



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE LOS GENERADORES DE LA
HIDROELÉCTRICA DE CHIXOY Y PROPUESTA PARA CAMBIO
DE FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA
PARA OPTIMIZARLO**

Josué Alejandro González Alvarez

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, junio de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE LOS GENERADORES DE LA
HIDROELÉCTRICA DE CHIXOY Y PROPUESTA PARA CAMBIO
DE FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA
PARA OPTIMIZARLO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSUÉ ALEJANDRO GONZÁLEZ ALVAREZ
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing.	Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	Ing.	Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing.	Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing.	Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br.	Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br.	Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing.	Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing.	Murphy Olympo Paíz Recinos
EXAMINADOR	Ing.	Julio César Campos Paíz
EXAMINADOR	Ing.	Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing.	Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIO	Ing.	Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de Graduación titulado:

ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE LOS GENERADORES DE LA HIDROELÉCTRICA DE CHIXOY Y PROPUESTA PARA CAMBIO DE FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA PARA OPTIMIZARLO

Tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería mecánica, el 10 de noviembre de 2008.



Josué Alejandro González Álvarez



Guatemala, 29 de noviembre de 2010
REF.EPS.D.893.11.10

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

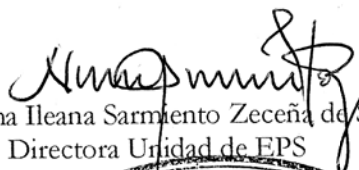
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE LOS GENERADORES DE LA HIDROELÉCTRICA DE CHIXOY Y PROPUESTA PARA CAMBIO DE FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA PARA OPTIMIZARLO"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Josué Alejandro González Alvarez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

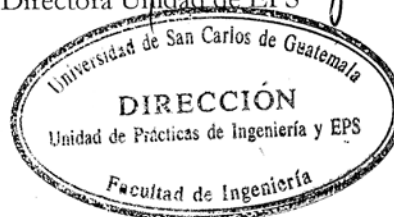
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



Guatemala, 29 de noviembre de 2010
REF.EPS.DOC.1178.11.10.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

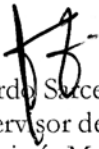
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Josué Alejandro González Álvarez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **9411641**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE LOS GENERADORES DE LA HIDROELÉCTRICA DE CHIXOY Y PROPUESTA PARA CAMBIO DE FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA PARA OPTIMIZARLO”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

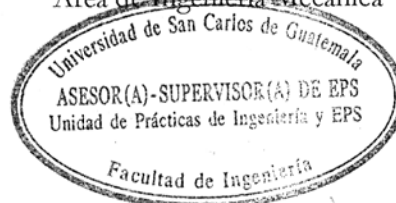
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todas”


Ing. Edwin Estuardo Sucreño Zepeda
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
EESZ/ra



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE LOS GENERADORES DE LA HIDROELÉCTRICA DE CHIXOY Y PROPUESTA PARA CAMBIO DE FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA PARA OPTIMIZARLO, del estudiante Josué Alejandro González Álvarez, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, junio de 2011

JCCP/behdei



DTG. 185.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE LOS GENERADORES DE LA HIDROELÉCTRICA DE CHIXOY Y PROPUESTA PARA CAMBIO DE FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA PARA OPTIMIZARLO**, presentado por el estudiante universitario **Josué Alejandro González Álvarez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Glympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 13 de junio de 2011.

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecirme y darme la oportunidad de llegar a la meta, y por suplir todas mis necesidades para alcanzarlas, toda mi gratitud es para el, por su misericordia infinita, ya que sin el no se hubiera hecho realidad este anhelo de mi corazón.
- Padre** Alejandro González, por haber dejado en mí una herencia muy importante en mi vida que es el temor a Dios y luchar por alcanzar las metas, aunque no se presente fácil el camino para llegar hasta ellas.
- Madre** María Anselma Alvarez, por confiar en mí a pesar de las dificultades de la vida, por su amor incomparable y comprensión.
- Esposa** Brenda Meléndez, por su amor incondicional, paciencia y confianza, depositadas en mí.
- Hijos** Valery y Josué, con mucho amor, que les sirva como una herencia de bendición para vencer cualquier obstáculo de la vida.
- Hermanos** Daniel, Elizabeth, Débora y Judith, por su apoyo.
- Amigos** Isaac García, Geovany Velasquez, Gustavo San Juan, Omar, Caleb, Cesar Tamup, por su apoyo incondicional.
Mario Morales por alentarme a salir adelante en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLO	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1 GENERALIDADES	1
1.1 Descripción de los equipos componentes de las unidades principales	1
1.1.1 Turbinas	1
1.1.2 Reguladores Electro-hidráulicos	5
1.1.2.1 Parte hidráulica	6
1.1.2.2 Parte Electrónica	8
1.1.2.3 Descripción del funcionamiento de la parte hidráulica	9
1.1.2.4 Descripción del funcionamiento de la parte electrónica	15
1.1.2.4.1 El Equipo de supervisión de velocidad DEUTA	16
1.1.2.4.2 El regulador electrónico ETR-20	16
1.1.2.4.3 El Equipo para el control conjunto (JPC)	18
1.1.3 Válvula esférica	19

1.1.3.1	Descripción del Funcionamiento	19
1.1.4	Sistema de depresión de Agua (TWD)	23
1.1.4.1	Descripción del funcionamiento	25
1.1.5	Generadores	26
1.1.6	Sistema de excitación del rotor	27
1.1.6.1	Transformador de Excitación	28
1.1.6.2	Regulación de tensión (AVR)	28
1.1.6.3	Interruptor de campo	30
1.1.7	Sistema de frenos mecánicos y gatos	30
1.1.8	Calentadores de ambiente	31
1.1.9	Bomba de izamiento	31
1.1.10	Transformadores principales	32
1.1.11	Detector mecánico de sobre velocidad	33
1.1.12	Operación con tres toberas o con seis toberas	34
1.1.13	Consideraciones sobre el rendimiento	34
2	FASE DE INVESTIGACIÓN	37
2.1	Sistema de enfriamiento actual	37
2.1.1	Conceptos generales	37
2.1.1.1	Enfriamiento por medio de agua	38
2.1.1.1.1	Sistema de enfriamiento cerrado	38
2.1.1.1.2	Sistema de enfriamiento abierto	39
2.1.2	Intercambiadores de calor	42
2.1.3	Problemas de agua de enfriamiento	43
2.1.3.1	Tipos y efectos de la impurezas	45
2.1.3.1.1	Incrustaciones	45
2.1.3.1.2	Corrosión	46

	2.1.3.1.3	Sedimento	48
	2.1.3.1.4	Aceites y grasas	49
2.1.4		Descripción de los sistemas de agua de enfriamiento	49
	2.1.4.1	Definición de los caudales necesarios	50
2.1.5		Bombas de agua de enfriamiento	50
2.1.6		Tipos de filtros del sistema	54
2.1.7		Tipos de válvulas del sistema	58
2.1.8		Tuberías	60
2.1.9		Equipo sujeto a enfriamiento por el mismo sistema	61
	2.1.9.1	Generador	63
		2.1.9.1.1	Enfriadores de agua o radiadores
			64
	2.1.9.2	Cojinete inferior	68
		2.1.9.2.1	Intercambiador de calor cojinete inferior
			69
	2.1.9.3	Cojinete guía superior y de carga	69
		2.1.9.3.1	Intercambiador de calor cojinete guía superior
			70
	2.1.9.4	Regulador hidráulico	72
		2.1.9.4.1	Intercambiador de calor del regulador
			76
	2.1.9.5	Sistema de depresión de agua (TWD)	78
2.1.10		Problemas que se dan por la fuente de abastecimiento de este sistema	78
3		FASE TÉCNICO PROFESIONAL	81
	3.1	Propuesta para cambio de fuente de alimentación de sistema de enfriamiento	81

3.1.1	Ventajas de Cambio de Fuente de abastecimiento de Agua	81
3.1.2	Fuente de Abastecimiento de Agua	82
3.1.3	Tipo de Bomba Sugerida	83
3.1.4	Tuberías	96
3.1.5	Válvulas	104
3.1.6	Accesorios	109
	CONCLUSIONES	113
	RECOMENDACIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA	117
	ANEXOS	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Tobera y deflector	3
2	Cámara de turbina	5
3	Sistema de regulación	17
4	Compresor de aire (TWD)	24
5	Enfriamiento por medio de aire	40
6	Aspiración de aire por medio de canales	41
7	Corrosión electrolítica en tubería	47
8	Bomba de refrigeración	52
9	Configuración de sistema de enfriamiento actual	54
10	Filtro grueso	55
11	Filtro rotativo	55
12	Válvula de compuerta	56
13	Válvula de clapeta con contrapeso	60
14	Flujo de agua de enfriamiento	62
15	Cámara del generador	63
16	Flujo de aire entre radiadores y estator	67
17	Intercambiador de calor de cojinete de turbina	69
18	Serpentín de cojinete de carga y empuje	71
19	Intercambiador de calor de regulador de velocidad	77
20	Bomba centrífuga	94
21	Estación de bombeo	95
22	Válvula de compuerta	105

