denomina nivel a la horizontalidad de la superficie de un terreno, o la que logra la superficie libre de los líquidos. También se define como nivel a la altitud de aquellas superficies o de un punto cualquiera respecto de otro u otros puntos de referencia. [2]

Por cota se entiende el valor de la altura de una superficie o punto respecto del nivel del mar.



**Figura 2.3.** Ubicación del Nivel y Cota

#### **2.2.2.4. Altura del salto de agua $H$**

La potencia y la energía producida, son directamente proporcionales a la altura del salto de agua del aprovechamiento. Llamamos altura del salto de agua a la distancia vertical recorrida por una masa de agua desde un determinado nivel superior a otro inferior. [2]

Se distinguen cuatro tipos de saltos:

- Salto bruto ( $H_b$ )
- Salto útil ( $H_u$ )
- Pérdidas de carga ( $H_p$ )
- Salto neto ( $H_n$ )

La canalización del agua hasta la turbina se hace por acequias o canales y tuberías. En ambas se producen pérdidas debidas al rozamiento, que se

traducen en un salto real menor. Por esto, tanto canales como tuberías se deben dimensionar para que las pérdidas sean mínimas, siempre que no se encarezca mucho el precio de la instalación. [2]

Habitualmente, los canales o acequias se construyen de hormigón; en ellos la velocidad de circulación es del orden de 1,5 m/s y la pendiente del 0,5 al 1 por 1000. En el caso de utilizar tuberías, cuanto más lisa es la superficie interior del tubo, menores serán las pérdidas por rozamiento. Los tubos de canalización deben estar dimensionados para que las pérdidas de rozamiento sean inferiores al 4% del salto total disponible. [2]

#### **2.2.2.5. Caudal**

El caudal se define como el volumen de agua por unidad de tiempo que atraviesa una superficie. Sus unidades en el sistema internacional son  $[m^3/s]$ .

En general, el caudal de un aprovechamiento sufre grandes variaciones tanto estacionales como anuales.

Por este motivo es conveniente disponer del número de datos suficiente como para asegurar que se abarcan todos ellos. Debería disponerse de, al menos, un dato del caudal diario durante un periodo de 15 a 20 años, aunque esto dependerá de la cuenca concreta que se analice.

A partir de todos estos datos se obtienen:

- La curva de caudales medios diarios de un año tipo

- La curva de caudales medios clasificados, de esta curva se obtienen los siguientes caudales:

- Caudal máximo ( $Q_M$ )
- Caudal mínimo ( $Q_m$ )
- Caudal de servidumbre o ecológico ( $Q_{sr}$ )
- Caudal de equipamiento ( $Q_e$ )

$$Q_e = Q_{medio} - Q_{sr}; \quad \text{Ecuación 2.6}$$

- Caudal mínimo técnico ( $Q_{mt}$ )

$$Q_{mt} = k * Q_e; \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde el factor K es un factor que depende del tipo de turbina utilizada; generalmente, y si no se dispone de otros valores se pueden usar los siguientes:

**Tabla 2.1.** Valor de K en función del tipo de turbina.

Turbinas	K
Pelton	0,1
Flujo cruzado (Ossberger)	0,15
Kaplan	0,22
Semikaplan	0,35
Francis	0,35
Hélice	0,65

La curva de caudales del año más seco

### **2.2.2.6. Cálculo de la energía anual en función de $Q_e$**

El proceso es el siguiente:

- 1) En primer lugar debe hacerse el análisis de caudales con el cual se obtiene la curva de caudales medios clasificados.
- 2) A continuación se obtiene el salto neto.
- 3) A partir de estos datos se calcula la potencia instalada.
- 4) Con estos datos se puede elegir la o las turbinas adecuadas.
- 5) Cálculo de la energía.

La potencia de la central y, por lo tanto, la energía anual generada dependerá del caudal de equipamiento seleccionado. La selección de este caudal se realiza atendiendo a razones de rentabilidad económica.

1. Para obtener la curva de caudales medios clasificados, se organizan los datos de caudales medios diarios de mayor a menor.

Además de las curvas anteriores y para completar el informe de viabilidad, conviene identificar el año de menor caudal y el año de mayor caudal, y representarlo junto con el año medio.

2. Dado que tanto la potencia como la energía del aprovechamiento dependen directamente del salto neto  $H_n$ , es necesario realizar una estimación lo más precisa posible del mismo.

La pérdida de altura depende de los elementos utilizados en el transporte del agua, desde la obra de toma hasta la entrada a la turbina, y en los

casos en que la turbina es de reacción deben tenerse en cuenta las pérdidas en el tubo de aspiración de la misma. La pérdida de altura dependerá, por tanto, del dimensionamiento de estos elementos y del caudal que en cada momento circule por ellos.

Se plantean dos opciones:

- Considerar una pérdida de salto constante e independiente del caudal de equipamiento seleccionado.
  - Calcular las pérdidas para cada caudal analizado.
3. Para el cálculo de la energía anual es necesario conocer la potencia media diaria generada. Se calcula de manera análoga a la potencia instalada, pero en vez de  $Q_e$  se aplica el caudal medio diario obtenido en la curva de caudales medios clasificados. Además deberán tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

El caudal mínimo técnico de la turbina  $Q_{mt}$ : Por debajo de este caudal no se produce potencia.

4. Una vez conocida la potencia media diaria para cada uno de los días del año medio, el cálculo de la energía diaria se obtiene multiplicando dicha potencia por el número de horas durante las que se obtiene esta potencia, es decir, por 24 h. La energía anual será la suma de la energía producida durante los 365 días del año.

### 2.2.3. Componentes Principales de una Central Hidroeléctrica

- **La presa**

Es la que se encarga de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse. [4]

- **Rebosaderos**

Son elementos que permiten liberar parte del agua que es retenida sin que pase por la sala de máquinas. [4]

- **Destructores de energía**

Son elementos que se utilizan para evitar que la energía que posee el agua que cae desde los salientes de una presa de gran altura produzca, al chocar contra el suelo, grandes erosiones en el terreno. [4]

Básicamente encontramos dos tipos de destructores de energía:

- **Los dientes o prismas de cemento**, que provocan un aumento de la turbulencia y de los remolinos.
- **Los deflectores de salto de esquí**, que disipan la energía haciendo aumentar la fricción del agua con el aire y a través del choque con el colchón de agua que encuentra a su caída.

- **Sala de máquinas.**

Es una construcción donde se sitúan las máquinas (turbinas, alternadores...) y elementos de regulación y control de la central. [4]

- **Turbina.**

Elementos que transforman en energía mecánica la energía cinética de una corriente de agua. [4]

- **Alternador.**

Tipo de generador eléctrico destinado a transformar la energía mecánica en eléctrica. [4]

- **Conducciones.**

La alimentación del agua a las turbinas se hace a través de un sistema complejo de canalizaciones.

En el caso de los canales, se pueden realizar excavando el terreno o de forma artificial mediante estructuras de hormigón. Su construcción está siempre condicionada a las condiciones geográficas. Por eso, la mejor solución es construir un *túnel de carga*, aunque el coste de inversión sea más elevado.

La parte final del recorrido del agua desde la cámara de carga hasta las turbinas se realiza a través de una *tubería forzada*. Para la construcción de estas tuberías se utiliza acero para saltos de agua de hasta 2000m y hormigón para saltos de agua de 500m. [4]

- **Válvulas,**

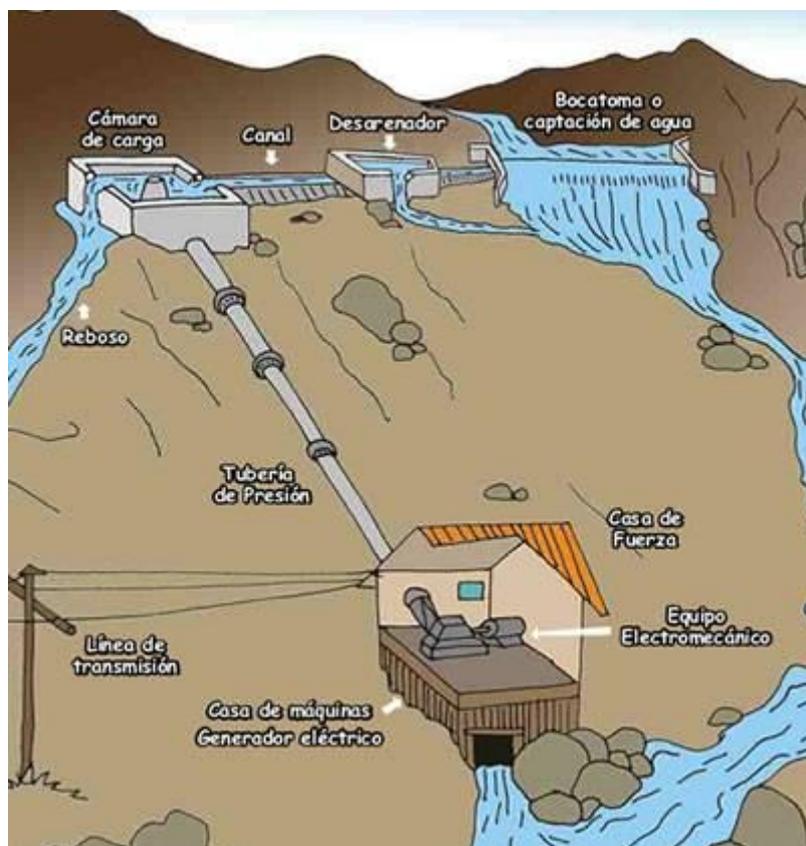
Son dispositivos que permiten controlar y regular la circulación del agua por las tuberías. [4]

- **Chimeneas de equilibrio:**

Son unos pozos de presión de las turbinas que se utilizan para evitar el llamado “*golpe de ariete*”, que se produce cuando hay un cambio repentino de presión debido a la apertura o cierre rápido de las válvulas en una instalación hidráulica. [4]

### 2.3. CENTRAL DE AGUA FLUYENTE

Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río. [16]



**Figura 2.4.** Esquema de una central hidroeléctrica de agua fluyente

Dependiendo del emplazamiento donde se sitúe la central será necesario la construcción de todos o sólo algunos de los siguientes elementos:

- Azud.

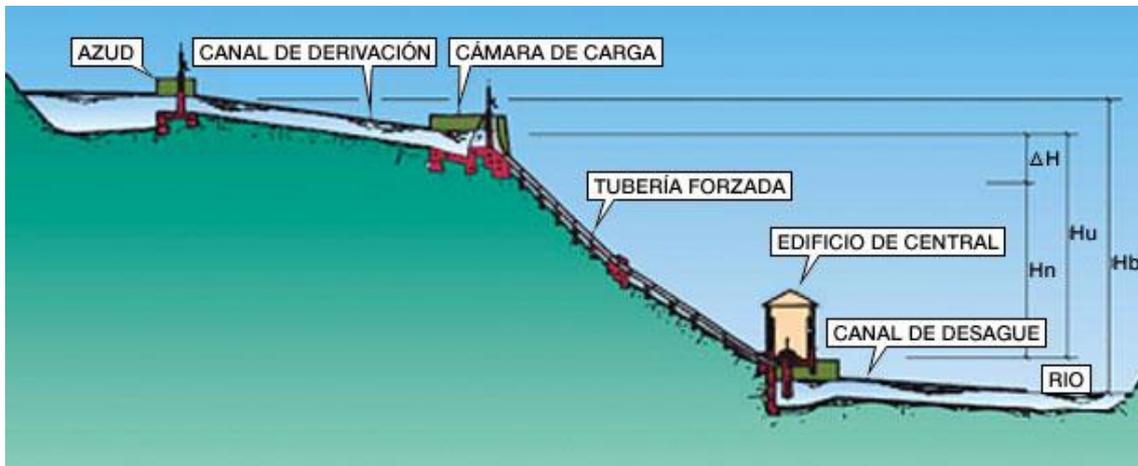
- Toma.
- Canal de derivación.
- Cámara de carga.
- Tubería forzada.
- Edificio central y equipamiento electro-mecánico.
- Canal de descarga.
- Subestación y línea eléctrica.

Dentro de este grupo hay diversas formas de realizar el proceso de generación de energía. La característica común a todas las centrales de agua fluyente es que dependen directamente de la hidrología, ya que no tienen capacidad de regulación del caudal turbinado y éste es muy variable.

Estas centrales cuentan con un salto útil prácticamente constante y su potencia depende directamente del caudal que pasa por el río. En algunos casos se construye una pequeña presa en la toma de agua para elevar el plano de ésta y facilitar su entrada al canal o tubería de derivación. El agua desviada se conduce hasta la cámara de carga, de donde sale la tubería forzada por la que pasa el agua para ser turbinada en el punto más bajo de la central.

Para que las pérdidas de carga sean pequeñas y poder mantener la altura hidráulica, los conductos por los que circula el agua desviada se construyen con pequeña pendiente, provocando que la velocidad de circulación del agua sea baja, puesto que la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad. Esto implica que en algunos casos, dependiendo de la orografía, la

mejor solución sea optar por construir un túnel, acortando el recorrido horizontal. [16]

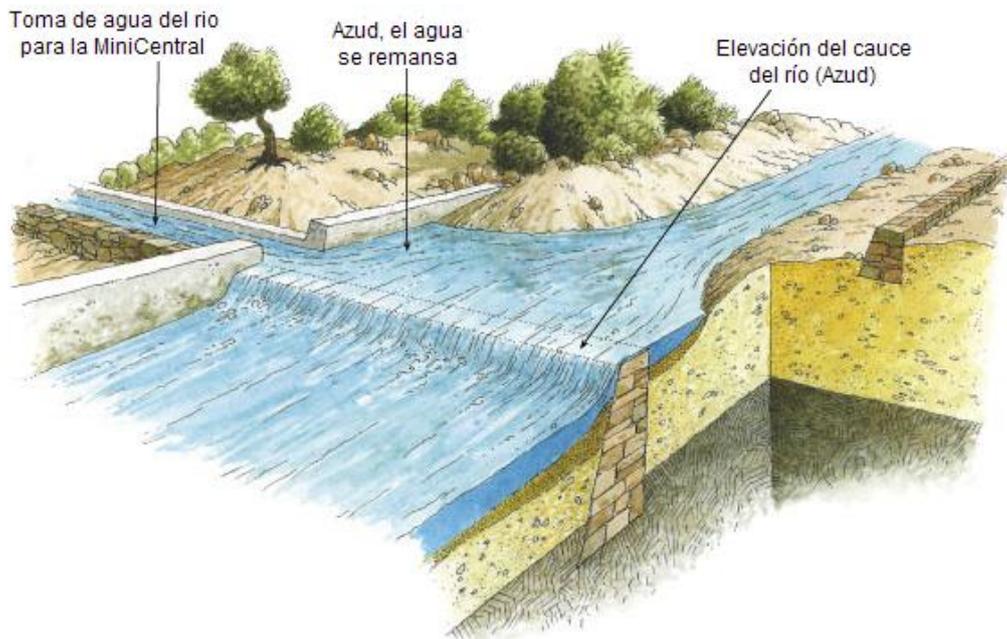


**Figura 2.5** Vista vertical de la estructura de una Central de Agua Fluyente

### 2.3.1. Azud.

Un azud es toda obra que se construye transversalmente en el cauce del río con el objeto de sobre elevar el nivel de las aguas para permitir su entrada (derivación) a una obra de conducción. [18]

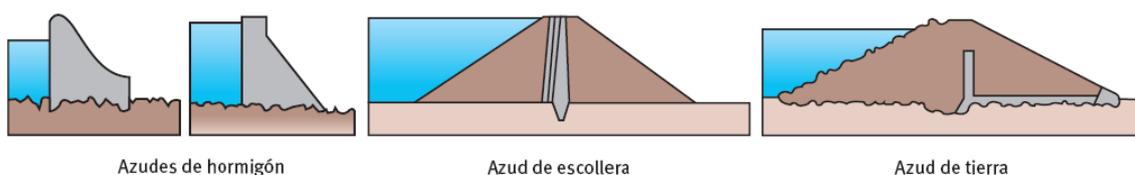
El azud se utiliza en minicentrales hidroeléctricas para crear un embalse artificial que garantice la captación del caudal mínimo necesario para la operación de la central y la producción de energía eléctrica. [18]



**Figura 2.6.** Ubicación del Azud en el cauce de un río

La mayor ventaja del azud es que actúa como un muro de gravedad para soportar el empuje hidrostático y al mismo tiempo tiene la función de vertedero de excedentes.