23	Válvula anti retorno de clapeta	106
24	Proceso de amortiguación de válvula de clapeta	107
25	Características de cerrado de válvula de clapeta	108
26	Válvula de reguladora de caudal	109
27	Brida	110
28	Codos de 90° y 135°	111

TABLAS

I	Datos de la turbina	2
II	Datos de la válvula esférica	19
III	Datos técnicos de sistema de excitación	27
IV	Caudales de sistema de enfriamiento	50
V	Datos de la bomba de enfriamiento	51
VI	Datos del electromotor de bomba de enfriamiento	51
VII	Datos técnicos de filtro grueso	55
VIII	Datos técnicos de filtro rotativo	57
IX	Datos técnicos de enfriador	66
X	Datos técnicos de regulador	72
XI	Datos técnicos de intercambiador de calor del regulador	77
XII	Datos técnicos de bomba	94
XIII	Porcentaje de colada de tubería	103

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descripción
°C	Grados Celsius
Hz	Hertz
Kg	Kilogramos
Kpa	Kilo pascales
Psi	Libras por pulgada cuadrada
l/min	Litros por minuto
l/s	Litros por segundo
MW	Mega wat
m³/s	Metros cúbicos por segundo
msnm	Metro sobre el nivel del mar
miA	Mili amperios
mm	Milímetros

ETR	Regulador electrónico de velocidad
RPM	Revoluciones por minuto
TWD	Sistema de depresión de nivel de agua
ASTM	Sociedad americana de pruebas de materiales
Vcc	Voltios de corriente continúa

GLOSARIO

Diámetro	Segmento de recta que pasa por el centro del círculo y cuyos extremos están en la circunferencia.
Eficiencia	Capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.
Fluctuación	Diferencia entre el valor instantáneo de una de una cantidad fluctuante y su valor nominal.
Impulsores	Mecanismo interior de una bomba que empuja el agua.
PEAD	Polietileno de alta densidad.
Rendimiento	Proporción entre el producto o resultados obtenidos y los medios utilizados.
Tubería	Pieza hueca, de forma por lo común cilíndrica y generalmente abierta por ambos extremos y se utiliza para conducción de diferentes líquidos.
Válvula	Mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes de una maquina o sistema.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación fue desarrollado a través del ejercicio profesional supervisado (EPS), y es debido a la necesidad de ampliar el conocimiento del sistema de enfriamiento de los generadores de las hidroeléctricas, se hace la presente propuesta que describe los pasos a seguir para optimizar la función de los mismos, y por ende aprovechamiento de la producción de energía eléctrica.

Se toma como punto de referencia la más importante generadora de energía eléctrica hidráulica, el proyecto Chixoy por ser la mayor a nivel nacional.

Para el ingeniero mecánico es importante conocer cada uno de los procesos que se llevan a cabo en una hidroeléctrica y poder crear un mecanismo que permita mejorar, modernizar y actualizar los sistemas de enfriamiento de este tipo de industrias.

Se sabe sin lugar a dudas que para el estudiante no existe mayor apoyo didáctico en lo que a enfriamiento de generadoras se refiere por lo tanto este trabajo podemos conocer los equipos que son afectados por el sistema actual.

El sistema actual representa muchos problemas porque ocasionan constantes paros, lo que representa pérdidas, porque actualmente debido a los convenios adquiridos por el INDE con el mercado mayorista de electricidad, cada paro, para corregir una falla a un generador se tiene que hacer mucha burocracia, porque los consumidores de energía eléctrica cada día van en

aumento por lo que es indispensable que la planta constantemente este generando.

Los generadores son enfriados por aire producido por unas aspas colocadas alrededor de ellos, en circuito cerrado, para evitar impurezas, polvos, y humedad, pero para que éste se mantenga a una temperatura aceptable pasa por unos radiadores que son alimentados directamente del desfogue, que es agua ya utilizada por las turbinas que contiene mucho sedimento porque no tiene ningún tipo de decantación.

OBJETIVOS

General

Estudiar el sistema de enfriamiento de los generadores de la hidroeléctrica de Chixoy, y propuesta para el cambio de fuente de abastecimiento de agua del mismo.

Específicos

1. Describir la maquinaria y equipo que se utiliza para la generación de energía eléctrica.
2. Estudiar cada uno de los equipos que se utilizan en el sistema de enfriamiento, bombas, filtros, etc.
3. Proponer alternativa que ayude a obtener un mejor aprovechamiento del sistema actual sin que este represente gastos innecesarios.
4. Conocer el funcionamiento y los componentes que forman parte del generador, y así llegar a comprender la importancia de tener un enfriamiento eficiente.
5. Determinar el tipo de problemas que van afectando el equipo debido al constante uso, y los planes de contingencia con que se cuenta para mantenerlo funcionando.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento, es el factor más importante que limita la potencia de cualquier máquina, por lo que el enfriamiento es una pieza fundamental con la que se debe contar en mecánica; en la electricidad esta limitación es mucho más sensible que en cualquier otro campo de la técnica, ya que los calentamientos habituales debidos a los frotamientos mecánicos se añaden en forma particular, los cuales se deben al efecto joule de las corrientes que atraviesan los conductores y los del fenómeno de histéresis que se desarrolla en el hierro de los circuitos magnéticos. Además, el aislamiento de las máquinas se deteriora más rápidamente, cuanto más elevada sea la temperatura a la que esta funcionando.

Todas estas causas reunidas, hacen que el enfriamiento de los generadores en una central hidroeléctrica, deba tratarse de una manera especial; como la mecánica va íntimamente ligada a la electricidad en estas industrias, es lo que nos obliga como ingenieros mecánicos a estudiar más a fondo este tipo de problemas, ya que sin duda es de vital importancia que la producción de energía eléctrica sea constante porque es parte esencial del desarrollo de cualquier país.

La temperatura de funcionamiento de cualquier tipo de máquina es un parámetro a tomar en cuenta, ya que debido a la fricción constante se van produciendo desgastes, lo que obliga a paros constantes para cambiar las piezas o trabajarlas, tomando en cuenta que esto representa un mayor costo de operación y una baja sensible en la producción.

Los factores que se deben tomar en cuenta para un mejor enfriamiento son: la velocidad periférica del rotor de un generador autoventilado es la que fija el gasto máximo de los ventiladores. La reducción de pérdidas globales y la evacuación de las pérdidas debidas al sobrecalentamiento es lo que obliga a estudiar a fondo lo esencial del enfriamiento.

1. GENERALIDADES

La planta hidroeléctrica Chixoy, es una empresa energética ubicada en San Cristóbal, Alta Verapaz, en Guatemala.

Su construcción se inicio en abril de 1977, durante el gobierno del General Kjell Eugenio Laugerud García. Fue concluida el 27 de noviembre de 1983. Un error de ingeniería en la construcción del túnel de aducción, que conduce el agua del rio a las turbinas, hubo necesidad de reforzarlo. Esto elevo los costos de la obra. Fue puesta en funcionamiento hasta 1986. Su costo original fue de US\$825 millones, mas intereses. La hidroeléctrica fue construida con el objetivo de generar energía barata utilizando los recursos naturales existentes, y para satisfacer la creciente demanda de electricidad.

Esta construcción, considerada la obra más grande de ingeniería en la historia de Guatemala, se ubica en la confluencia de los ríos Chicruz, Salamá y Negro, entre Cubulco, Baja Verapaz, y San Cristóbal, Alta Verapaz. Tiene una capacidad de generación de 300 megavatios.

1.1 Descripción de los equipos componentes de las unidades principales

1.1.1 Turbinas

Las turbinas son de Fabricación Suiza, hechas por la casa Sulzer Esher Wyss, de eje vertical, tipo Peltón, con seis chorros normales y un chorro para el

freno hidráulico de emergencia. En la tabla I, tenemos los datos técnicos de la turbina.