El azud puede construirse de hormigón, ladrillos, escollera o tierra, es de forma curvilínea para adaptarse a los principios de la mecánica de fluidos, de esta manera se minimiza el rozamiento del agua con la superficie del azud para evitar la erosión. Resiste al empuje del agua por su propio peso, aunque en los azudes de tierra y escollera se suele colocar un anclaje al terreno con el fin de aumentar su estabilidad. [18]

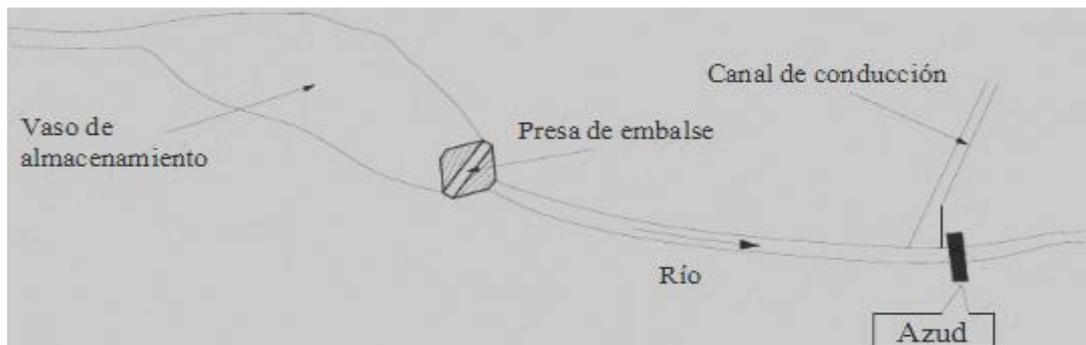


**Figuras 2.7.** Tipos de Azudes

El principal objeto del Azud, es exclusivamente la derivación de las aguas, y entre las diferencias principales entre un Azud y una Presa de Embalse se tienen:

AZUD	PRESA DE EMBALSE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño moderado.</li> <li>• No regula caudales.</li> <li>• No genera energía</li> <li>• Se ubica en terrenos llanos</li> <li>• Deriva solamente</li> <li>• Se funda según acarreo</li> <li>• Las crecidas pasan sobre la obra</li> <li>• Hay infiltraciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran tamaño.</li> <li>• Regula caudales.</li> <li>• Genera energía</li> <li>• Ubicada en la montaña</li> <li>• Almacena</li> <li>• Se funda en roca (impermeabilización)</li> <li>• Las crecidas evacuadas por el aliviadero</li> <li>• No hay infiltraciones</li> </ul>

La altura de un Azud se relaciona con su finalidad; sobre elevar el agua lo necesario para lograr el ingreso de la misma en la obra de toma. Como esta obra no embalsa agua, los caudales excedentes pasan sobre o a través de la obra. La finalidad principal es derivar agua. [18]



**Figura 2.8:** Esquema general de un aprovechamiento

Los azudes se pueden clasificar:

1. Por la constancia o variabilidad del remanso que producen (azudes fijo y móviles).
2. Atendiendo al terreno en que apoyan (azudes sobre terrenos permeables o sobre terrenos impermeables).
3. Por la naturaleza de los materiales que lo forman

### **2.3.2. Toma de Agua o Bocatoma.**

Las tomas de agua son construcciones adecuadas que tiene como función iniciar la circulación del agua hacia la cámara de equilibrio por medio del canal de derivación. Otra de sus funciones es la de impedir la introducción de materiales sólidos y flotantes (troncos, ramas, etc.), por medio de rejillas y desarenadores. Estas tomas además de poseer unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas también procuran proteger el sistema de posibles inundaciones que pueda sufrir el río mediante un aliviadero. [18]



**Figura 2.9.** *Ubicación de la toma de agua*

### **2.3.3. Aliviadero.**

Toda central corre el riesgo de sufrir desperfectos a causa de demasías o caudales superiores de los de diseño. Por este motivo en ninguna central debe faltar un aliviadero encargado de regular el nivel del agua y de ese modo proteger el sistema de los riesgos que puede sufrir. Estos aliviaderos van acompañados por unas compuertas de control que facilitan el desagüe del mismo o la detención del agua al canal. Debería disponerse de varios mecanismos para cortar el paso del agua ya que por la falta de uso de los mismos podría no funcionar en el momento necesario. [18]

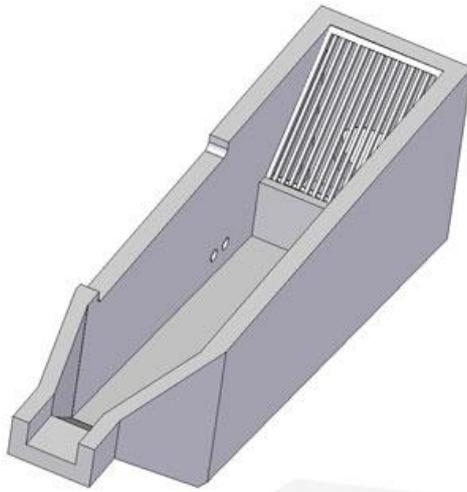


**Figura 2.10.** Aliviadero de una Central Hidroeléctrica de Pasada

#### **2.3.4. Desarenador y Cámara de carga**

El río lleva consigo ramas, piedras, y otros materiales sólidos, los cuales son retenidos en las rejillas de admisión, pero no las partículas de arena ni los materiales de menor tamaño que la abertura de la rejilla, por ello es necesario la colocación de un desarenador donde la velocidad de llegada por el canal de conducción se ralentiza para facilitar que dichos materiales que pueden ocasionar daños en los álabes de la turbina sean asentadas en el fondo del desarenador. [19]

El diseño de la cámara de carga es similar al del desarenador excepto por la sección de salida, que es reemplazada por la toma de la tubería de presión. En teoría, la capacidad de retención de sedimentos de la cámara de carga debe ser inferior a la desarenador, ya que es éste quien retiene la mayor parte de los sedimentos. [19]



**Figura 2.11.** Esquema de ubicación y forma de Cámara de Carga y Desarenador

### **2.3.5. Canal de conducción.**

La elección del canal de conducción dependerá de varios factores como son el terreno, la pendiente y las dimensiones de éste. Existen varios tipos de canales que se pueden utilizar para la conducción del agua. Canales de tierra sin revestimiento o con revestimiento, canales de mampostería o concreto, canales con tubería de baja presión o acueductos hechos de planchas de acero galvanizado, madera o tubos cortados por la mitad. [19]

Todos estos canales sufren de una degradación producida por el paso continuo del agua y de las posibles partículas que pueden llevar. Los canales de tierra sin revestimiento son los más económicos pero los que con mayor frecuencia sufren el problema de la degradación de sus paredes. En el caso de que sean muy porosas, se utiliza un revestimiento, por ejemplo de piedras, para evitar el peligro de que se produzcan serios daños en la pared del canal a causa de la

erosión o de incrementos del caudal. El revestimiento también ayuda a que las pérdidas por filtración sean menores y que aumente la velocidad del agua. [19]

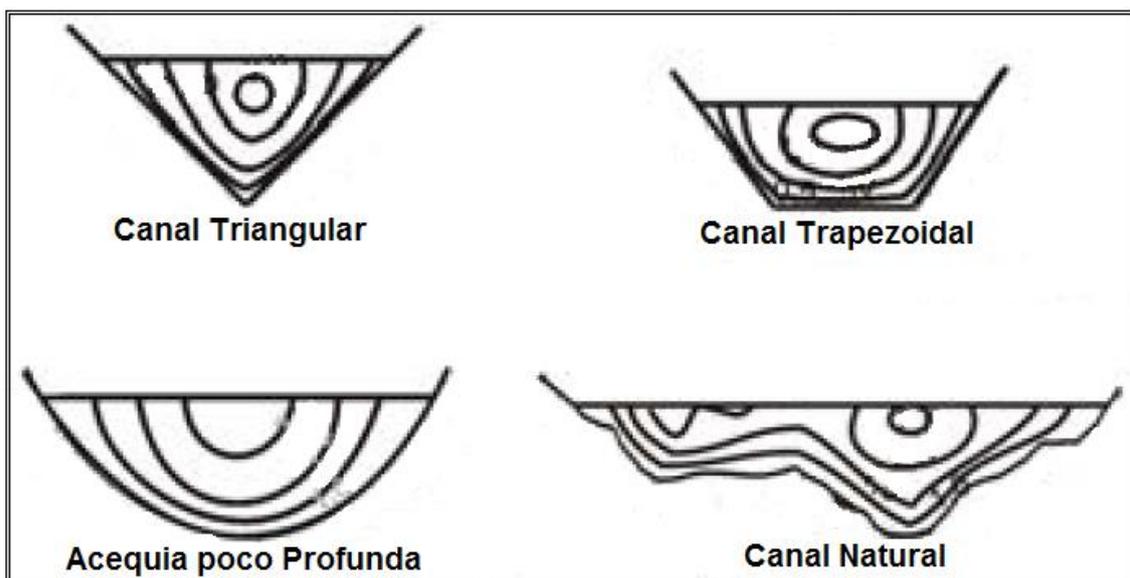


**Figura 2.12.** Canal de conducción de agua

- **Circulación del agua en canales abiertos**

Por oposición a los conductos cerrados, en los que el agua llena el conducto, en un canal abierto siempre existe una superficie libre. En general en un canal la superficie libre del agua está a la presión atmosférica, normalmente considerada como referencia de presión cero. Esto por una parte facilita el análisis, al eliminar el término de presión, pero por otra lo complica ya que, a priori, la forma de la superficie es desconocida. La profundidad cambia al cambiar las condiciones y, en el caso de flujos no estacionarios, su cálculo forma parte del problema. Un canal abierto siempre tiene dos paredes laterales y una solera, en las que el flujo satisface la condición de no deslizamiento. Un principio bien establecido de la mecánica de fluidos es el que dice que una partícula de fluido en contacto con una frontera sólida estacionaria no tiene velocidad. La viscosidad del fluido – el gran problema para el estudio

matemático del movimiento de los fluidos reales - viene confinada a una débil capa de fluidos en la inmediata vecindad de la superficie frontera. Fuera de esta "capa limite" el fluido se comportará como si no tuviera viscosidad. Este es el fundamento de la teoría de la capa límite con el que se resuelven matemáticamente casos particulares del movimiento de fluidos. El espesor de esa capa limite depende, entre otros factores, de la velocidad, densidad y viscosidad dinámica del fluido. [19]



**Figura 2.13.** Tipos de canales de conducción de agua

Como consecuencia cualquier canal, incluso uno recto, tiene una distribución tridimensional de velocidades. La figura 2.13 muestra las líneas de igual velocidad en distintas secciones de un canal. El enfoque matemático se apoya en la teoría de la capa límite; el del ingeniero se basa en la velocidad media  $V$ .

### **2.3.6. Chimenea de equilibrio**

La chimenea de equilibrio se construye de cara a evitar los efectos producidos por el golpe de ariete, especialmente en conducciones largas. Su instalación

equivale a reducir la longitud de la tubería forzada, por lo que el tiempo crítico será menor y hará que las variaciones de presión sean menores. [23]



**Figura 2.14.** Esquema de la ubicación de las Chimeneas de Equilibrio

Está formada por un conducto de gran diámetro que en su parte inferior se conecta a la tubería forzada y en su parte posterior está abierto a la atmosfera. En este punto el agua alcanzara en condiciones normales la altura del agua que hay en el embalse, aspecto que deberá ser tenido en cuenta en su construcción. Además, el nivel del agua subirá debido a la sobrepresión que genera el cierre de la válvula La constante de aceleración del agua indica la conveniencia de instalar o no una chimenea de equilibrio:

$$t_h = \frac{V * L}{g * H} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

$V \rightarrow$  es la velocidad del agua en la tubería forzada

$H \rightarrow$  es la altura bruta.

Si  $t_h$  toma un valor inferior a tres segundos no es necesaria la instalación de una chimenea de equilibrio.

Al ascender el nivel del agua por encima del punto de equilibrio se crea una contrapresión que decelera el agua en la tubería forzada, y cuando esta se detenga, el nivel descenderá para alcanzar un nuevo equilibrio. Se producirán oscilaciones cada vez menores debido a la fricción. [23]

La chimenea de equilibrio se puede sustituir por una válvula de descarga síncrona, que se abre cuando la válvula de entrada a la turbina se cierra.

### 2.3.7. Válvulas

Las válvulas existentes en las tuberías forzadas se encuentran totalmente abiertas o totalmente cerradas, dado que la regulación del caudal es una tarea que corresponde al distribuidor Fink. [23]

La pérdida de carga en una válvula que esté totalmente abierta se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$h_V = K_V \frac{V^2}{2g}; \quad \text{Ecuación 2.9}$$

La tabla recoge los valores aproximados del coeficiente  $K_V$  para los distintos tipos de válvula que se pueden emplear.