Tabla I. **Datos de las turbinas**

Salto bruto (máximo)	510 m
Salto neto	507,5 m
Caudal	13,4 m ³ /s
Potencia	60 Mw/h
Velocidad nominal	360 rpm

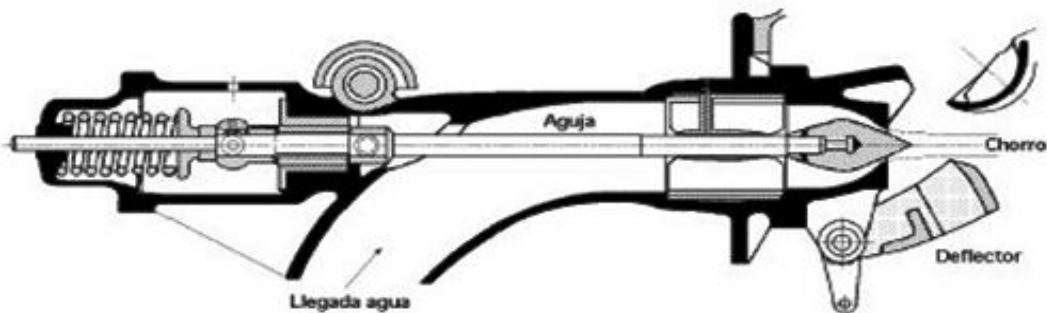
Fuente: manual de la turbina tomo 1,1, hidroeléctrica de Chixoy

Cada chorro normal de agua esta controlado por una tobera de 247 mm, de diámetro. Cada tobera tiene un servomotor interior de aguja accionado por aceite a presión. La carrera completa de la aguja es de 154 mm. En caso de perdida de presión de aceite, las agujas de la tobera cierran automáticamente a causa de la presión del agua en el caracol. El chorro de agua para el freno hidráulico esta controlado por una válvula de aguja, cuya apertura se hace también con aceite a presión. El chorro de freno golpea al rodete en dirección contraria a la rotación normal de la turbina.

Los chorros de agua a presión impactan en el rodete que tiene 21 cangilones. El rodete pesa aproximadamente 9 800 kg, es de acero inoxidable, fundido de una sola pieza, esta acoplado al eje por medio de 16 pernos pretensados hidráulicamente, que dan el apriete necesario para asegurar el acoplamiento por fricción.

Frente a cada tobera hay un deflector que gira en relación definida por la carrera del pistón del servomotor del deflector y el varillaje que lo une con el anillo de regulación. En la figura 1 se aprecia la tobera con su deflector.

Figura 1. **Tobera y deflector**



Fuente: Manual de la turbina tomo 1,1, hidroeléctrica de Chixoy

El deflector tiene como propósito desviar el chorro del agua del rodete en caso de reducciones rápidas de carga o parada de emergencia. Los seis deflectores que tiene cada turbina están acoplados mecánicamente y son accionados al mismo tiempo que las toberas por medio del anillo de regulación.

El eje de la turbina pesa aproximadamente 11 800 Kg y tiene 3 062 mm, de longitud y 638 mm, de diámetro. El eje esta forjado en una sola pieza. El acoplamiento del eje con el rodete y del eje, con la brida del generador, se efectúa por medio de 16 pernos pretensados. Un manto de guía de agua y los revestimientos del eje, rodean y protegen al eje de la turbina fuera de la tapa y el cojinete. El revestimiento inferior impide a las personas tocar el eje rotante y además, tiene la función de dirigir y repartir el aceite que vuelve del refrigerador al cojinete de guía de la turbina.

Los dispositivos de pre lubricación, de medición de velocidad, de rotación, de supervisión de vibración y el regulador de sobre velocidad compuesto por un péndulo centrífugo y la válvula hidráulica correspondiente, se encuentran en el revestimiento del eje sobre el apoyo del cojinete.

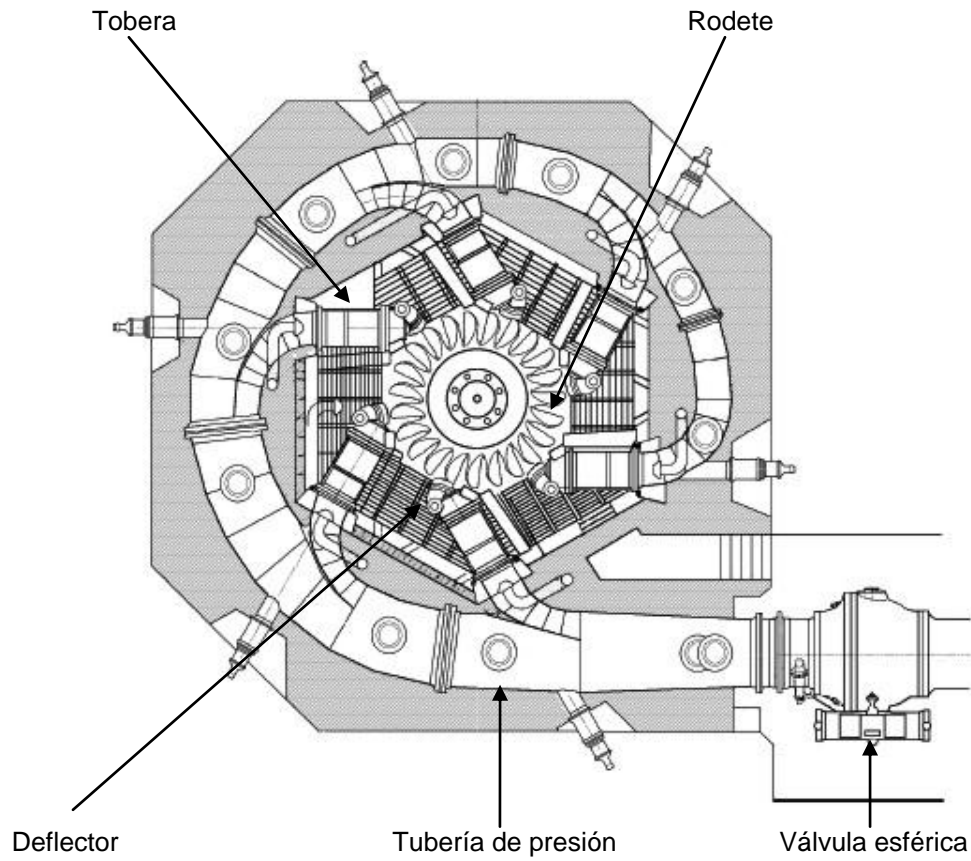
Cada turbina tiene un cojinete de guía auto lubricado y de circulación forzada de aceite a través del enfriador.

Durante los largos periodos de inactividad de la turbina se debe llenar el depósito de aceite en el revestimiento inferior del eje, para facilitar la lubricación durante un arranque.

Durante el arranque, el aceite en depósito fluye al cojinete cuando se abre la válvula de pre lubricación. El circuito de aceite esta controlado por el supervisor de flujo, teniendo además termómetros indicadores, sondas para detectar la presencia de agua y nivel del flotador para enclavar el arranque en caso de nivel bajo.

El eje de la turbina esta provisto de un sello radial de superficie inmóvil y formado por dos anillos de teflón de ocho piezas. El sello tiene por misión hermetizar a prueba de aire y de agua la carcasa inmóvil de la turbina con respecto al eje giratorio, de esta manera, en caso de crecida del nivel del agua en el canal de desfogue o en el pozo de la turbina, el nivel del agua puede ser bajado por medio de aire a presión para garantizar el espacio libre mínimo del rodete para su operación. En caso de máquina parada, impide que entre el agua en la casa de máquinas. En la figura 2 se aprecia la cámara del rodete o turbina.

Figura 2. **Cámara de turbina**



Fuente: manual de la turbina tomo 1,1, hidroeléctrica de Chixoy

1.1.2 **Reguladores electrohidráulicos**

El equipo de regulación para cada turbina, esta compuesto funcionalmente de dos partes esenciales que son las siguientes.

- a) Parte hidráulica
- b) Parte electrónica

Existe además un equipo electrónico común en toda la planta para el control conjunto de la carga, este es el JPC, abreviación tomada del idioma inglés “Joint Power Control”.

1.1.2.1 Parte hidráulica

Esta parte realiza básicamente el trabajo de regulación requerido para el gobierno de las válvulas de aguja de las toberas y de los deflectores de chorro. Los componentes principales son los siguientes:

- a. El sistema de aceite a presión, está constituido esencialmente :
 - Un depósito para el aceite de regulación (1080) con su equipo de supervisión del nivel y de temperatura
 - Un equipo de refrigeración del aceite del deposito (1080) y la bomba (1161), para la circulación del aceite, enfriador aceite/agua, válvula de regulación térmica (1165), y otros accesorios
 - Dos bombas de aceite para la presurización del sistema (1000 y 1010), con sus filtros, válvulas y accesorios
 - Un acumulador de aceite a presión, aire/aceite (1030) para reserva de aceite a presión, con dispositivos para supervisión del nivel, de la presión y de seguridad
 - Un equipo hidráulico para la compresión de aire (1052) para la reposición de pérdidas, con sus válvulas de control y accesorios
 - Un regulador de presión (1002) con sus accesorios para conmutar entre bombeo al sistema presurizado y descarga al depósito
 - La servo válvula (2390) o convertidor electro-hidráulico

- b. Las válvulas de regulación y control son las siguientes:
- Válvula de distribución (2100)
 - Válvula para accionar el cierre rápido (s2130)
 - Válvula de presión mínima (2140)
 - Válvulas para el cierre de emergencia (2230 y s2230)
 - Válvulas de maniobra (s2160)
 - Las Válvulas de paso (s2176) a las válvulas de distribución de los servomotores de las agujas
- c. El péndulo centrífugo para la detección de sobre velocidad con la Válvula (s2231)
- d. El servomotor de los deflectores (2153) para mover el anillo de regulación
- e. El anillo de regulación (2165) con los varillajes para el accionamiento de los deflectores y las chapas con curva de mando para la válvula de distribución de las agujas
- f. Las válvulas de distribución de las agujas (2172) con su varillaje correspondiente y válvulas y accesorios
- g. Los servomotores (2173) para el accionamiento de las agujas
- h. Un dispositivo para el mando manual (2350) y la limitación mecánica de la apertura

- i. Un sistema de recuperación del aceite de fugas, con depósito (2423), bomba (2423), flotadores de control (2471), y accesorios
- j. Panel de control con instrumentos varios y borneros de conexión

1.1.2.2 Parte electrónica

Tiene por misión esencialmente, el comparar las señales de referencia de velocidad, apertura o potencia, según el modo de trabajo, con sus valores respectivos y crear una respuesta, de forma característica, para el gobierno de los órganos de ajuste que son las válvulas de aguja de las toberas.

Crea también las señales de indicación de velocidad y apertura, opera varios contactos para su uso en la secuencia de control del grupo.

Esta constituida esencialmente por los siguientes componentes.

- a. Equipo de medición y supervisión de velocidades para indicaciones y maniobras. Equipo DEUTA
- b. Equipo para medición de velocidad para la regulación
- c. Regulador electrónico ETR-20
- d. Transductores de posición (f2154 y f2382), para la realimentación del ETR, de las posiciones del servomotor principal y del servomotor del mando preliminar
- e. Equipo para la medición de la potencia
- f. Regulador electrónico para el control conjunto (JPC)

1.1.2.3 Descripción del funcionamiento de la parte hidráulica

La parte hidráulica realiza básicamente el trabajo de regulación requerido para el gobierno de las válvulas de aguja de las toberas y de los deflectores de chorro. La operación de las diferentes partes esenciales para realizar esta regulación se describe a continuación.

El ajuste de las válvulas de aguja tiene lugar por medio del servomotor situado en el interior de cada tobera. La aguja abre o cierra según se envíe aceite a presión a un lado o al otro del pistón del servomotor. El aceite es enviado a un lado u otro por la válvula de distribución de la aguja (2172). Esta válvula es gobernada por medio de un pistón piloto, cuya posición relativa con respecto a una camisa móvil de la válvula, determina el paso de aceite hacia un lado u otro. El pistón piloto es accionado directamente por presión/depresión sobre su prolongación que sale en la parte superior de la válvula. La presión/depresión es producida en el varillaje que es accionado por el anillo de regulación a través de las chapas con curva con mando.

El movimiento de los deflectores se realiza por accionamiento de los varillajes correspondientes por medio del anillo de regulación, con el que tienen una unión articulada, no elástica.

El deflector se mueve solidariamente e instantáneamente con el anillo de regulación, pero guarda una pequeña distancia del chorro, de manera que en el proceso normal de regulación, cuando se produce una variación suave de carga, no toca al chorro. Solamente cuando se produce una variación brusca, importante, este interviene.

El tiempo de cierre requerido para el deflector, desde la posición de completamente abierto hasta la de completamente cerrado es de aproximadamente 8 segundos, mientras que el tiempo total de cierre de las agujas es de aproximadamente 55 segundos.

El anillo de regulación (2165), es movido directamente por el servomotor principal (designado frecuentemente como servomotor del deflector).

El servomotor principal (2153), es accionado por agua a presión y por aceite a presión. Su movimiento en el sentido de cierre esta producido por el agua a presión, mientras que el movimiento en el sentido de apertura, esta producido por aceite a presión. El servomotor tiene un cilindro para agua y un cilindro para aceite. En cada cilindro se desplaza un pistón de dimensiones adecuadas (el de agua menor que el de aceite), que están unidos directamente al vástago de accionamiento.

El cilindro de cierre, esta conectado con la tubería forzada y debe estar constantemente bajo la presión del agua sin regulación (válvulas 2167 y 16 abiertas).

El cilindro de apertura, esta conectado con la válvula de distribución principal (2100), quien envía o descarga aceite a presión para producir la apertura o el cierre, según convenga.

Para regular el tiempo de cierre del servomotor, se han dispuesto dos diafragmas (2104 y 2105), que definen la primera etapa del cierre aproximadamente 4,5 segundos y la etapa de amortiguación final aproximadamente 3,5 segundos. La posición de estos diafragmas impide también que en caso de rotura de tubería se produzca un cierre brusco.

Para regular el tiempo de apertura se ha dispuesto un diafragma (2103), en la entrada del aceite a presión a la válvula de distribución principal (2100). La línea hidráulica que une la válvula de distribución principal (2100), con el servomotor, pasa a través de una válvula de conmutación por resorte, la (2230), que permite el cierre de emergencia mediante su conmutación y descarga de aceite a presión del servomotor (2153).

La válvula de cierre de emergencia (2230), es una válvula de paso con dos posiciones. En una posición permite el paso del aceite entre la válvula de distribución principal (2100), y el servomotor principal, en la otra posición produce la descarga del aceite a presión que haya en el servomotor principal al depósito de aceite (1080).

El cambio de posición se realiza mediante el desplazamiento de un pistón central. Este pistón, por un lado es accionado mediante un resorte, que siempre tiende a enviarlo a posición cerrada (descarga), y por el otro lado es accionado mediante aceite a presión, que cuando esta presente manda la válvula a la posición abierta. Si se corta el aceite a presión, que mantiene la válvula en posición de abierta, el resorte desplaza el pistón mandando la válvula a la posición cerrada (descarga), con lo que se va a producir en todos los casos el cierre del servomotor principal, por la descarga del aceite a presión y acción del agua a presión. Este tipo de cierre aísla completamente la acción de la válvula de distribución principal y manda al cierre.

Para el mando de la válvula de cierre de emergencia (2230), se ha dispuesto de una válvula preliminar (s2230), la cual es accionada eléctricamente por un solenoide. Esto permite realizar el paro de emergencia por medio de una señal eléctrica, con lo cual se integra de esta forma a la

secuencia de control de la unidad. Esta válvula de cierre de emergencia (2230), también puede ser cerrada por acción de la válvula hidráulica del péndulo centrifugo (s2231), para detección de sobre velocidad. Esta cierra el paso y descarga del aceite a presión de mando de la (2230).

La válvula de distribución principal (2100), tiene un pistón central cuya posición media boquea el flujo del aceite hacia o desde el servomotor. Cuando se desplaza hacia abajo, envía aceite a presión al servomotor para abrir. Cuando se desplaza hacia arriba descarga el aceite del servomotor ocasionando el cierre. El movimiento del pistón central se realiza mediante el envío de aceite a un lado u otro de un embolo que tiene el pistón en la parte superior. El envío de este aceite se realiza mediante una válvula piloto o de mando preliminar, la cual es gobernada por la posición de un vástago central.

Este vástago central puede ser accionado de tres maneras:

- a. Mediante un vástago inferior accionado por resorte, en lo que constituye el dispositivo para el cierre rápido
- b. Mediante el mecanismo de accionamiento manual a través del volante (2351)
- c. Mediante el servomotor (2392), de mando preliminar, el cual es gobernado por la servo válvula

El varillaje de retorno mecánico cierra el bucle de regulación de la válvula de distribución principal.

Mediante el posicionamiento del mecanismo de accionamiento manual se consigue una limitación mecánica de la apertura. El dispositivo inferior de la

válvula de distribución principal es para el llamado cierre rápido. Este consiste en un vástago solidario a un pistón, que en su parte inferior presenta un resorte.