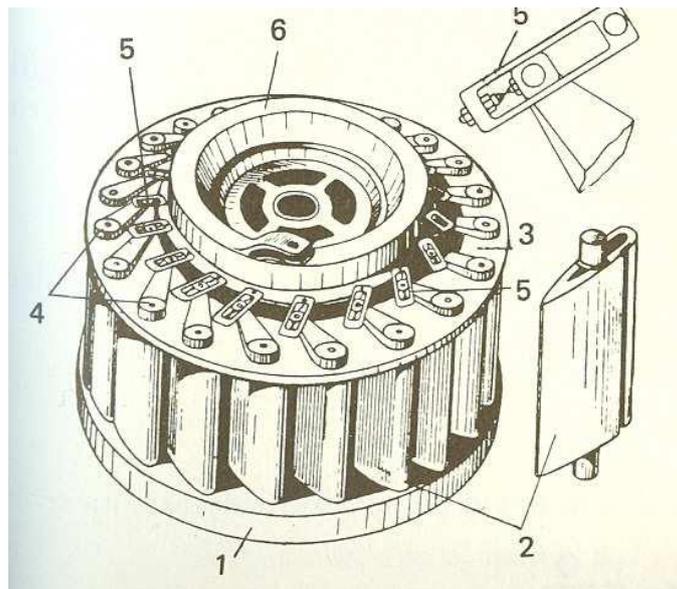
**Tabla 2.2.** Valores del coeficiente  $K_v$  en función del tipo de válvula

Tipo de Válvula	Coeficiente $K_v$
Compuerta	0,2
Mariposa	0,6
Esférica	0,05
Excéntrica	1

### 2.3.8. Distribuidor Fink

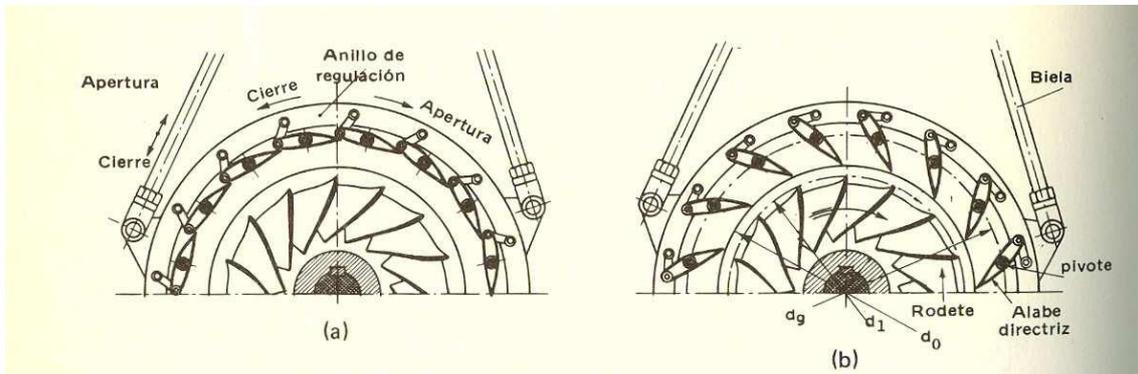
Se trata de un dispositivo de álabes giratorios que se emplea para regular el caudal y la forma en que este llega al rodete. Consta de un servomotor hidráulico que mueve un anillo giratorio, que a su vez permite el giro de los alabes. [14]

El servomotor acciona un brazo de carrera amortiguada para absorber los golpes de ariete.



**Figura 2.15.** Detalle de distribuidor Fink

En la figura se muestra el funcionamiento de un distribuidor, concretamente en sus posiciones extremas, completamente abierto y completamente cerrado.



**Figura 2.16.** Funcionamiento del distribuidor Fink

a) Distribuidor cerrado

b) Distribuidor abierto

En la posición de cierre los álabes se apoyan entre sí, de manera que impiden prácticamente el paso del agua al rodete. De esta forma se puede parar la central evitando embalsamientos. [14]

Los perfiles de los álabes son superficies desarrollables cilíndricas de generatrices paralelas al eje de rotación de la turbina. Se pretende que no haya transformación de energía cinética en mecánica en ellos porque sería una pérdida más que reduciría el rendimiento de la turbina y además se crearían esfuerzos en el distribuidor no deseados. [14]

Sus elementos se fabrican en acero. El bulón que une la biela con el alabe trabaja a cortadura y ha de diseñarse para que rompa en caso de entrar un objeto extraño en la maquinaria. De esta forma se evita que se rompan componentes más costosos del distribuidor. [14]

### 2.3.9. Tubería forzada.

Existen dos tipos de infraestructuras diferentes para canalizar el agua desde la bocatoma hacia la turbina. Una opción es el diseño de una tubería corta desde la cámara de carga hasta la turbina, siendo necesario un canal de conducción que vaya desde la bocatoma hasta la cámara de carga. La otra opción, sería la instalación de una tubería de presión larga, desde el inicio de la bocatoma hasta la turbina. Este segundo método es la opción más cara, pero necesaria en aquellos casos donde las características del terreno no permiten la construcción de canales o donde el terreno es muy plano y se debería construir canales muy largos para obtener un salto aceptable. [14]



**Figura 2.17.** Tubería forzada de una Central Hidroeléctrica de Pasada

La energía contenida en un fluido incompresible que circula por el interior de un conducto cerrado viene dada por la ecuación de Bernoulli:

$$H_1 = h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}; \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Dónde:

$H_1$  → es la energía total

$h_1$  → la elevación de la línea de corriente sobre un plano de referencia

$P_1$  → la presión

$\gamma$  → el peso específico del fluido

$V$  → 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  $h_1$ , la energía de presión  $P_1/\gamma$  y la energía cinética  $V_1^2/2g$ . Osborne Reynolds observó en el siglo pasado que, cuando se hace circular agua con un hilo de tinta en un tubo de cristal, a una velocidad suficientemente baja, el flujo exhibe un comportamiento laminar: el agua fluye en forma de tubos múltiples concéntricos, de pared muy delgada. El tubo virtual exterior se adhiere a la pared del tubo real, mientras que cada uno de los siguientes se desplaza a una velocidad ligeramente mayor que el anterior, hasta alcanzar un máximo en el centro del tubo. La distribución de la velocidad toma la forma de un paraboloides de revolución cuya velocidad media, es el cincuenta por ciento del valor máximo en el eje del tubo. [18]

Si se aumenta la velocidad llega un momento en el que el hilo de tinta se rompe bruscamente. Las partículas cercanas a la pared, frenan a las que circulan a mayor velocidad por el interior. En ese momento el flujo pasa a ser turbulento, y la distribución de velocidad es más plana. Reynolds encontró que el punto de transición de flujo laminar a flujo turbulento venía determinado por

un número adimensional  $R_e$  (número de Reynolds) que, en el caso de un tubo de sección circular, viene dado por el producto del diámetro del tubo  $D$  (m) y la velocidad media  $V$  (m/s), dividido por el coeficiente de viscosidad cinemática del fluido  $\nu$  ( $m^2/s$ ). [18]

$$R_e = \frac{D*V}{\nu}; \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Dónde:

$R_e$  → es el número de Reynolds

$D$  → es el diámetro del tubo

$V$  → es la velocidad media

Se ha encontrado experimentalmente que, en un fluido que circula por un tubo de sección circular y paredes lisas, la transición de flujo laminar a flujo turbulento ocurre aproximadamente cuando  $R_e$  alcanza el valor 2000. En realidad esta transición no siempre ocurre exactamente para  $R_e = 2000$ , sino que varía con las condiciones en que se realiza el experimento, de forma que más que un punto de transición lo que realmente existe es una zona de transición. [18]

#### **2.3.9.1. Materiales empleados en la tubería forzada**

- **Acero**

Se trata de una solución barata y eficaz, dado que se pueden conseguir tuberías forzadas de cualquier diámetro y espesor. El empleo de acero resistente a la corrosión evitara recubrimientos protectores cuando sea necesario y al mismo tiempo aumentara la resistencia a la rotura y la tenacidad.

Las tuberías forzadas de acero en general se construyen mediante tramos rectos, que van simplemente apoyados sobre pilares coincidiendo con los cambios de dirección. Entre dos anclajes consecutivos se intercala una junta de dilatación. [4]

Las paredes deben resistir tensiones combinadas correspondientes a su trabajo como viga y a su condición de recipiente cilíndrico sometido a presión interna. [4]

El momento flector será el correspondiente al de una viga continua. Las reacciones sobre los apoyos se transmiten por esfuerzo cortante entre la chapa y los anillos de soporte, que se diseñan basándose en el comportamiento elástico de los cilindros de débil espesor. Dichos anillos se sueldan a la chapa mediante soldaduras continuas y se rigidizan mediante diafragmas. [4]

Los bloques de anclaje tienen que resistir la componente longitudinal del peso de la tubería llena de agua más las fuerzas de fricción correspondientes a los movimientos de expansión y contracción. Esto lleva a que se recomiende cimentarlos, en la medida de lo posible, sobre roca. [4]

También pueden utilizarse tuberías de hormigón con revestimiento interior de chapa de acero, armadas si es necesario con redondos de acero, o incluso presentadas con alambres de alta resistencia y provistas de uniones de enchufe y cordón. Dado su elevado peso, resultan difíciles de transportar y manejar en obra, pero en cambio no exigen ningún tratamiento de protección contra la corrosión. [4]

- **Polietileno**

El polietileno de baja y media densidad se aprovecha desde hace años en centrales con baja altura de salto. El polietileno de altas prestaciones, en cambio, puede utilizarse en saltos de hasta 160 m. [4]

Este material es pesado pero muy robusto.

- **PVC**

Este material resulta competitivo en alturas de salto que pueden llegar a los 200 m. Resulta más barato que el acero, su manipulación en obra es más sencilla y no requiere ninguna protección contra la corrosión. [4]

Si se someten únicamente a esfuerzos longitudinales pueden soldarse empleando disolventes o también pueden unirse empleando conexiones mecánicas.

Como contrapartida, este material resulta sensible a la radiación ultravioleta, por lo que las tuberías deberán enterrarse o recubrirse con cinta. Además su coeficiente de dilatación y su fragilidad son mayores que en el acero. No son aptas para ser instaladas en terrenos rocosos. [4]

- **Aleaciones de plástico**

Recientemente ha salido al mercado una tubería fabricada con una mezcla de PVC y derivados acrílicos. Se puede utilizar en saltos de hasta 160 m, su espesor es menor que el de las tuberías equivalentes de PVC y sus propiedades mecánicas son similares a las del polietileno de altas prestaciones. [4]

A diferencia del PVC, se comporta dúctilmente bajo carga, por lo que carece de sus problemas de rotura frágil.

- **Refuerzos de fibra de vidrio**

Las tuberías reforzadas de fibra de vidrio poseen una elevada resistencia, su peso es un 20% inferior al del acero y sus costos son competitivos. [4]

- **Polietileno de alta densidad.**

Solo se suministran para diámetros de hasta 30 cm. Pueden ser instaladas al aire libre y se pueden curvar del orden de cuarenta veces su diámetro (para curvas más pronunciadas se puede recurrir a elementos prefabricados). Soportan temperaturas menores de cero grados centígrados.

Su densidad menor que la del agua facilita su transporte al permitir arrastrar los tramos de tubería flotando y tirados por un cable. Las uniones deben ser realizadas mediante soldadura de fusión. [4]

- **Madera**

Material empleado en los países en vías de desarrollo en los que abunda la madera y la mano de obra. Para diámetros de tubería de 1,5 m, puede ser instalada en alturas de salto de hasta 120 m. [4]

Estas tuberías se construyen con dovelas de madera creosotada y zunchadas con flejes de acero, no necesitan juntas de dilatación ni soporte de anclaje y

resisten a la corrosión. Sin embargo, sufren dilataciones y fugas, requieren que el tubo este siempre lleno de agua y el mantenimiento debe ser frecuente.

### **2.3.10. Edificio central o Casa de Máquinas.**

Es la edificación donde se produce la energía eléctrica. Consta de varias partes. Entre las más importantes se encuentran las unidades de generación y equipos de regulación: turbina, generador, regulador electrónico de carga y tablero eléctrico de distribución; la sala de control y los equipos auxiliares. [18]



**Figura 2.18.** Interior y Exterior de una casa de máquinas.

### **2.3.11. Turbina**

La turbina constituye la parte más importante de la central hidráulica, pues es la encargada de transformar la energía del agua en energía mecánica, que posteriormente será transformada en electricidad por el alternador unido al eje de la turbina. [18]

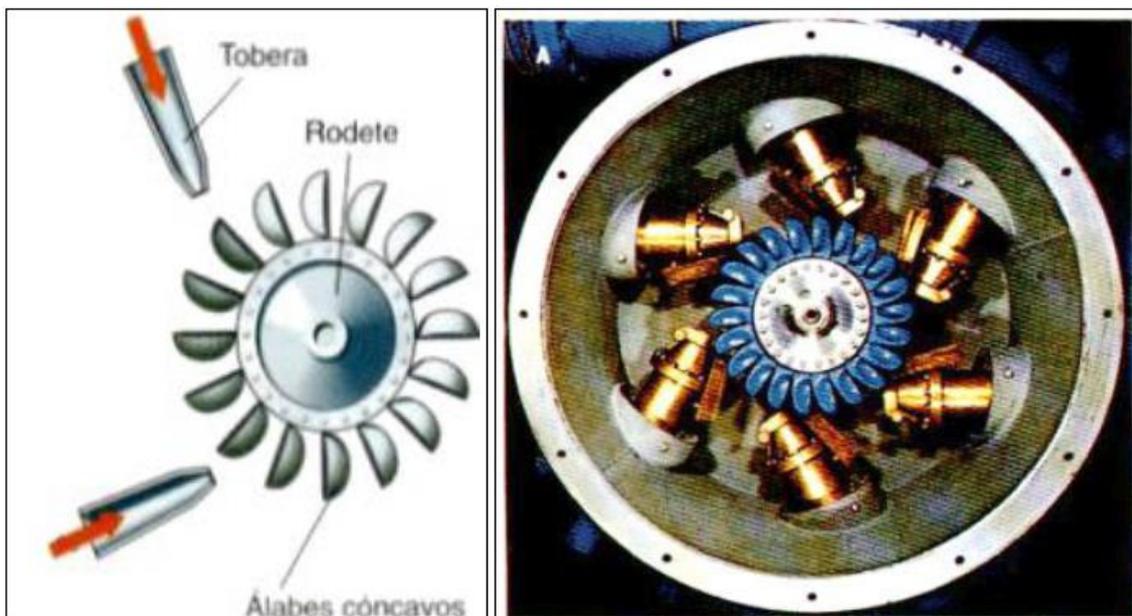
Se puede hacer una primera clasificación de las turbinas en función de los dos posibles mecanismos de transformación de energía:

### 2.3.11.1. Turbinas de acción

Se crea un chorro de agua que choca a muy alta velocidad sobre unas cazoletas que están fijas en la periferia de un disco, a las que transfiere toda su energía. Después el agua cae al canal de descarga. [18]

Su carcasa es ligera, pues solo tiene que impedir salpicaduras y proporcionar seguridad a las personas. Dentro de este grupo se encuentran las turbinas Pelton. [18]

También tienen la característica de que admiten una amplia variación de caudal, y, en caso de parada, cuenta con un deflector de chorro, mecanismo que dirige el agua directamente al desagüe evitando una sobrepresión en la tubería. [18]



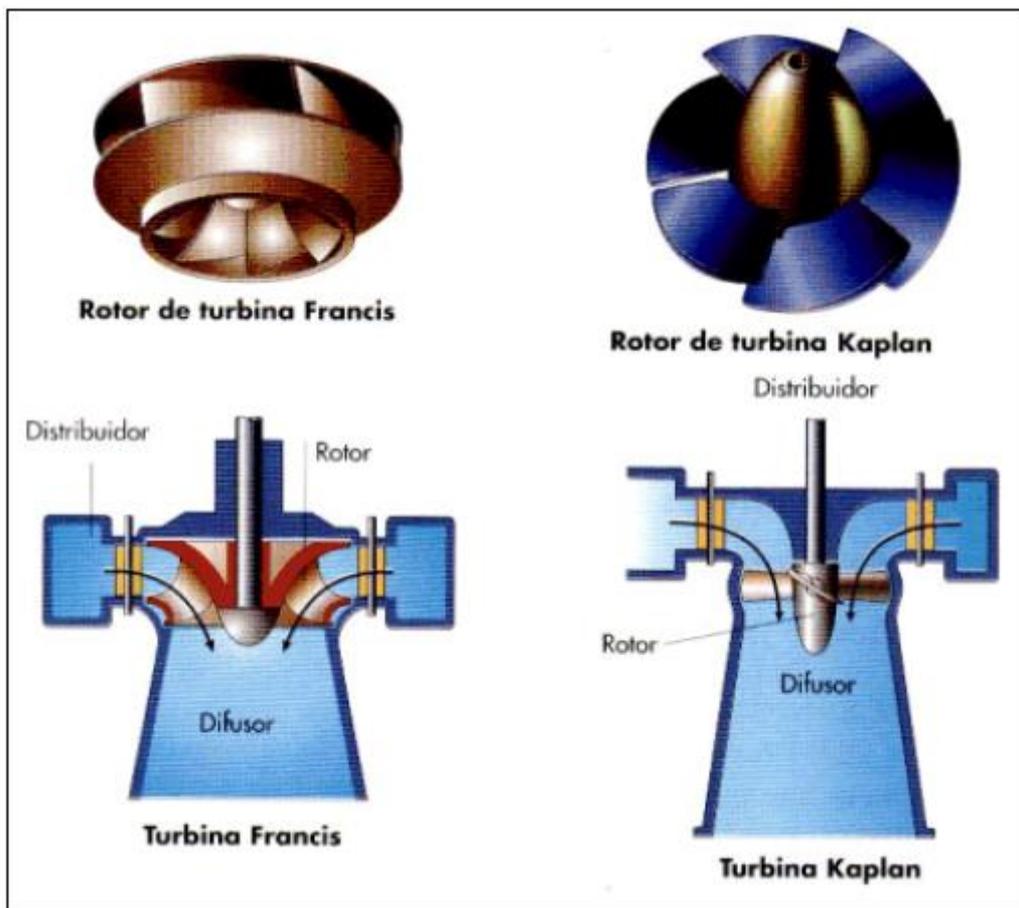
**Figura 2.19:** Turbina de Acción Pelton

### 2.3.11.2. Turbinas de reacción

En estas turbinas el movimiento de los álabes es provocado tanto por la velocidad como por la presión del agua. [18]

La presión del agua actúa directamente sobre los alabes e ira disminuyendo según avance el agua por ellos. En este caso la carcasa es más robusta para poder soportar los esfuerzos del agua a presión. [18]

Dentro de este grupo están las turbinas Francis y las Kaplan.



*Figura 2.20.: Turbina de Reacción*

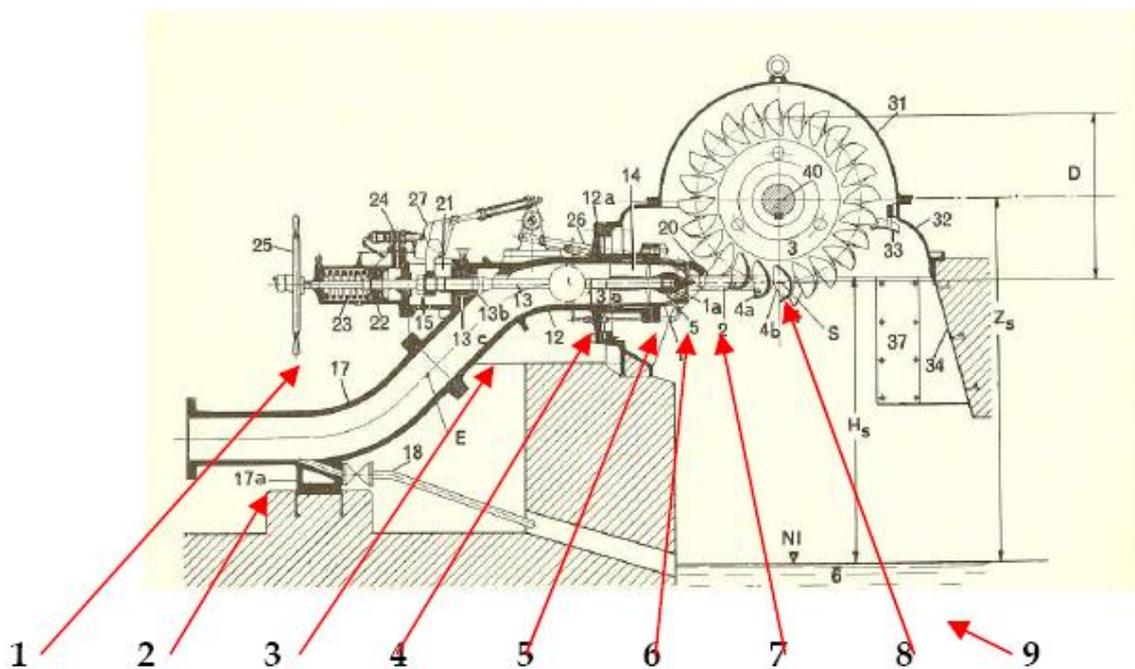
### 2.3.11.3. Tipos de turbinas

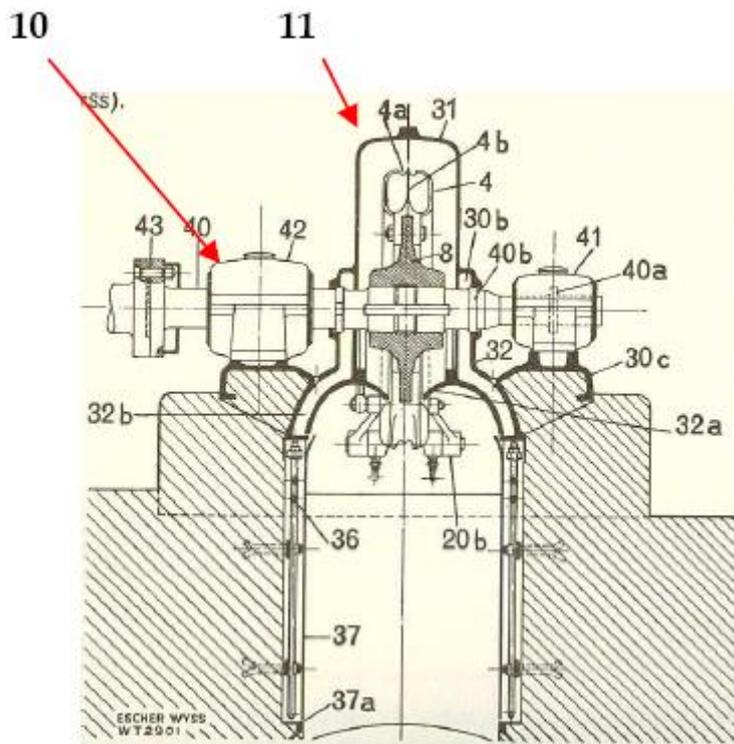
#### 2.3.11.4. Turbinas Pelton

Turbinas de acción. Una serie de inyectores proyectan chorros de agua sobre la turbina, de forma que se produce el movimiento del disco. [18]

Una turbina Pelton de eje vertical puede tener hasta seis inyectores, mientras que las de eje horizontal suelen tener uno. [18]

La figura 1.19 muestra las secciones transversal y longitudinal de una central hidráulica equipada con una turbina de este tipo y las partes que la componen:





**Figura 2.21.** Central hidráulica con turbina Pelton

1. Servomotor encargado de mover la válvula de aguja
2. Tubería forzada
3. Codo de entrada
4. Inyector
5. Válvula de aguja (regula el flujo de agua que llega a los alabes)
6. Tobera
7. Deflector (se encarga de desviar el chorro mientras la válvula de aguja se está cerrando, o para evitar el golpe de ariete que produciría un cierre de esta si se quiere impedir que se embale la maquina ante una desconexión del alternador)
8. Rodete
9. Canal de salida

10. Alternador

11. Carcasa



**Figura 2.22.** Turbina Pelton

Las turbinas Pelton carecen de tubo de aspiración, por lo que no cuentan con la ganancia de rendimiento que este produce. Se emplean en saltos elevados, que pueden llegar a los 1.200 m.

#### **2.3.11.5. Turbinas Francis**

Turbinas de reacción de flujo radial y admisión total, empleadas en saltos intermedios. Poseen un distribuidor de alabes regulables y un rodete de alabes fijos. [18]

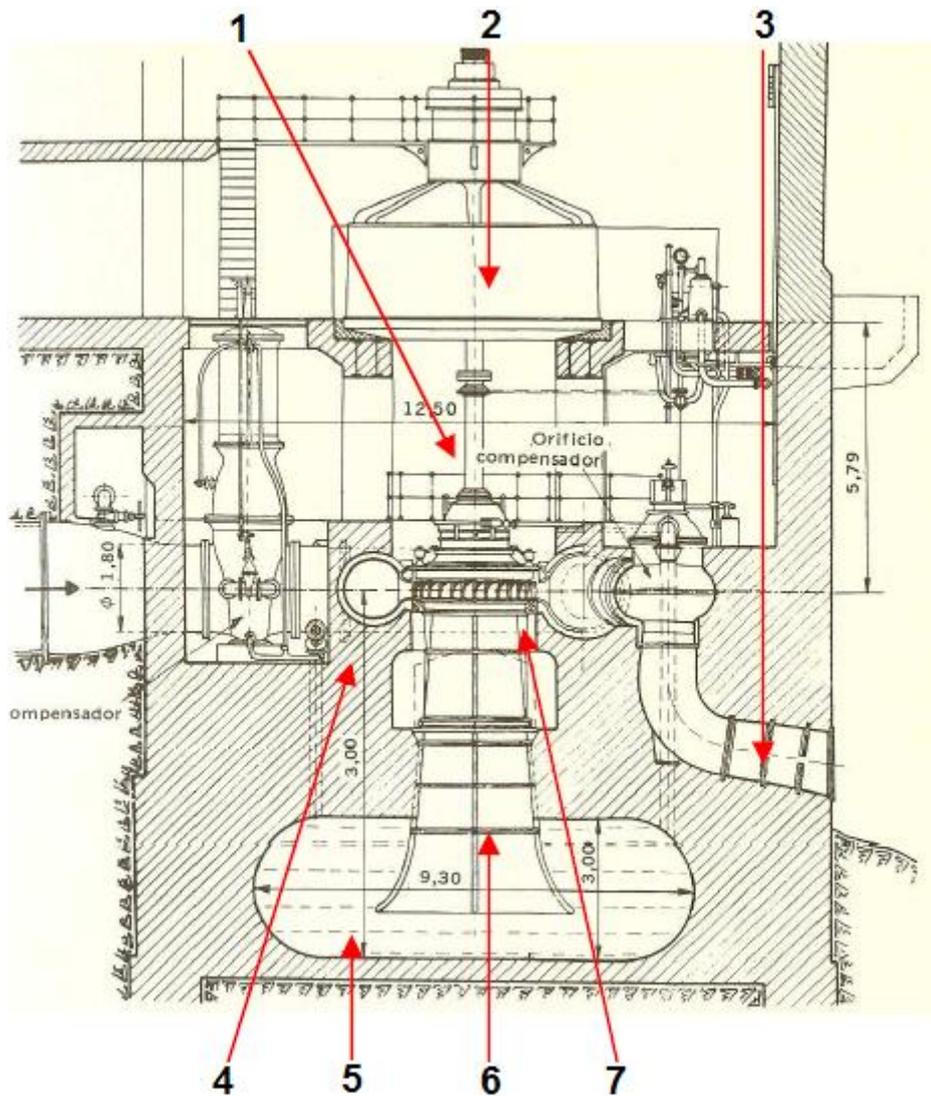
Se encastran fuertemente en hormigón para evitar vibraciones, especialmente a régimen bajo. En este tipo de turbinas el agua es conducida al rodete a través del distribuidor y en ningún momento entra en contacto con la atmosfera, por lo que la presión se mantiene. [18]

Pueden ser de cámara abierta o de cámara en espiral. En el segundo caso, según sea el tamaño de la máquina, la carcasa se podrá construir de hormigón armado, acero soldado o hierro fundido. Dado que se pretende hacer llegar la misma cantidad de agua a cada alabe del distribuidor, la sección de la cámara va decreciendo según se aleja de la brida de entrada. [18]

Si los alabes de la turbina son pequeños se fabrican de fundición, bronce o aluminio formando un solo cuerpo con el cubo. Si por el contrario son grandes, se sueldan al cubo y a la llanta, que por lo general se fabricara de acero fundido. [18]

Dado que en las turbinas de reacción el agua sale a una velocidad elevada, se instala a la salida de estas un difusor que reduce gradualmente su velocidad para que llegue en unas condiciones más moderadas al canal de salida. Si además el difusor se encuentra sumergido en el canal de salida se consigue un efecto de succión que mejora el rendimiento de la maquina considerablemente (tubo de aspiración). [18]

La figura 2.21 muestra una central de turbina Francis y las partes que la componen.