El vástago actúa directamente sobre el vástago central del mando preliminar. De manera que para que no actúe debe enviarse aceite a presión al pistón del dispositivo, para que comprima el resorte y mantenga el vástago solidario en la parte inferior. Cuando se descargue el aceite a presión, el resorte va a disparar el vástago, de manera que el mando preliminar va a accionar el pistón central descargando el aceite del servomotor, produciendo el cierre.

Para producir la descarga de aceite del embolo de cierre se puede conseguir básicamente de tres formas:

- a. Por acción de la válvula operada por solenoide (s2130), válvula de cierre rápido
- b. Por falta de presión de aceite al conmutar la palanca de cierre rápido manual (2137)
- c. Por presión baja de aceite, al operar la válvula (s2140), válvula de presión mínima

Con el mecanismo de control manual, accionado por el volante (f2351), puede actuarse sobre el vástago del mando preliminar siempre que el servomotor de mando preliminar (2392), y el mando motorizado (m2351) no lo impidan.

El servomotor del mando preliminar (2392), esta gobernado directamente por la servo válvula (2390), siempre que las válvulas de maniobra (s2160/1) b, y (2160/2) a, permitan el pasos del aceite.

Las válvulas de maniobra (s2160/1) y (s2160/2), son válvulas operadas por solenoide, que permiten liberar el servomotor de mando preliminar (2392), haciendo posible el mando manual, permiten el trabajo de la servo válvula.

La servo válvula (2390), es el convertidor electro hidráulico. Esta válvula transforma las señales eléctricas que recibe del regulador electrónico ETR-20, señales entre ± 10 mA, en una respuesta hidráulica en función de la señal eléctrica recibida.

Existen otras válvulas operadas por solenoide como las (s2176), que actúan como válvulas de paso a las válvulas de distribución de las agujas, con lo que se permite la operación con un número reducido de toberas.

La parte hidráulica tiene también todos los dispositivos necesarios para presurizar el aceite y mantener una reserva adecuada del mismo a una presión entre 33 y 37 bar.

Esta constituida por las bombas de aceite (1000 y 1010), el acumulador aire-aceite (1030), el regulador de presión (1002), el compresor hidráulico de aire para la reposición (1052-1053), y todos los accesorios como filtros, presostatos, válvulas, manómetros, indicadores de nivel, etc.

Durante la operación, una sola bomba, según la selección de prioridad, esta en función permanente.

El aceite bombeado es dirigido al acumulador de aceite-aire (1030), o al deposito (1080), según el estado de conmutación del regulador de presión (1002), este conmuta según las condiciones de presión que prevalezcan, aproximadamente a 33,5 bar, permite la entrada del aceite al circuito de presión

y al acumulador, aproximadamente a 37 bar, cierra el paso al circuito de presión y descarga el aceite procedente de la bomba, directamente al depósito (1080).

En una situación anormal, en que la presión disminuyera por debajo de 32,5 bar, la bomba de reserva entraría en acción, mandada por los presostatos respectivos.

Cuando la máquina se encuentra parada, solamente la bomba de reserva entra en funcionamiento, mandada por los presostatos (e1000/3 y e1000/4), a fin de restablecer la presión perdida por fugas y mantener el sistema preparado para la puesta en marcha de la máquina.

1.1.2.4 Descripción del Funcionamiento de la parte electrónica

La parte electrónica cumple las funciones de detectar (medir), la velocidad del grupo, la apertura o posición del servomotor, la potencia y las señales de referencia suministradas, creando una respuesta eléctrica (± 10 mA), para la regulación y otras señales para supervisión y control del funcionamiento del grupo y de la planta.

Con el equipo electrónico dispuesto pueden tenerse dos tipos básicos de control:

- a. Control individual de cada grupo
- b. Control conjunto

Para el control individual, cada grupo está equipado esencialmente con un regulador electrónico de velocidad, del tipo ETR-20 de Sulzer Escher Wyss, un

equipo de medición de velocidad de la marca Deuta y de los transductores de posición y accesorios requeridos.

1.1.2.4.1 Equipo de supervisión de velocidad Deuta

El equipo muestra una señal analógica de velocidad para indicación en los tableros del grupo y de la sala de mando, y la operación de varios contactos a diferentes valores de velocidad (ajustables), para el uso en la secuencia de control del grupo.

La señal de velocidad se genera en el captador magnético (2371/2), que es un detector de proximidad, el cual, de acuerdo con el movimiento del disco de dientes genera pulsos de tensión con una frecuencia igual al número de dientes que pasan enfrente del detector cada segundo. De esta manera, se crea una señal pulsante, cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de rotación de la unidad. El disco de dientes tiene 300 dientes, con lo cual, cuando la velocidad del grupo sea de 360 rpm, la frecuencia de la señal pulsante será de 1 800 Hz.

Esta señal pulsante es corregida y convertida en una señal analógica de corriente (4-20 mA), y de tensión (0-10 v).

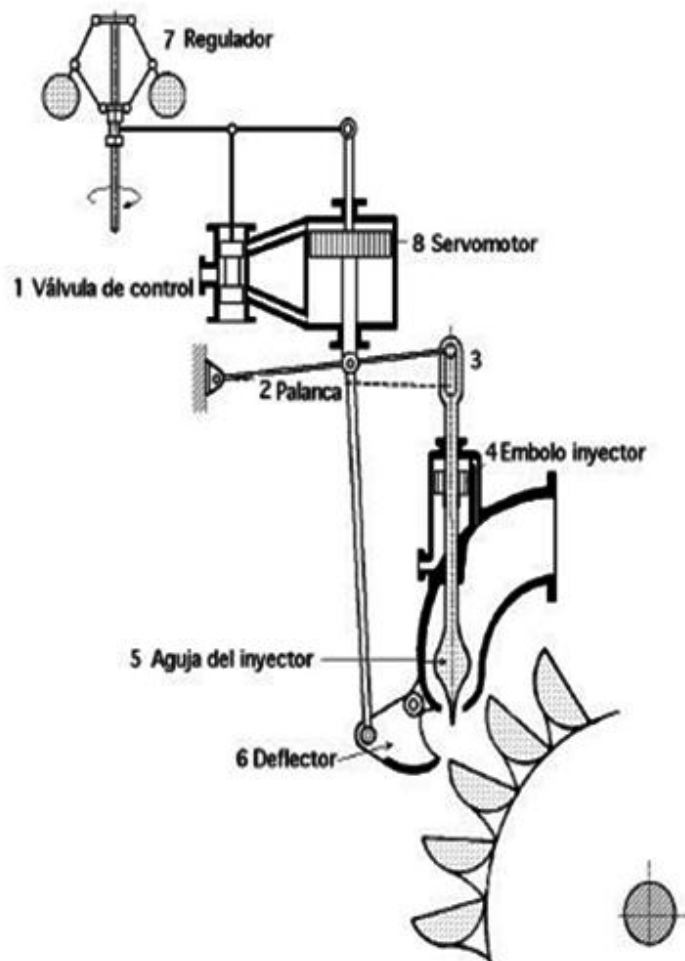
1.1.2.4.2 El regulador electrónico ETR-20

Es básicamente un regulador de velocidad simple, es decir, de una sola respuesta, que actúa sobre un solo elemento de ajuste, el llamado servomotor del deflector.

El ETR-20 recibe una señal eléctrica pulsante proporcional a la velocidad de rotación. Esta señal es originada por el disco de dientes en captador

magnético. La velocidad pulsante de velocidad es transformada en una señal analógica de tensión (0-10 v), la cual es seguidamente procesada en otras tarjetas, esta tiene también el potenciómetro con el que se crea y se ajusta el valor del estatismo permanente del regulador. En la figura 3 se aprecia una regulación de forma general.

Figura 3. Sistema de regulación general



Fuente: Manual del regulador hidráulico tomo 3,1, hidroeléctrica de Chixoy

1.1.2.4.3 Equipo para el control conjunto (JPC)

Es básicamente un regulador electrónico de potencia que supervisa el punto de operación de cada máquina, dando indicación de la necesidad de arrancar o parar unidades según el valor de la demanda en relación con el punto de operación. Con este regulador se consigue que todas las máquinas en servicio suministren la misma potencia.

Las señales del valor efectivo de potencia son obtenidas con unos transductores, que transforman los tres valores de tensión y los tres valores de corriente efectivos, en una señal de potencia efectiva.

Mediante un amplificador de adaptación, adapta la señal de salida de manera que pueda ser entrada al regulador de velocidad ETR-20 de cada turbina, pues para marcha en vacío a velocidad nominal, corresponde un valor de velocidad de 5 voltios. Los ETR-20 de cada máquina siguen esta señal cuando se cumplen las siguientes condiciones de operación de las 5 unidades con control conjunto prevalezcan:

- a. El disyuntor este cerrado
- b. Control conjunto seleccionado
- c. Operación en red
- d. Señal analógica sin perturbaciones

El regulador de potencia crea su propio estatismo proporcionalmente a la desviación de frecuencia en relación con el valor nominal.

1.1.3 Válvula esférica

Cada turbina en el lado de aguas arriba del caracol, o sea, de las agujas de chorro que le dan movimiento al rodete, esta provista de una válvula esférica marca Hidro Progress, como elemento de seguridad y para realizar trabajos de mantenimiento en el equipo aguas abajo y también para el cierre en caso de emergencia de la máquina.

1.1.3.1 Descripción del funcionamiento

Las válvulas esféricas están diseñadas para cerrar bajo caudal máximo que es (17 m³/s), sin esfuerzo inadecuado u oscilaciones y vibraciones. Las válvulas, en condiciones normales, se pueden abrir solamente cuando hay aproximadamente equilibrio de presiones entre aguas arriba y aguas abajo. Los datos técnicos de la válvula se muestran en la tabla II.

Tabla II. Datos de la válvula esférica

Diámetro nominal	1 300	mm
Presión de construcción	57,4	bar
Presión de prueba	86,1	bar
Caudal nominal	17	m ³ /s
Presión de aceite de mando	27-40	bar
Tiempo de apertura (ajustable)	30-120	s
Tiempo de cierre (ajustable)	30-120	s

Fuente: Manual de Válvula esférica tomo 2,1. Hidroeléctrica de Chixoy

Cada válvula esta embridada en arrastre a fuerza en la tubería de presión, por un lado atornillada elásticamente con una brida móvil al caracol de la turbina, a través de un tubo de desmontaje. El cuerpo de la válvula se apoya en un cimiento de hormigón y a través de un patín de deslizamiento fijado con pernos de fundación.

Cada válvula esta formada esencialmente de las siguientes partes:

- Carcasa de la válvula
- Elemento obturador
- Juntas de servicio y de revisión
- Muñones con cojinetes deslizantes (2)
- Equipo de engrase
- Servomotor toroidal
- Instalación de bypass para el llenado del caracol (tubería de distribución)
- Desarenador y filtros
- Equipo de mando hidráulico
- Panel de mando eléctrico

El elemento obturador gira sobre cojinetes, dentro de la carcasa de válvula, de manera que en la posición de la válvula abierta se adapta al diámetro del tubo que es de 1 300 mm. Y no crea ninguna perdida de carga adicional ni distorsiones en el flujo.

En las superficies adecuadas tiene unos recubrimientos de acero inoxidable mecanizados con precisión y que sirven para la aplicación de las juntas de cierre. Las juntas de cierre son dos, una aguas abajo, denominada “junta de Servicio” y otra aguas arriba, denominada “junta de revisión”. Cada junta esta

constituida por un anillo metálico de acero inoxidable mecanizado con precisión, este anillo se desplaza en una cámara anular alojada en la carcasa de la válvula. El cierre tiene lugar por contacto entre la superficie metálica del anillo de la junta y la superficie metálica mecanizada en la superficie del elemento obturador de la válvula. El anillo es presionado por agua dentro de su cámara anular, teniendo esta cámara sus empaques necesarios.

La aplicación de las juntas se consigue mediante conmutación conveniente de unas válvulas de control.

Durante el servicio normal se aplica solamente la junta de servicio. La aplicación y retiro de la junta de servicio esta gobernada por unas válvulas de control, de forma automática. Existen enclavamientos adecuados para impedir que la válvula pueda abrirse teniendo la junta de servicio aplicada y también, que pueda aplicarse la junta sin estar completamente cerrada.

La junta de revisión esta provista esencialmente para permitir el cambio de la junta de servicio, y el vaciado del cuerpo de la válvula existiendo presión en la tubería forzada.

El movimiento del elemento obturador, para el cierre y la apertura se consigue mediante un servomotor toroidal con dos cilindros y dos pistones, uno para el cierre y otro para la apertura.

Para la apertura se debe enviar agua a presión al cilindro de apertura, mientras el cilindro de cierre se encuentre sin presión. Para el cierre se debe enviar agua a presión al cilindro de cierre y descargar la presión en el cilindro de apertura.

Cuando la válvula esta abierta, en condiciones normales, se mantienen los dos cilindros bajo presión del agua.

La operación automática se consigue mediante las válvulas de control piloto actuadas por un solenoide, las cuales accionan los pistones de las válvulas principales de control.

Las válvulas piloto actúan con aceite hidráulico a presión proveniente del sistema del regulador de turbina.

Las válvulas principales de control tienen acción combinada de aceite y agua, permitiendo el paso y la descarga del agua a los cilindros y cámaras anulares respectivas.

El agua de mando para el cierre y para la aplicación de las juntas, esta tomada en el lado aguas arriba de la válvula esférica y es conducida a través de un desarenador y un filtro a la válvula de control y de esta al cilindro del servomotor.

El agua de mando para la apertura de la válvula esférica del lado aguas debajo de la misma, a través de un filtro, se conduce a la válvula de control, la cual, cuando esta conmutada adecuadamente, la envía al pistón de apertura del servomotor.

La operación de la válvula se efectúa generalmente por control remoto ya sea desde el tablero de control en el nivel 296,50, o desde la sala de mando o por circuito automático en secuencia de arranque o parada.

La válvula esférica cierra automáticamente cuando hay parada o emergencia en la unidad, pero se mantiene abierta en paradas normales.

1.1.4 Sistema de depresión de agua (TWD)

En casos excepcionales el nivel en el canal de desfogue puede alcanzar los 301,7 m.s.n.m. El rodete esta a nivel 294 msnm.

Para poder operar las turbinas peltón se necesita siempre de una mínima distancia libre entre el rodete y la superficie del agua, de manera que no se produzcan perturbaciones en el rodete por la zona de espuma y borboteo que se produce en la superficie. Para la operación con seguridad, esta distancia mínima debe ser, en Chixoy, no menos de 1,5 metros, lo que implica que el nivel máximo para operación no debe ser superior a 292,5 msnm.

En las circunstancias en que el nivel supere la cota de 292 msnm, se utilizan cinco grupos de turbina-compresor, uno por unidad, para bajar el nivel de agua en los pozos de la turbina, introduciendo aire a presión para garantizar el espacio libre mínimo necesario para el rodete. Este sistema de depresión de nivel de agua esta denominado como TWD, abreviatura del idioma ingles "Tailwater Depression".

- **Datos técnicos del TWD:**

Turbina: tipo peltón de eje horizontal, fabricante Bell Esher Wyss, caída neta de 390 a 520 metros, caudal consumido 0,0231 a 0,0264 m³/s, potencia de 75 a 115 KW, y la velocidad de 1 200 a 1 925 rpm.

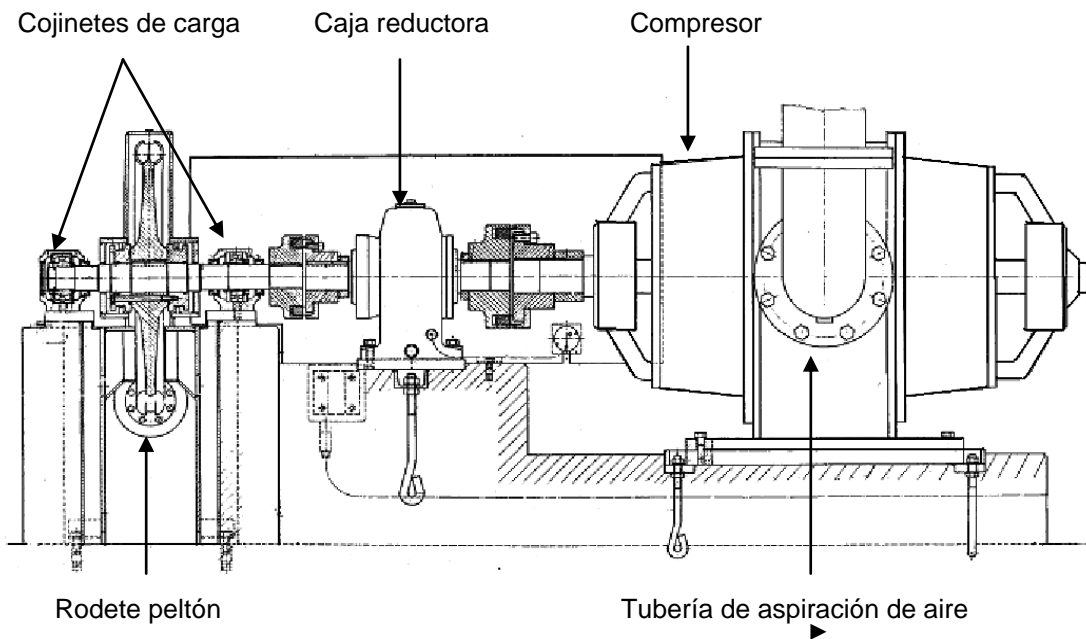
Engranaje: relación de transmisión 2,04:1

Compresor: volumen de aspiración 1770 m³/s, presión de aspiración es de 1 bar, velocidad máxima es de 600 rpm, y la potencia absorbida es 15 KW.