**Figura 2.23.** Central hidráulica con turbina Francis

1. Eje
2. Alternador
3. Tubería forzada
4. Cámara espiral
5. Canal de salida
6. Tubo de aspiración
7. Rodete



**Figura 2.24.** Turbina Francis

En las turbinas de eje horizontal, como la que se va a diseñar en el presente proyecto, es importante que el cuerpo de la turbina este perfectamente anclado al hormigón para evitar que las vibraciones dañen la maquinaria o limiten su campo de funcionamiento.

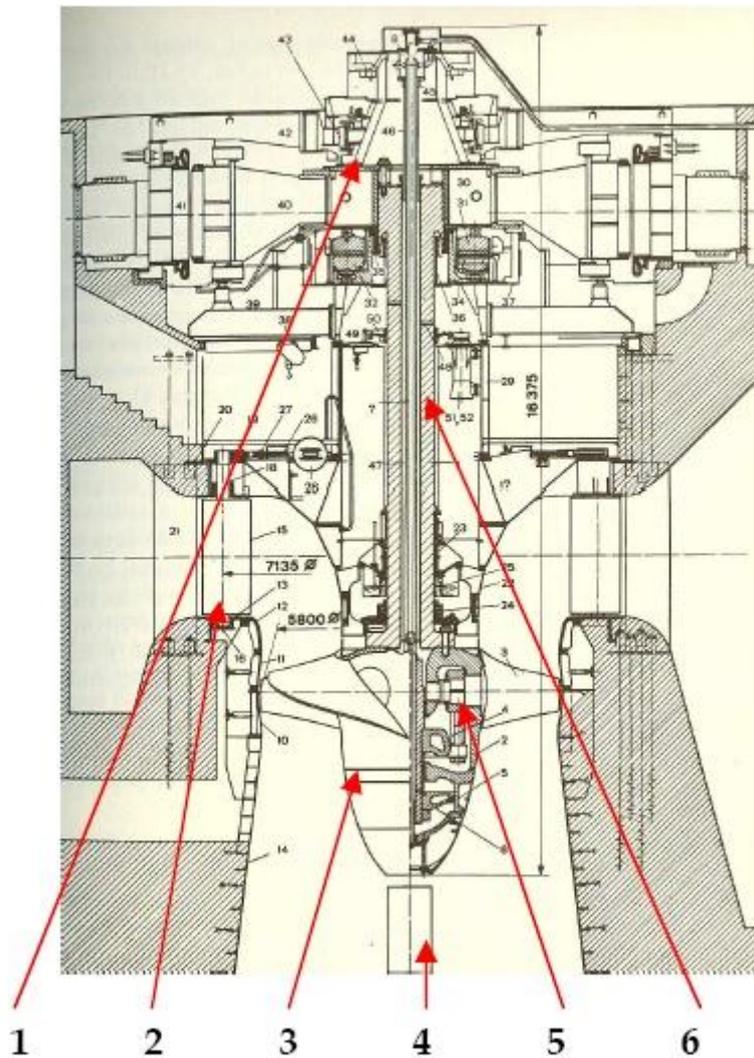
#### **2.3.11.6. Turbinas Kaplan y semi-Kaplan**

Turbinas de reacción de flujo axial. En este caso los álabes de la turbina son siempre regulables, mientras que los distribuidores pueden ser regulables o no, en cuyo caso se trataría de una turbina semi-Kaplan. [18]

Los álabes del rodete giran alrededor de su eje accionados por unas manivelas solidarias con unas bielas articuladas a una cruceta, que se puede desplazar por el interior del hueco del eje de la turbina. [18]

Las turbinas Kaplan son de admisión radial, mientras que las semi-Kaplan pueden ser de admisión radial o axial.

La figura 2.23 muestra una turbina Kaplan con sus diferentes partes:



**Figura 2.25.** Central hidráulica con turbina Kaplan

1. Alternador
2. Ábabe directriz
3. Rodete
4. Tubo de aspiración
5. Mecanismo de giro de los alabes del rodete
6. Eje



**Figura 2.26.** *Turbina Kaplan*

### **2.3.12. Generadores**

Es la máquina que transforma la energía mecánica en eléctrica. Se le llama también Alternador porque produce corriente alterna. Actualmente se emplean generadores de corriente alterna trifásica síncronos o asíncronos. [4]

Está formado básicamente por dos elementos: uno fijo cuyo nombre genérico es el de Estator y otro que gira concéntricamente en éste, llamado Rotor.

Uno de ellos debe crear un campo magnético, alimentado con corriente directa (corriente de excitación del campo), tomada de la excitatriz. A dicho elemento se le denomina inductor y está formado por un conjunto de bobinas. El inductor es el rotor. [4]

El segundo elemento actúa como receptor de corrientes inducidas, por lo que se llama inducido. A él están unidas las barras de salida de la corriente.

El estator, pues, es el que ocupa el lugar del inducido.



**Figura 2.27.** Rotor y estator de un Generador

La corriente eléctrica se origina en el campo magnético establecido entre el rotor y el estator; al girar el rotor impulsado por la turbina se rompe el campo magnético produciéndose una corriente de electrones. Esta corriente se induce a relativamente bajo voltaje, por lo que se envía al transformador de potencia, el cual sube el voltaje a un valor muy alto para que se efectúe la transmisión hasta los centros de consumo. [4]

Los generadores se pueden colocar tanto con su eje en horizontal como en vertical. Típicamente conservan la configuración del eje de la turbina pero en ocasiones se justifica que no sea así por razones de espacio. [4]

Para las turbinas Francis de eje horizontal, se suele utilizar un generador horizontal con dos cojinetes y montar en voladizo el rotor de la turbina para evitar que el eje atravesase el tubo de aspiración. Esta misma configuración también es la empleada en las turbinas Pelton. [4]

La refrigeración del generador que se instala se realizara por aire en circuito abierto, dado que se trata de una maquina pequeña. Para potencias mayores se emplea agua en circuito cerrado, refrigerándose esta posteriormente en intercambiadores agua-aire. [4]

La velocidad de sincronismo de los generadores viene dada por la siguiente expresión:

$$n = \frac{60 * f}{p}; \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Dónde:

$f$  → es la frecuencia de la red en Hz.

$p$  → es el número de pares de polos de la máquina.

### 2.3.13. Sala de Control

Como se capta por el nombre, la sala de control es el sitio donde un personal sumamente capacitado efectúa la labor de control del proceso total de generación de la planta. Para tal efecto cuenta con tableros indicadores, alarmas y protecciones, sistemas de comunicación, tableros de mano para las subestaciones, entre otros. [19]



**Figura 2.28.** Tablero de control de una central hidroeléctrica de pasada

### 2.3.14. Equipos Auxiliares

Tales como bombas de agua para el enfriamiento de las unidades, bombas lubricantes, extinguidores de fuego, equipos para la autoalimentación eléctrica, banco de baterías, grúa viajera, oficinas y salas varias, taller y bodega.



*Figura 2.29. Equipo auxiliar utilizado en una central hidroeléctrica de pasada*

### 2.3.15. Canal de descarga

El canal de descarga llamado también socaz, recoge el agua a la salida de la turbina para devolverla nuevamente al río en el punto conveniente. A la salida de las turbinas, el agua tiene todavía una velocidad importante y, por lo tanto, bastante poder erosivo y para evitar socavaciones del piso o paredes hay que revestir cuidadosamente el desembogue del agua de las turbinas. [19]

El canal de descarga será diseñado con un pendiente mínima y una sección lo suficientemente ancha, con el fin de que caudal de restitución tenga una velocidad baja, y se eviten socavaciones en el canal. El canal será de hormigón armado en la salida de la casa de máquina y posteriormente en tierra. [19]

En saltos bajos, en los que conviene perder poco desnivel, el canal de desagüe ha de ser corto. En saltos de gran altura y, especialmente en aquéllos en los que el agua arrastra poco o ningún material sólido, el canal de desagüe puede ser de mayor longitud.

### **2.3.16. Subestación y línea eléctrica**

Se llama *subcentral eléctrica* y, también, *subestación eléctrica*, al conjunto de aparatos y dispositivos de transformación, conversión y distribución de energía eléctrica, instalada en las cercanías a la Casa de máquinas de una central para facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica, transformando la corriente alterna de una tensión determinada, en corriente alterna de otra tensión diferente. Su equipo principal es el transformador. Normalmente está dividida en secciones, por lo general 3 principales, y las demás son derivadas.

Las secciones principales son las siguientes: [18]

1. Sección de medición.
2. Sección para las cuchillas de paso.
3. Sección para el interruptor.

Las secciones derivadas normalmente llevan interruptores, depende de qué tipo, hacia los transformadores.

### **III. MATERIALES**

### 3.1. MATERIALES PARA RECONOCIMIENTO DE INSTALACIONES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “CARLOS MORA CARRIÓN”

A continuación se describen los principales materiales necesarios para el reconocimiento de todas las estructuras que conforman la Central Hidroeléctrica Carlos Mora Carrión, en la comprobación del estado de funcionamiento de cada uno de ellos, mismo que nos permitirá detallar en la presente de forma técnica cualquier anomalía encontrada.

CANTIDAD	MATERIAL
1	Computador Portátil
1	Cargador para portátil
1	Cámara Fotográfica
1	Cargador de cámara
1	Cable de datos (Cámara-PC)
1	Casco de Protección
1	Casco de Protección
1	Chaleco reflectivo
1	Par de zapatos con piso de cuero aislante

# **IV. PROCESO METODOLÓGICO**

## **EMPLEADO**

#### **4.1. PROCEDIMIENTO**

Es importante remitirnos a la historia para conocer los motivos que llevaron a realizar la proeza en esa época, para construir Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión”, por lo difícil del terreno para el traslado de materiales e indudablemente el armado de cada una de las partes que la conforman.

Basados en la información obtenida en la biblioteca municipal, universitaria y la proporcionada por la misma EERSSA, en la presente se identificará detalles del funcionamiento, estructura y partes que conforman la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión”.

Con el reconocimiento de las instalaciones de la central, se estará en la capacidad de describir técnicamente todas y cada una de las partes que conforman la central, además de los detalles constructivos y técnicos de cada equipo instalado y que se encuentra funcional en la actualidad.

Además tras la visita será indispensable establecer las necesidades inmediatas a ser atendidas en la central, ya sea en equipos o infraestructura que haya cumplido su vida útil y tenga un funcionamiento deficiente.

El informe técnico que detalla la estructura, funcionamiento, fortalezas, y estado actual de las instalaciones de la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión”, está basado en publicaciones bibliográficas, revistas, proyectos de tesis, normas estipuladas por la EERSSA, y demás publicaciones al alcance en la Web; que incluyen temas referentes y actualizados.

## **V. RESULTADOS**

## 5.1. CENTRAL HIDROELÉCTRICA “Ing. Carlos Mora C.”

La central hidroeléctrica “Ing. Carlos Mora Carrión”, es una central de pasada (no tiene represa o embalse); se ubica en el sector El Tambo de la parroquia Sabanilla, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, a 32 km. de la ciudad de Loja. [10]



**Figura 5.1.** Central Hidroeléctrica de Pasada Carlos Mora Carrión

La Central hidroeléctrica utiliza las aguas de los ríos San Francisco y San Ramón mediante conducciones independientes, hasta los tanques de presión correspondientes, incluyendo las aguas de las quebradas Zurita, Durazno y Milagros, desde los tanques se conduce el agua hasta el by – pass de las tuberías, mediante tuberías de acero, desde allí, se derivan dos tuberías de

acero para la conducción de agua a presión que alimentan a tres turbinas, alojadas en la casa de máquinas, ubicada en la margen derecha del río San Francisco antes de su confluencia con el río Zamora. La central, específicamente la casa de máquinas, se ubica en la siguiente coordenada geográfica: X: 714938; Y: 9560808, a una altura de 1718 msnm. [10]

#### **5.1.1. Características principales.**

Las características técnicas principales de la central son:

- Potencia nominal: 2.400 kW
- Caudal de diseño: 2,16 m<sup>3</sup>/s
- Caída neta: 157 m
- Energía estimada media anual: 17,5 GWh/año
- Tipo de central: Pasada
- Unidades hidroeléctricas: Tres

#### **5.1.2. Características de las Obras Civiles.**

La Central actualmente comprende las siguientes edificaciones, equipos y obras civiles en general:

- Captación y túnel Zurita, que a su vez recibe los caudales de las quebradas Juan León y Navidades.
- Captación de quebrada Durazno y acueducto.

- Captación del río San Francisco, compuesta por: dique y azud, boca de entrada, canal desrripiador y compuerta, rejilla, canal recolector, túnel, compuerta y canal de retorno al río, desarenador, canal de contorno y compuerta, canal embaulado, muros de contención y de embalse.
- Bodega y casa del guardián
- Túnel de conducción Principal
- Túnel de Conducción San Francisco.
- Canal de conducción y compuerta principal
- Captación de Quebrada Milagros
- Tanque de presión San Francisco, con rejilla y compuerta
- Tubería de presión hasta by-pass (primer anclaje)
- Captación quebrada San Ramón, compuesta por: azud y compuerta, rejilla lateral, canal y compuerta, desarenador y compuerta.
- Conducción por túnel
- Conducción por canal
- Tanque de presión San Ramón, con rejilla y compuerta
- Tubería de presión hasta by-pass (primer anclaje)
- Bodega y casa del guardián
- Tubería de presión izquierda, tres tramos
- Tubería de presión derecha, tres tramos
- Múltiple distribuidor
- Casa de Máquinas
- Teleférico, con plataformas de salida y llegada y casetas

- Dos bloques de campamentos y auditorio
- Vía de acceso de 4 m de ancho
- Camino peatonal
- Tarabita de abastecimiento
- Sistema de abastecimiento de agua de vertiente
- Camino peatonal desde casa de máquinas hasta el primer anclaje
- Muros de protección de casa de máquinas y campamento
- Cunetas de recolección de agua

## 5.2. AZUD

Es una presa de pequeño tamaño, utilizada para producir un remanso para derivar el agua hacia la captación, ubicadas sobre todos los ríos y quebradas que aportan caudal para el funcionamiento de la Central Hidroeléctrica, la de mayor tamaño se encuentra ubicada sobre el río San Francisco. [9]



**Figura 5.2.** Azud sobre el río San Francisco

### **5.3. BOCATOMA**

Son estructuras hidráulicas construidas sobre los ríos San Francisco y San Ramón; y las quebradas Zurita, Durazno y Milagros, con el objeto de captar una parte, o la totalidad del caudal de la corriente principal. Constituyéndose en la estructura más importante para del proyecto hidroeléctrico. En consecuencia, tanto el diseño, la construcción, la operación y mantenimiento de éstas obras de toma, deben ofrecer el máximo de seguridad. [9]