Para la operación de las turbinas del sistema TWD, se instaló una derivación de 12"/8" desde la tubería de presión principal. De esta derivación hay un ramal de suministro de agua para cada grupo turbina compresor.

Normalmente cada grupo TWD está subordinado a su turbina principal, pero las tuberías de aire comprimido de cada grupo están unidos por un tubo colector común de manera que se pueden hacer las combinaciones convenientes para utilizarlos. En la figura 4 se aprecia los componentes del TWD.

Figura 4. **Compresor de aire (TWD)**



Fuente: Manual sistema TWD tomo 4, hidroeléctrica de Chixoy

1.1.4.1 Descripción del funcionamiento del (TWD)

El sistema TWD esta provisto con los dispositivos de control y supervisión. El control eléctrico se puede realizar desde el tablero del sistema instalado en el piso de la turbina en la cota 296,5 msnm.

Las maniobras del sistema se pueden realizar por:

- a. Mando manual local
- b. Mando manual eléctrico
- c. Mando automático

Para el control automático, la tobera de cada turbina debe tener una apertura tal que la turbina llegue a 400-450 rpm.

La señal de arranque en automático, se recibe cuando cualquiera de los dos equipos de medición detecta nivel de agua en el canal del desfogue de 292,00 msnm.

Al detectar este nivel, todos los grupos conectados en auto se arrancan en la secuencia correcta.

La velocidad de cada compresor tiene que ser manualmente ajustada por medio de la apertura de la tobera, de tal manera que la salida de agua del pozo de la turbina en el canal sea suave y sin muchas burbujas.

1.1.5 Generadores

Los generadores son de fabricación japonesa, marca Mitsubishi, sincrónicos, eje vertical, enfriados por aire en circuito cerrado y excitación estática. La capacidad nominal de cada generador es de 55,3 MVA, 13,8 Kv, a 60 Hz, con un factor de potencia de 0,85, 60 °C de aumento de temperatura, 360 rpm y puede suministrar sobrecarga continua de 68,2 MVA sin exceder el aumento de temperatura de 80 °C.

El núcleo del estator esta fabricado con laminación de acero-silicón, delgado en alto grado. Cada laminación esta impregnada con barniz aislante en ambos lados. Las bobinas con resina sintética del estator están conectadas en estrella y aisladas con aislante de la clase F.

El rotor esta diseñado para soportar los esfuerzos máximos producidos por la velocidad de embalamiento. Los 20 polos están fabricados con láminas finas de 1,6 mm de grosor. Las bobinas del campo están aisladas con aislante de la clase F. Los conductores amortiguadores de baja resistencia están provistos en los polos.

El eje del generador es de acero forjado tratado. El generador tiene un cojinete combinado de guía y empuje, instalado arriba del generador, transmitiendo los esfuerzos al estator.

Para el enfriamiento del generador hay seis enfriadores de aire simétricamente instalados alrededor del estator para mantener la temperatura promedio del aire enfriado menor de los 40 °C, cuando el generador opera continuamente con plena carga y sobrecarga continua, a tensión nominal y con temperatura no mayor que 25 °C.

1.1.6 Sistema de excitación del rotor

El sistema de excitación para cada generador es del tipo estático (MEC 3400), con los siguientes valores nominales que se aprecian en la tabla III.

Tabla III. **Datos técnicos de sistema de excitación**

Capacidad nominal	194 KW
Voltaje nominal	200 V
Corriente nominal	970 A
Voltaje máximo	±250 V

Fuente: manual de regulador de voltaje tomo 4,2, hidroeléctrica de Chixoy

El sistema está compuesto por los siguientes componentes principales.

Un transformador de excitación. Un banco de tiristores para rectificar la corriente alterna del transformador de excitación para la excitación del campo. Regulador de tensión para controlar la salida de los tiristores, interruptor del campo 1 600 A, 500 V. Conjunto de relés de control, la posibilidad de la excitación inicial por batería 110 V cc, sistema de alarma y, anunciación y protección.

Un transformador tipo seco 7,5 KVA, 460 – 25 V y un banco trifásico de rectificadores para la excitación inicial desde los servicios auxiliares de 460 v, corriente alterna.

1.1.6.1 Transformador de excitación

La energía para el sistema de excitación del generador en operación es derivada de las terminales del mismo generador, por medio del transformador de excitación, tipo seco, 350 KVA, 12 800 – 220 V, trifásico, de 60 Hz. El transformador esta conectado al ducto de barras del generador.

La excitación inicial es suministra de la batería de 110 v de la planta, por un transformador auxiliar de 7,5 KVA 460/25 V y un banco de rectificación. La selección de la batería se hace por medio de un conmutador instalado en el tablero de excitación del panel del regulador automático de voltaje (AVR), la alimentación normal de la planta es con corriente directa.

Cuando el generador alcanza 95% de la velocidad, se cierra el interruptor de excitación. Cuando el voltaje en los terminales del generador llega al 30% de su valor nominal, el sistema de excitación propia empieza a funcionar y produce un voltaje de salida. Con el aumento de voltaje del generador, la corriente de excitación es transferida automáticamente de batería a propia excitación. Cuando el voltaje del generador llega a aproximadamente el 70% de su valor nominal, desconecta el banco de baterías.

1.1.6.2 Regulador automático de tensión o voltaje (AVR)

El voltaje del generador y la potencia reactiva del generador, están controlados por medio del ajuste de potencia de salida de los tiristores. Este ajuste se obtiene por el regulador de tensión. El regulador de tensión tiene dos modos de operación: manual y automático, determinados por la posición del conmutador de control, (43-90) localizado en el tablero de excitación, en el panel del AVR.

La señal de tensión del generador para comparar con la tensión de referencia, se obtiene a través del transformador de tensión. La diferencia entre la tensión de referencia y la tensión en las terminales del generador, esta procesada electrónicamente y utilizada para variar la potencia de salida de los tiristores. El voltaje de la referencia se puede ajustar al valor deseado por medio del conmutador 90/cs localizado sobre la consola de control en la sala de mando o en el tablero de control de la unidad en el nivel 296.5 msnm.

El regulador automático de tensión esta provisto con los siguientes componentes adicionales.

- Compensador de caída de tensión de las líneas: este compensador permite la operación de los generadores en paralelo. Los módulos del compensador están conectados de tal forma que el voltaje resultante disminuya proporcionalmente a la potencia reactiva de salida. Este compensador podrá ser usado para compensar la caída reactiva en los transformadores o en una línea de transmisión larga.
- Limitador de excitación mínima: este impide la baja excitación del generador. El circulo de las características de limitación de excitación esta fijado de acuerdo con la curva de capacidad y la curva de limitación estable del generador. Cuando el limitador opera, hay una señal de alarma local y en la sala de mando.
- Limitador de excitación máxima: este evita que el AVR aumente de excitación fuera de su valor nominal, y así protege las bobinas del campo del generador de cualquier sobre calentamiento. Cuando el limitador opera hay una señal de alarma local y en la sala de mando.

1.1.6.3 Interruptor de campo

El interruptor de excitación conecta el circuito de la salida de los tiristores al campo del generador. En forma automática de operación de la unidad, el interruptor de excitación cierra automáticamente una vez que la unidad alcanza la velocidad de 95%, si no existe ninguna falla y el módulo 90E esta en posición de marcha en vacio. El interruptor se puede cerrar manualmente desde el tablero de excitación.

El interruptor se dispara por los relés de parada, pero solo cuando el interruptor del generador ya esta abierto.

Al abrir el interruptor de excitación, se conecta automáticamente una resistencia para descargar la energía en los polos.