#### **5.3.1. Captación y Túnel Zurita.**

La captación es de tipo vertedero con rejilla y para los excesos tiene una rápida de descarga de las aguas captadas en las quebradas Zurita, Juan León y Navidades, se ubica en la margen izquierda a 50 m arriba de la captación principal. Estas aguas se trasladan hacia el río San Francisco por un túnel. [10]

#### **5.3.2. Captación de Quebrada Durazno con Acueducto.**

La captación consiste en un tanque con vertedero y rejilla, sus excedentes en crecidas se desbordan por encima del acueducto o canal de conducción, descargando las aguas captadas en forma de cascada hacia el desarenador de la toma San Francisco. [10]

#### **5.3.3. Captación del río San Francisco.**

La captación o bocatoma está ubicada en la margen derecha del río San Francisco, su construcción se realizó entre los años de 1.950 a 1.953, cuando se inició el montaje de la primera unidad de 600 KW. La captación del río San Francisco está constituida por un vertedero de 25 m de ancho y 1,50 m de alto

en el paramento superior, con un desnivel de 10 m sobre el cuenco de disipación. Aguas arriba y en la margen derecha, las aguas se captan a través de una rejilla vertical a un nivel inferior al de la cota de la cresta del vertedero. Las aguas son conducidas a la cámara desripadora y luego a través de una rejilla vertical se conducen al tanque desarenador sobre el que se vierte directamente las provenientes de la quebrada Duraznos. La estructura de la captación está controlada mediante compuertas para lavado de las cámaras y de by-pass, adicionalmente dispone de vertederos laterales de excesos. Se debe indicar que como no existe facilidad para ingreso de vehículos a las obras de captación, se dispone de una tarabita de abastecimiento de cinco quintales de capacidad, de operación manual, que permite el transbordo desde la carretera hasta el camino peatonal que lleva a la captación. Este dispositivo se lo usa para transporte exclusivamente de materiales. [10]



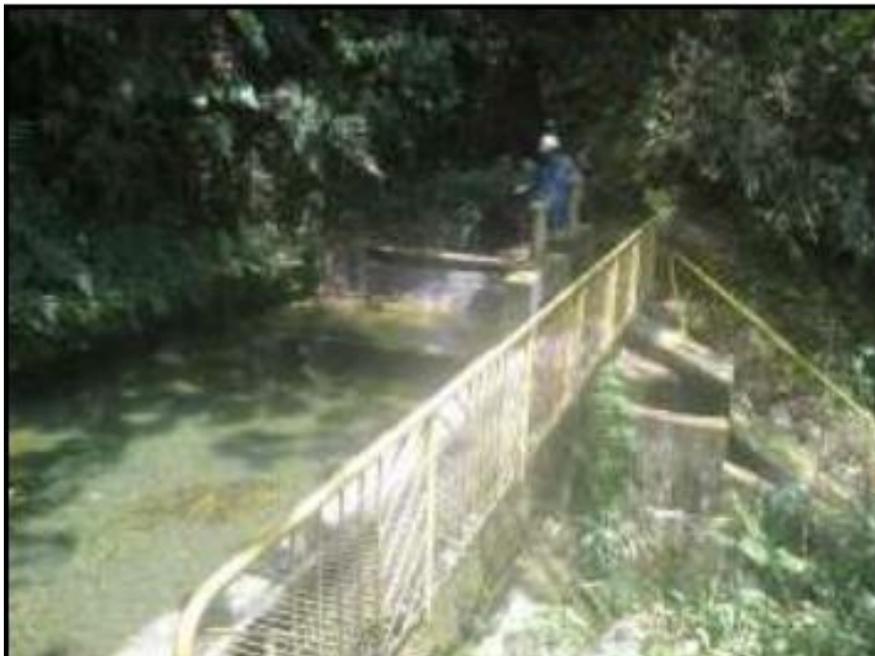
**Figura 5.3.** Captación del Rio San Francisco

#### **5.3.4. Captación Quebrada Milagros.**

Está compuesta de un azud, compuerta de descarga, rejilla de fondo ubicada en la pared del canal de conducción principal de San Francisco. [10]

#### **5.3.5. Captación del río San Ramón.**

Esta captación está constituida por un azud de pequeñas dimensiones, aprovechando una garganta en el cauce del río San Ramón y cuya pendiente longitudinal es superior al 15 %. La entrada del agua se realiza mediante una rejilla vertical, dispone de compuerta de lavado, pasa al desrripiador, el mismo que se comunica directamente al túnel de conducción. La sección es de tipo baúl de 1,00 x 1,20 m en la zona de túnel, posteriormente se comunica con canal abierto. [10]



**Figura 5.4.** Captación río San Ramón

#### 5.4. ALIVIADEROS

Puesto que toda central corre el riesgo de sufrir desperfectos a causa de demasías o caudales superiores de los de diseño e incluso por cuestiones de mantenimiento; adjuntos a todas las captaciones de agua de la central se dispone de aliviaderos que permiten regular el nivel del agua y van acompañados por unas compuertas de control que facilitan el desagüe del mismo o la detención del agua al canal, para de ese modo proteger el sistema de los riesgos que puede sufrir. [9]



**Figura 5.5.** Aliviadero en la captación del río San Francisco

## **5.5. CANAL DE CONDUCCIÓN**

Son estructuras hidráulicas de forma regular artificialmente construidas después de las captaciones de los ríos San Francisco y San Ramón; y las quebradas Zurita, Durazno y Milagros, que en razón de su pendiente pueden conducir el agua de un lugar a otro. En nuestro caso, se trata de conductos abiertos de sección diversa. [9]

### **5.5.1. Conducción Principal de San Francisco.**

La conducción principal de las aguas captadas en el río San Francisco, tiene una longitud de 3.355 m en el túnel número 1, con una sección media de 1,25 x 2,00 m tipo baúl, revestida en hormigón simple y con una pendiente en la solera de 3 por mil. Para estas características la capacidad máxima de transporte del túnel a gravedad, es de 3,61 m<sup>3</sup>/seg. La capacidad de descarga del túnel es superior al caudal de diseño de la central que es de 2,16 m<sup>3</sup>/seg. Como características hidráulicas de la conducción en túnel se pueden indicar que el calado normal para el caudal de diseño es 0,965 metros con una velocidad promedio de 1,79 m/seg y un calado crítico de 0,673 metros. Por lo que se puede concluir que el régimen es subcrítico. La conducción en canal a gravedad, es de sección trapezoidal de 1,20 x 1,50 m con taludes 2:1 y una longitud de 949,20 m. [9]

Las características son las siguientes: el calado normal para el caudal de diseño es 0,735 m, la velocidad es de 1,875 m/seg. Y el calado crítico es 0,63 m, por lo que se concluye que el régimen es subcrítico.



**Figura 5.6.** Compuerta en la captación del río San Francisco

### **5.5.2. Conducción del río San Ramón.**

La captación y conducción sobre el río San Ramón han sido diseñadas para transportar hasta  $1 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Para la conducción, en este tramo, el calado normal para  $1 \text{ m}^3/\text{seg}$ , es de  $0,67 \text{ m}$ , y el calado crítico es de  $0,467 \text{ m}$ , lo que permite concluir que el régimen de circulación del agua es subcrítico, como en toda la conducción. Cabe destacar que la disipación de la energía de las aguas a la salida del vertedero de excesos en épocas extraordinarias es eficaz, ya que debido a la pendiente longitudinal del río que es mayor que la crítica no exigió la construcción de un cuenco de disipación artificial. La conducción en canal abierto tiene una pendiente 3 por mil, con una sección transversal en cuadro de  $1 \text{ m}$  por lado, y con taludes 2:1. [9]



**Figura 5.7.** Canal de conducción río San Ramón

### **5.5.3. Túnel San Francisco.**

Debido a fallas en la conducción principal, especialmente de origen natural (deslizamiento de terreno), no se podía contar con el caudal suficiente de agua para generar electricidad durante todo el año; razón por la cual la empresa construye un túnel de 225,5 m; entre las abscisas 0+075 y 0+344 del canal principal San Francisco; la sección del túnel fue diseñado con un ancho de 2,3 m x 2,3 m de alto, con bóveda semicircular, revestido con hormigón armado en su sección rectangular (cajero), que permite un calado de 0,57 m, con una rugosidad de 0,016, velocidad de 1,90 m/s y un calado crítico de 0,48 m en ciertos tramos debido a las características de las rocas se varió la sección y ciertos tramos por lo que en estas partes se recubrió la parte superior de túnel

(bóveda) con hormigón lanzado; este túnel se empezó a construir el año 2005 y termino a finales del año 2007. [9]



**Figura 5.8.** Salida túnel San Francisco

#### **5.5.4. Desarenador**

Puesto que por las bocatomas ingresa constantemente material pétreo que puede producir taponamientos en los sistemas de conducción de agua, se ubican los tanques desarenadores que facilita y permite la limpieza de la arena que se asienta en el fondo abriendo la compuerta de limpieza, operándola intermitentemente, así como también de las rejillas, por acumulación de hojas y diverso material de tipo vegetal. [10]



**Figura 5.9.** Desarenador canal de conducción San Francisco



**Figura 5.10.** Desripiador canal de conducción San Francisco

## **5.6. TANQUES DE PRESIÓN.**

La cámara de carga se construyó originalmente para dos entradas, pero debido a la identificación de un deslizamiento potencial que tiene toda la zona, se

trasladó toda la estructura 80 m aguas arriba, pero modificada para dos cámaras, donde su estabilidad está asegurada. El ingreso de agua a las cámaras de San Francisco y San Ramón son controladas mediante compuertas verticales, operadas manualmente y protegidas con una rejilla. [26]



**Figura 5.11.** Tanques de tubería de presión de Grupos 1 y 2

El control de nivel se efectúa mediante tres boyas con contactos calibrados para tres niveles preestablecidos, que comunican la información a la central para tomar la acción que se crea pertinente. Se debe destacar que la información actual de caudales se basa solamente en la de los niveles. El ingreso de las aguas provenientes del río San Ramón a la cámara de carga, tiene las mismas características de la anterior, aunque se informó que el control de niveles no funciona porque se han retirado las boyas de medida. Se ha observado que el revestimiento de las paredes tienen fisuras y el revestimiento

de la solera está también deteriorado, inclusive está expuesto el agregado grueso. [26]



*Figura 5.12. Tanques de tubería de presión de Grupos 1 y 2*

## **5.7. TUBERÍAS DE PRESIÓN.**

La tuberías de presión están formadas por sectores soldados de 9 m, tienen una longitud de 329 m, el diámetro medio es de 700 mm, sirven para llevar el agua a las dos turbinas de 600KW y una de 1.200 KW; el desnivel es de 157 m y está apoyada en estructuras de hormigón armado, mediante anclajes en los cambios de pendiente de la ladera, formando tres tramos bien definido. Se informó que la Empresa tiene asignados recursos para realizar estudios y obras de protección para evitar deslizamientos que perjudiquen la estabilidad de las tuberías, pues los trabajos realizados durante el año 2011 aun no son

suficientes para lograr la estabilidad deseada. Se informó que la ladera sobre la que están apoyadas las tuberías de presión está constituida por una roca metamórfica, alterada, con la presencia de esquistos con pizarras y esquistos grafíticos en menor escala, sobre todo, en el primer tramo superior, y que se ha verificado la presencia de un deslizamiento potencial en la ladera izquierda, el mismo que continúa moviéndose constantemente. [26]



**Figura 5.13.** *Tuberías de Presión*

## **5.8. CASA DE MÁQUINAS.**

La casa de máquinas está ubicada en la cota 1.782 msnm en el vértice de la unión del Río San Francisco y quebrada San Ramón, asentada sobre un macizo de rocas metamórficas competentes y está al borde del río, por lo que la descarga de las aguas turbinadas es directa al río. La casa de máquinas es

una edificación de estructura de hormigón armado, con paredes de mampostería de ladrillo y pisos de hormigón simple recubierto de baldosa. Sus dimensiones interiores son de 8 x 22 m en la nave principal, y un área anexa de alrededor de 100 m<sup>2</sup>. En esta casa están alojados los tres grupos generadores antes descritos, puente grúa, interruptores, seccionadores, tableros de protección, operación y control, baterías, bombas y equipos auxiliares, transformadores de elevación y de servicios auxiliares. Existe una oficina, bodega, y un área pequeña de servicios varios. Los grupos con turbinas Pelton fueron fabricados en el año de 1953 e instalados en 1956 y 1961, el grupo con turbina Francis fue construido en 1967 e instalado el mismo año. De la inspección realizada, se puede expresar que las instalaciones están en buen estado de funcionamiento técnico. [10]



**Figura 5.14.** Casa de Máquinas

### 5.8.1. Turbinas

La Central está conformada por tres unidades hidroeléctricas (dos turbinas tipo Pelton de 600 KW cada una y una tipo Francis de 1.200 KW), que están operando desde hace aproximadamente 57, 52 y 46 años, respectivamente, con una producción de energía media anual de 17,5 GWh, que hoy representa el 12 % de la energía disponible de la EERSSA. Las principales características técnicas de los grupos hidroeléctricos se indican en el siguiente cuadro: [31]

**Tabla 5.1.** Características de las turbinas de la Central Carlos Mora Carrión

DESCRIPCIÓN	GRUPO No. 1	GRUPO No. 2	GRUPO No. 3
Marca	J. M. Voith	J. M. Voith	J. M. Voith
Tipo	Pelton	Pelton	Francis
Potencia Nominal	600KW	600KW	1200KW
Horas Acumuladas	164043	152642	147020
Año de entrada en servicio	1956	1961	1967

Según la disponibilidad de agua los grupos funcionan las 24 horas durante todo el año, con excepción de los meses de noviembre y diciembre, en los cuales, por el estiaje funcionan a menor capacidad (aproximadamente el 70 %).



**Figura 5.15.** Turbina del Grupo 1



**Figura 5.16.** Turbina del Grupo 2



**Figura 5.17. Turbina del Grupo 3**

En las actuales condiciones, las turbinas funcionan con su potencia efectiva de 600 KW para los grupos No. 1 y 2 y de 1.200 KW para el grupo No. 3, es decir con la potencia nominal. El caudal (2,16 m<sup>3</sup>/s) necesario para generar la potencia máxima de la central (2.400 KW) se presenta durante aproximadamente 8 meses al año, lo que ha posibilitado generar para obtener un factor de planta promedio en los últimos años del 80%. [31]



**Figura 5.18. Tableros de Control de los Grupos de Turbinas**

### 5.8.2. Transformadores

La central hidroeléctrica tiene en su casa de máquinas un transformador por cada grupo generador, que transforma la cantidad de energía eléctrica de 2.3KV a 22KV.



**Figura 5.19.** Transformadores elevadores de 2.3 KV a 22KV

#### PLACA DE CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSFORMADORES

T1	T2	T3
<b>Tipo:</b> IDU630/20	<b>Tipo:</b> JDU631/20	<b>Tipo:</b> OF-1256
<b>Numero:</b> 81/18363	<b>Numero:</b> FST81/2893	<b>Número:</b> 8835096
<b>Frecuencia:</b> 60 Hz	<b>Frecuencia:</b> 60 Hz	<b>Frecuencia:</b> 60 Hz
<b>Potencia:</b> 750 KVA	<b>Potencia:</b> 750 KVA	<b>Potencia:</b> 1500 KVA

## **5.9. SUBESTACIÓN CARLOS MORA.**

Ubicada junto a la central hidroeléctrica “Ing. Carlos Mora Carrión”, recibe la energía generada de la central mediante 3 generadores con una potencia total de 2.4 MW.

Se tienen 3 transformadores: 1 de 750 KVA, 1 de 800 MVA y 1 de 1500 KVA, los que elevan la tensión de 2.3 KV a 22 KV, para conectarse con la Subestación San Cayetano y hacia la Ciudad de Zamora (alimentador 0421).



***Figura 5.20. S/E Carlos Mora***

## 5.10. Edificios de Campamentos, Casa de Guardián, Auditorio y Bodega.

Existen edificaciones que se ejecutaron durante el proceso constructivo y actualmente funcionan como edificios de operación y bodega, son de estructura de hormigón, mampostería de ladrillo, cubierta de asbesto cemento. Entre estas hay también un campamento o casa de habitación con los servicios básicos para cada trabajador. Cerca de la casa de máquinas está la casa del guardián y en el sector de acceso desde la carretera, están ubicadas edificaciones para un auditorio y para una brigada del Ejército Nacional. [10]



*Figura 5.21. Casa de Guardián S/E Central Hidroeléctrica Carlos Mora*

## 5.11. TELEFÉRICO

Durante la construcción de estas obras y para servicio de los trabajos en la ladera y la parte de tanque de presión y obras conexas, se había instalado un teleférico con plataformas operativas y caseta de control del malacate, con una

capacidad de 12 quintales, operado con energía eléctrica desde el sitio de ubicación del malacate. Puesto que este dispositivo es utilizado también en ocasiones para transporte de personal, según la información recibida, es importante resaltar que no cuenta con los sistemas de seguridad apropiados para garantizar la integridad física del personal, tampoco cuenta con mecanismo de frenado de emergencia y su operación es responsabilidad de la persona que controla el nivel de agua del tanque, por lo que se sugiere se realice un estudio adecuado que permita implementar mecanismos de seguridad. Adicionalmente, según se indicó en la descripción de la captación del río San Francisco, se dispone de otra tarabita de abastecimiento de cinco quintales de capacidad. [9]



**Figura 5.22.** Casa de Guardián S/E Central Hidroeléctrica Carlos Mora

## **5.12. OBRAS AUXILIARES.**

Para el acceso a las instalaciones de la central a lo largo del camino carrosable, existen dos puentes. Entre la edificación que tiene un salón tipo auditorio y la casa de máquinas está ubicado el parqueadero el mismo que es adoquinado. Como confinamiento de esta estructura y cerramiento existe un muro de contención que protege las instalaciones del río San Francisco colindante. Para casos especiales está construido un graderío entre las tuberías de presión que conecta la casa de máquinas con el tanque de presión.

### **5.12.1. Sistema Auxiliar de Corriente Continua**

#### **5.12.1.1. Cargador de Baterías**

El cargador es de tipo estado sólido, voltaje constante, autorregulado y con rectificación de onda completa. El suministro de energía eléctrica al cargador es de corriente alterna y la salida de corriente continua. [10]

La capacidad del cargador de baterías es de 6A a 15A. El cargador de baterías está instalado detrás del tablero de control del grupo #1 y anclado en su base bajo normas de seguridad industrial. El cargador de baterías cumple con las funciones siguientes: [10]

- a) Alimentar el consumo constante en corriente continua a los tableros de control y demás equipos de la central que lo requieren.
- b) Recargar el banco de baterías (carga de igualación).
- c) Mantener cargado el banco de baterías (carga de flotación).



**Figura 5.23.** Tablero de control de Cargador de Baterías

El cargador de baterías está constituido de:

- a) Un transformador de aislamiento tipo seco, impregnado al vacío con barniz para alta temperatura, para aislar eléctricamente de la fuente de alimentación y para reducir la tensión a niveles propios para el rectificador, con bobinas de cobre, tensión de alimentación 220 V.
- b) Un rectificador del tipo estado sólido, potencia constante, fase controlada, rectificación de onda completa.
- c) Sistema de alarma y protección.

#### **5.12.1.2. Características generales del cargador y banco de baterías.**

- La energía eléctrica en corriente continua suministrada por el cargador y banco de baterías es independiente del sistema de autoconsumo.

- La red de suministro que alimenta al cargador, alimenta a otras cargas como son: alumbrado interno y externo, equipo de fuerza ininterrumpible, entre otros.
- El bastidor de montaje es de acero estructural con un espesor de 3mm. En los puntos de apoyo consta de una base y orificios para anclarse al piso.
- El Banco de baterías está constituido por 5 baterías plomo-ácidas de 12 voltios, 100 A-h.
- Cuenta con una estructura de soporte metálica en hierro ángulo, con anclajes laterales hacia la pared, con el fin de brindar estabilidad en caso de sismos.



**Figura 5.24.** Banco de Baterías

### **5.12.2. Generación de desechos líquidos y descargas líquidas.**

Se revisaron y evaluaron los requisitos de normas aplicable a centrales de generación hidroeléctrica, planes de manejo ambiental frente a: descargas de aguas residuales al recurso agua; descargas al recurso suelo; mantenimiento de infraestructura y descargas industriales, manejo de productos químicos; manejo de combustibles; manejo de aceites; donde se pudo observar lo siguiente:

- La central hidroeléctrica cuenta con sistemas de evacuación de aguas servidas en baños el mismo que están ubicados en diferentes puntos de la central (baños, casa de operadores, área administrativa, casa de máquinas, captación, etc.), desde estos puntos el agua se evacua a través de tubería PVC a los pozos sépticos ubicados en diferentes puntos de la central.
- Las áreas de bodega de productos químicos, cuentan con pisos y cubetos de hormigón, así como con la cubierta correspondiente, para evitar que posibles derrames de productos químicos entren en contacto con el suelo, agua y/o el sol.



**Figura 5.25.** Bodega de Productos Químicos

- Se cuenta con canaletas, diques, para la evacuación de aguas lluvias, separados del sistema de drenaje de aguas servidas.
- Los tanques de almacenamiento temporal de aceites residuales, cuentan con cubetos de hormigón, luego son entregados a ETAPA de la ciudad de Cuenca.
- Todos los transformadores, turbinas, grupos generadores cuentan con diques de contención de derrames de aceites.
- Se cuenta con un separador de grasas para el tratamiento de las aguas provenientes de las turbinas.
- Se ha realizado los muestreos de agua correspondientes al año 2012 y de acuerdo a lo que establece la norma, es decir dos veces por año.



**Figura 5.26.** Zona de depósito temporal de aceites usados con cubetos de hormigón

### **5.12.3. Gestión de Desechos Sólidos.**

Se revisaron y evaluaron los requisitos de normas aplicables a centrales de generación hidroeléctrica, planes de manejo ambiental frente a: gestión y manejo de desechos sólidos; donde se pudo observar lo siguiente:

- Existe gestión de desechos sólidos, se los clasifica en contenedores debidamente pintados, rotulados y protegidos contra la lluvia a través de tapas, los mismos son almacenados temporalmente en un lugar específico y se cuenta con la respectiva cubierta. Los desechos se clasifican en biodegradables, no biodegradables y peligrosos.
- En la captación existe un incinerador para la gestión de los desechos sólidos que se producen en esa estructura de la central hidroeléctrica.



**Figura 5.27.** Área de almacenamiento temporal de desechos sólidos

#### **5.12.4. Seguridad Industrial y Salud Ocupacional.**

Se revisaron y evaluaron los requisitos de normas aplicables a centrales de generación hidroeléctrica, planes de manejo ambiental frente a: seguridad industrial y salud ocupacional; donde se pudo observar lo siguiente:

- Se entregan uniformes a todos los trabajadores así como los equipos de protección personal, tal como lo establece el Reglamento de seguridad que posee la empresa; y las especificaciones de seguridad industrial; también se observa que en las instalaciones se han colocado botiquines de primeros auxilios con medicamentos y extintores y sistemas de alarmas contra incendios.



**Figura 5.28.** Extintores contra incendio Central Hidroeléctrica

- Se realizan controles audiométricos a los trabajadores y técnicos que laboran en el central de forma anual.
- El área de control cuenta con un sistema de aislamiento acústico.
- Los accesos y caminos de la central, así como de la captación, tuberías de presión, etc., están debidamente señalizados y con sus respectivas barandas de seguridad.
- El área de control cuenta con un sistema de aislamiento acústico.
- Se ha realizado inspecciones planeadas en aspectos de seguridad industrial y ambiental en la central.
- La empresa cuenta con un Reglamento Interno de Seguridad y Salud, el mismo que tiene un ámbito de aplicación para todas las instalaciones en

donde funcionen puestos de trabajo, así como en las actividades que realiza el personal de la empresa.



**Figura 5.29.** Barandas de seguridad acceso a la captación



**Figura 5.30.** Barandas de seguridad central hidroeléctrica

## **VI. CONCLUSIONES**

## 6.1. CONCLUSIONES.

- ✓ La Central Hidroeléctrica Carlos Mora Carrión, a pesar de los años de funcionamiento que poseen cada uno de sus 3 grupos, opera de forma eficiente en la actualidad, todo esto gracias al correcto funcionamiento y aplicación de los planes de mantenimiento y contingencia para cada parte que la conforman; además de la importancia que representa en la estructura de la EERSSA, por los niveles de potencia eléctrica que suministra en la región sur (Loja y Zamora).
- ✓ La Central Hidroeléctrica Carlos Mora Carrión, se convierte en punto de partida en el cual los estudiantes de tecnología eléctrica, Ingeniería y particulares, se pueden apoyar para comprender el funcionamiento de toda una Central Hidroeléctrica puesto que los principios y fenómenos que en ellas ocurren son los mismos, pero con magnitudes diferentes.
- ✓ Se pudo comprobar que en épocas invernales las crecientes han sobrepasado toda la estructura incluyendo compuertas y muros, sin producir daños de consideración.
- ✓ Las obras de toma presentan deterioro de sus revestimientos, las compuertas no sellan adecuadamente por la antigüedad de los empaques y esta fracturada la viga superior de la compuerta de lavado, seguramente por la alta presión ejercida para su cierre.
- ✓ Constantemente la bocatoma, canal de conducción, túneles y tanques de presión son recorridos y vigilados, para ver si en alguno de ellos existe alguna fuga o bloqueo; además se retira todo el material que haya caído

alrededor, que podría detener materiales que en el futuro puedan quedarse sueltos.

- ✓ El canal de conducción se lo drena por lo menos 3 veces al año para inspeccionarlo y se lo realiza en condiciones sin carga.
- ✓ Los tanques de presión se limpian de forma periódica con el afán de eliminar toda la arena y los acumulados, a través de la compuerta en el caso del tanque de San Francisco y por medio de la válvula de limpieza en el tanque de San Ramón.
- ✓ Cada tres meses, se realiza inspecciones en la tubería de presión comprobando la condición de la pintura, la existencia de fugas en las conexiones o juntas de expansión, condiciones de articulaciones y conexiones, sellos alrededor de la tubería en los bloques de anclaje y los apoyos de cemento, incluyendo la integridad de sus cimientos.
- ✓ La calidad de la generación hidroeléctrica se controla a través de la cantidad generada en kWh, medida por el sistema de medición comercial (medidores de punto de frontera) y el factor de disponibilidad de planta que se calcula a través de las horas de operación.
- ✓ Los generadores son inspeccionados frecuentemente, poniendo especial atención en detectar la presencia de polvo, humedad o grasa en su interior, por los efectos perjudiciales que pueden tener sobre las bobinas del estator y del rotor.

- ✓ Cada 1000 horas de funcionamiento, las escobillas deben ser limpiadas y asentadas con papel de lija fino; además de los carbones del colector, por desgaste y limpieza del polvo que dejan al desgastarse.
- ✓ Con el fin de evitar cualquier parada inesperada en cualquiera de los grupos de generación, la EERSSA anualmente realiza una revisión prolija y minuciosa del estado de los equipos electromecánicos de los grupos de generación, en los meses de agosto, septiembre y octubre; por un lapso de tres semanas aproximadamente en cada mes, de los grupos Pelton #1, Pelton # 2 y Francis # 3 respectivamente.
- ✓ Es indispensable realizar el seguimiento del plan de mantenimiento preventivo, para comprender como afecta el funcionamiento a la vida de la turbina, del generador y del transformador de la Central Hidroeléctrica, con el objetivo de detectar cualquier anomalía antes de que origine un grave daño y una parada no programada.
- ✓ En la restitución de las aguas turbinadas queda prohibido la utilización de cualquier producto químico para alterar las características químicas del agua.
- ✓ Las actividades de mantenimiento de la infraestructura física o del equipo electromecánico de la Central hidroeléctrica, los responsables de los trabajos deben evitar y tomar todas las precauciones para que derrames pequeños no intencionales como de combustibles solventes, etc. puedan contaminar el agua turbinada.

- ✓ Por la exposición al ruido y las vibraciones que se generan, el operador debe permanecer el menor tiempo posible en sala de máquinas, para evitar cualquier evento desafortunado y afectaciones en su salud.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **7.1. RECOMENDACIONES.**

- ✓ Indispensable e importante es tener en cuenta que se debe mejorar la vía de acceso a la captación de la quebrada Zurita y río San Francisco.
- ✓ Hasta la fecha la Central hidroeléctrica no dispone de equipos de medición de caudales, debiendo realizarse de manera visual por el Cuidador Hidráulico que debe mantener el 10% del caudal mínimo en el afluente, siendo imperiosa la necesidad de que se instale sensores de caudal para inclusive contribuir con la modernización de la Central Hidroeléctrica.
- ✓ Importante es constantemente eliminar toda vegetación que obstruye parcial o totalmente las bocatomas, canales de conducción, y túneles; cuidando de mantener siempre vegetación en pendientes por motivos de erosión.
- ✓ Todas las estructuras de hormigón se deben reparar con retoques de argamasa o cemento.
- ✓ Es urgente la necesidad de mejorar la señalización en la captación y tanques de presión.
- ✓ Es muy importante tener en cuenta la posibilidad de automatizar las unidades existentes.
- ✓ Se debe tener en consideración que acorde al avance tecnológico que vive el mundo actualmente, realizar un estudio para el reemplazo de los equipos electromecánicos por digitales, en caso de ser posible.

## **VIII. BIBLIOGRAFÍA**

## 8.1. BIBLIOGRAFÍA.

### LIBROS CONSULTADOS

- [1] AUMA. *Impactos ambientales de la producción eléctrica: "análisis del ciclo de vida" de ocho tecnologías de generación eléctrica*. Madrid: IDAE, 2000 (Informes).
- [2] Boletín IDAE: eficiencia energética y energías renovables, núm. 6. Madrid: IDAE, 2004.
- [3] Castro Gil, M.A. y Sánchez Naranjo, C. *Energía Hidráulica*. Sevilla: (Progensa) Promotora General de Estudios, 1997-2005. (Monografías técnicas de energías renovables; 2).
- [4] Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). *Pequeñas centrales hidráulicas*. Madrid: CDTI. Ministerio de Industria y Energía, 1982.
- [5] Comisión de las Comunidades Europeas. *Energía para el futuro: fuentes de energía renovables: Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios*. COM (1997) 599 final. Luxemburgo: Comisión de las Comunidades Europeas, 1997.
- [6] CONELEC; Boletín Estadístico del Sector Eléctrico año 2011.
- [7] CONELEC, Manual de Procedimientos para la Evaluación Ambiental de Proyectos y Actividades Eléctricas, Módulos: 2, 3, 4, 5 y 6.
- [8] EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A. Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental Expost del Sistema de Subtransmisión

- y Distribución, central térmica de Catamayo y central hidroeléctrica “Ing. Carlos Mora C”.
- [9] EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A. Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de las líneas de subtransmisión: Celica – Pindal, incluye la subestación Pindal; línea Cumbaratza – Namírez y Cumbaratza – El Panguí y las subestaciones Cumbaratza y El Panguí; líneas de subtransmisión Subestación Sur – Yangana y Valladolid – Palanda, incluye la subestación Palanda; línea de subtransmisión Subestación Loja Sur – Subestación Obrapía, incluye las subestaciones Sur y la Subestación Norte.
- [10] EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A. Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de la línea de Subtransmisión Cariamanga – Macará.
- [11] European Small Hydropower Association (ESHA). *Layman's guidebook on how to develop a small hydro site*. Estudio realizado para la Comisión de las Comunidades Europeas. Bruselas: ESHA, 1995.
- [12] GOBIERNO PROVINCIAL DE ZAMORA CHINCHIPE, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Zamora Chinchipe, 2011.
- [13] Gulliver, J. S. y Arndt, R. E. A. *Hidropower Engineering Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1991.
- [14] Heinrich, D. y Hergt, M. *Atlas de ecología*. Versión española de P. Aguayo Ortiz de Lejarazu y F. González-Fierro, Marcilla. Madrid: Alianza Editorial, 1997.

- [15] Infopower: *actualidad y tecnología de producción y uso eficiente de energía*. Madrid: InformaNews Iberia, 2004-2005. ISSN: 1138- 5073.
- [16] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Guía metodológica de evaluaciones de impacto ambiental en pequeñas centrales hidroeléctricas*. Madrid: IDAE, 1989.
- [17] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Guía práctica de la energía: consumo eficiente y responsable*. Madrid: IDAE, cop. 2004.
- [18] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Manual de minicentrales hidroeléctricas*. Madrid: Cinco Días, 1996. (Manuales de Energías Renovables; 1).
- [19] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010* [Documento electrónico]. Madrid: IDAE, 2005. 174 *Minicentrales hidroeléctricas*
- [20] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Renewable energy yearbook 93: 100 representative projects in the European Communities*. Estudio realizado para la Comisión de las Comunidades Europeas. Madrid: IDAE, 1994.
- [21] Merino, L. *Las energías renovables*. Madrid: Revista Energías Renovables, 2003. (Energías renovables para todos).
- [22] Soria, E. *Energía hidráulica*. Madrid: Revista Energías Renovables, 2003. (Energías renovables para todos).

- [23] Villarroya Aldea, C. *La actuación administrativa y ambiental en los aprovechamientos hidroeléctricos*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2005.

### **PÁGINAS WEB DE INTERÉS:**

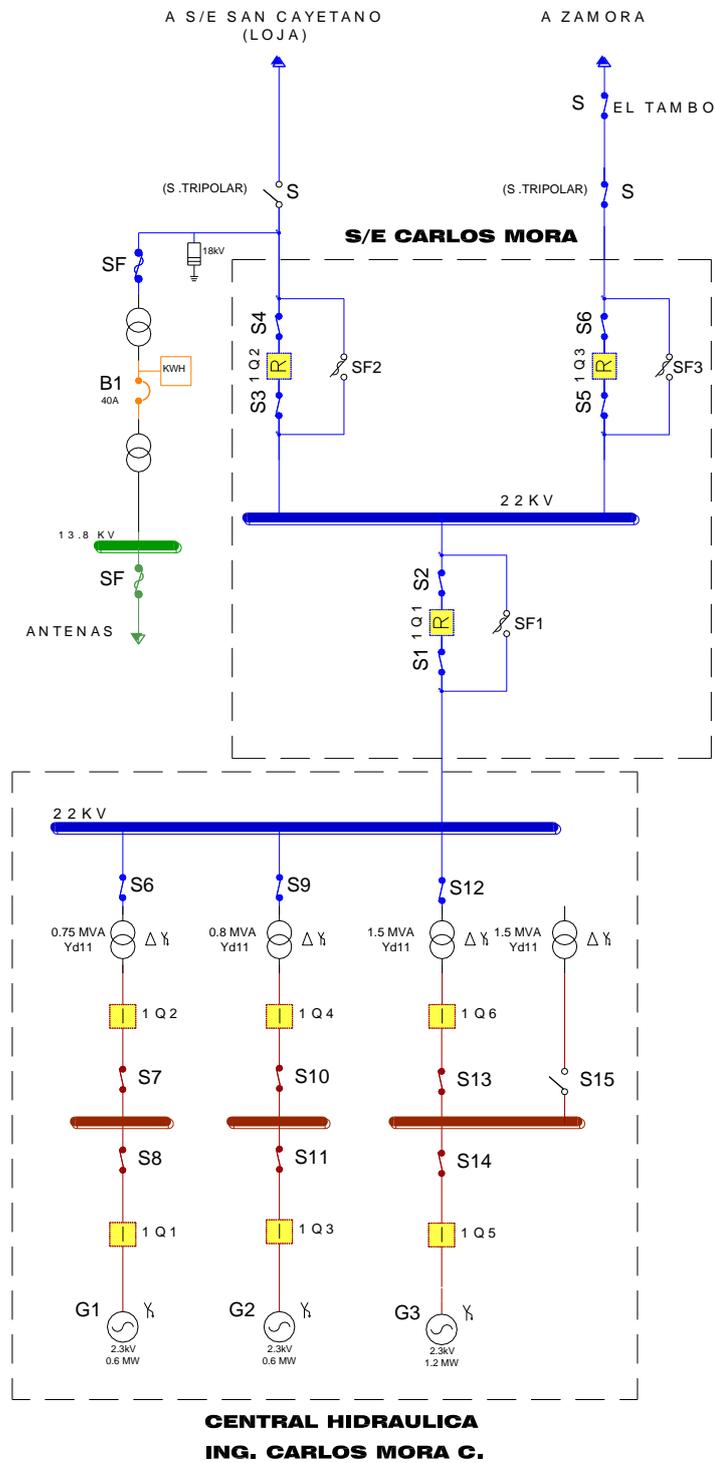
- [24] <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1007&l=1>
- [25] <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1017&l=1>
- [26] <http://www.conelec.gob.ec/documentos.php?cd=3080&l=1>
- [27] <http://www.eerssa.com/nuestra-empresa/historia.html>
- [28] <http://www.eerssa.com/nuestra-empresa/acerca-de-nosotros.html>
- [29] <http://www.eerssa.com/nuestra-empresa/valores.html>
- [30] <http://www.eerssa.com/nuestra-empresa/politicas.html>
- [31] <http://www.eerssa.com/nuestra-empresa/organizacion.html>
- [32] <http://www.gualaquiza.gob.ec>
- [33] <http://www.inec.gob.ec>
- [34] <http://www.lojaturistico.com/files/u1/cantones--loja.jpg>
- [35] [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Ecuador\\_Loja\\_province.svg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Ecuador_Loja_province.svg)
- [36] [http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia\\_de\\_Loja#Demograf.C3.ADa](http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Loja#Demograf.C3.ADa)
- [37] [www.zamora-chinchipe.gob.ec](http://www.zamora-chinchipe.gob.ec)

## **IX. ANEXOS**

**9.1. ANEXO A**

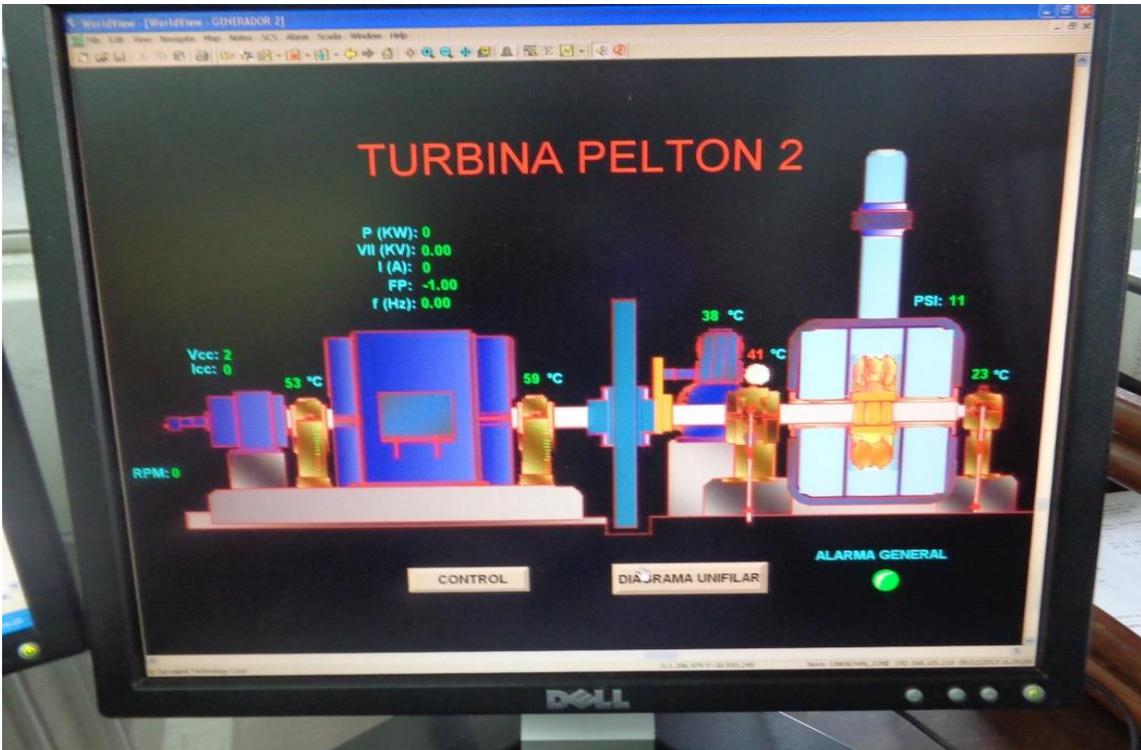
**DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN “CARLOS  
MORA CARRIÓN”**

# UNIFILAR CENTRAL CARLOS MORA

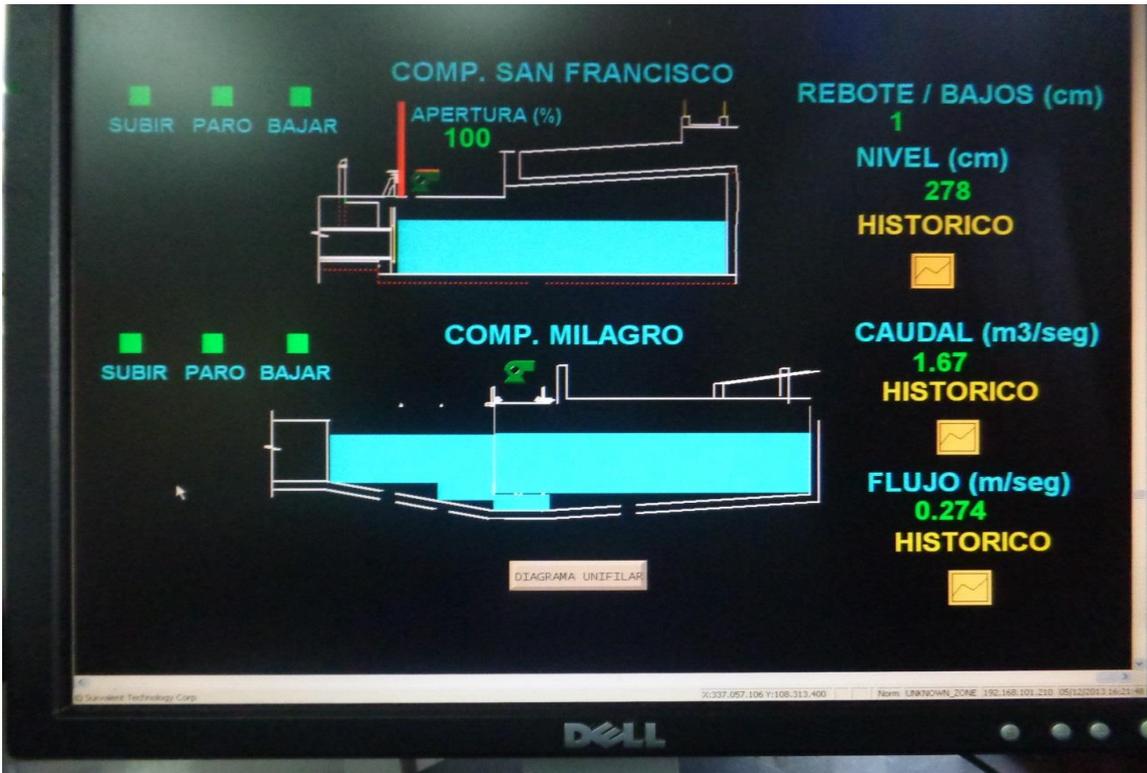


## **9.2. ANEXO B**

### **FOTOS DEL SISTEMA SCADA**







### **9.3. ANEXO C**

## **PROYECTO**