1.1.7 Sistema de frenos mecánicos y gatos

Esta compuesto por tres unidades repartidas simétricamente abajo del anillo del rotor, esta provisto para cada generador con suficiente capacidad para parar la unidad del 20% de velocidad a 0% en 1,5 a 2 minutos. Los frenos operan con aire comprimido suministrado por el sistema de aire comprimido de la planta. Las mismas unidades de frenos están diseñadas para ser utilizadas como gatos hidráulicos para levantar el rotor del generador y el rodete de la turbina para cualquier trabajo, esta función se obtiene al utilizar aceite de alta presión en lugar de aire comprimido.

Una bomba portátil de alta presión de aceite y de operación manual se puede colocar, en la entrada de cada generador, que tiene las tuberías de presión de aceite, de drenaje y de aire, con válvulas extendidas hasta afuera de

la cámara del generador en un lugar accesible para la conexión de la bomba portátil.

1.1.8 Calentadores de ambiente dentro de la cámara del generador

Durante las paradas largas, los devanados del generador deben de ser protegidos contra la condensación por seis calentadores de ambiente cada uno de 3 kw, localizados dentro de la cámara del generador. Los calentadores deben de estar desconectados durante la operación de la máquina.

El interruptor y el control de los calentadores se encuentran en el centro de control de motores de cada unidad en el nivel 296,5 msnm.

1.1.9 Bomba de izamiento del eje, turbina y generador

Cada generador esta provisto dentro de la cámara del generador con una bomba de aceite de alta presión, para lubricar el cojinete de empuje cuando la velocidad del generador no es la suficientemente alta para auto lubricarse.

La bomba se puede arrancar desde el centro de control de motores de cada unidad en forma de control manual. En la forma de control "auto", la bomba se arranca cuando la válvula esférica se abre más del 30%. La bomba se para automáticamente cuando la unidad alcanza la velocidad de 95% del valor nominal. Durante la secuencia de parada, la bomba se arranca automáticamente cuando los relés maestros de arranque se corta la corriente para recibir orden de parada a la unidad y la bomba se para 90 segundos después de que la velocidad de la unidad llega al 0%.

La presión de trabajo que alcanza la bomba es de 250 bar para poder levantar el eje y todos sus componentes.

1.1.10 Transformadores principales de voltaje

Los transformadores principales trifásicos, elevan la tensión de generación de 13,8 kv a la tensión de transmisión de 230 kv. Los transformadores son de fabricación japonesa marca Toshiba, hay un transformador por cada unidad mas uno de reserva, o sea 6.

La impedancia promedio de cada transformador es de 10,1% a base de 54,1 MVA. Los devanados de baja tensión están conectados en delta. El ducto colector de barras, conecta los devanados de baja tensión con el generador.

Los devanados de alta tensión están conectados en estrella. La conexión del transformador con el equipo del patio de conexión, se realiza por medio de los conductores aéreos, dos por fase. El buje de neutro del transformador, esta puesto a tierra y esta provisto con un transformador de corriente de 100:5 A para el relé de falla a tierra, cada fase de alta tensión del transformador, tiene un pararrayos.

El sistema de enfriamiento del transformador, es por medio de 12 ventiladores. Los ventiladores arrancan cuando la temperatura del aceite alcance los 65 °C, y se paran al bajar la temperatura del aceite a 55 °C.

Cada transformador esta provisto con los siguientes dispositivos de supervisión y protección.

- Indicador de temperatura del aceite con tres contactos ajustables para el arranque de los ventiladores, alarma y disparo
- Indicador de temperatura de devanados, de imagen térmica, con dos contactos ajustables para alarma y disparo
- Indicador del nivel del aceite con contactos para el nivel bajo y nivel alto.
- Relé Buchholz con dos contactos, para alarma y disparo
- Relé de sobrepresión con un contacto de disparo
- Un fin de carrera en el mecanismo del selector de tensión para alarma

1.1.11 Detector mecánico de sobre velocidad

Independientemente del equipo de supervisión de velocidad Deuta, cada unidad esta provista con un detector centrífugo (2231), para la supervisión adicional de sobre velocidad. Este detector esta constituido esencialmente de un péndulo centrífugo y una válvula hidráulica. El péndulo esta montado sobre el disco de dientes, la válvula hidráulica en el revestimiento del eje.

El péndulo consiste en un peso que puede girar en torno a un eje y a cuyo giro se oponen unos resortes. Con el ajuste adecuado de los resortes, se consigue que el péndulo se desplace a un cierto valor de velocidad que es aproximadamente de 469 rpm o 130% de velocidad nominal. Cuando el péndulo se desplaza, empuja un trinquete que libera el vástago cargado con un resorte, accionando así la válvula hidráulica, la cual produce el paro de emergencia por corte en el circuito de aceite a presión, que manda el servomotor.

La acción del péndulo, al liberar la válvula, acciona también unos contactos que se utilizan para completar la secuencia de parada de emergencia. Para reponer la válvula del péndulo centrífugo, debe tirarse de los dos vástagos

comunes, botones rojo y negro, para que se cargue nuevamente el resorte de la válvula hidráulica y enganche el trinquete.

1.1.12 Operación de la maquina con tres o con seis toberas

A fin de poder optimizar el rendimiento de la máquina en un rango amplio de potencias, se ha previsto la posibilidad de operación con tres toberas o con seis toberas.

La decisión de operar depende de la potencia a generar para el aprovechamiento del agua, o sea ahorrar este líquido.

El mejor rendimiento con tres toberas funcionando se encuentra en el punto de operación que corresponde a la potencia suministrada por la turbina que es de 20,33 Mw/h, con un rendimiento de 91% y con un caudal de 5,32 metros cúbicos sobre segundo.

Con tres toberas la máxima potencia que se puede generar es de 30 MW/h, porque la apertura de las agujas es al 100 %.

1.1.13 Consideraciones sobre el rendimiento de las máquinas

Las máquinas en Quixal poseen un buen rendimiento, en un rango amplio de apertura de toberas y dentro de todo el campo de caídas netas que son operables.

Con aperturas por encima del 80%, el rendimiento disminuye un poco, pero se mantiene en valores relativamente altos y prácticamente con un valor por encima del 90%. En todo el rango de operación la turbina no presenta fallas.

Desde el punto de vista de la optimización del rendimiento global, es importante tener en cuenta que debido a la longitud y características del túnel de aducción, tiene lugar una pérdida de carga significativa, que incide fuertemente en el rendimiento global de la instalación, por lo que resulta ventajoso el evitar, dentro de lo posible, la operación prolongada, con un nivel de carga muy elevado, y operar durante la época de estiaje con una carga cuya desviación del promedio sea poca.

La explotación de la planta se realiza dentro de un sistema eléctrico interconectado, por lo que las necesidades de potencia y energía vienen condicionadas por las características de este sistema.

Para optimizar el rendimiento de la operación, deben operarse las unidades de manera que el rendimiento global de la planta sea el mayor posible.

El comportamiento de las unidades y de toda la instalación, varía fundamentalmente, según la carga de las máquinas, la carga total de la planta y el nivel del embalse.

El rendimiento global de la planta depende de la combinación de estos factores.

En el año, en la época de invierno, en que el caudal afluente es mayor que el efluente y particularmente, cuando el embalse rebalsa, el rendimiento específico de la planta, entendido como los MW que por cada m^3/s , se generan, no cobra tanta importancia como en la época de verano, cuando el caudal afluente es menor que el efluente.

Durante el invierno, para optimizar la explotación de la planta, puede darse prioridad a la producción máxima de energía y dar menos importancia al valor específico del rendimiento. En la época del verano, la optimización de la explotación esta estrechamente ligada a la optimización del rendimiento global de la planta.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1 Sistema actual de enfriamiento

En caso de deficiencia del sistema de enfriamiento, las temperaturas pueden superar el límite admisible de los materiales con reducción de la vida útil del generador. Las altas velocidades y los caudales de aire necesarios para la ventilación generan pérdidas por rozamiento que también deben de ser disipadas por el sistema de enfriamiento. Estas pérdidas tienen gran influencia en el generador debido a que en la generalidad de los casos es la mayor de las pérdidas comparada con otros tipos de pérdidas.

2.1.1 Conceptos generales

Son la base para el entendimiento de los problemas que se dan en los sistemas de enfriamiento que tienen contacto con el agua, ya que por los costoso que resulta el previo tratamiento del agua antes de ser usada para los equipos se utiliza tal y como viene, lo que ocasiona a veces paros indebidos, en las máquinas porque trae muchos sedimentos, lodos, residuos químicos etc.

2.1.1.1 Enfriamiento por medio de agua

Una torre de enfriamiento es básicamente un intercambiador de calor, transfiriendo calor del agua a la atmosfera por recirculación de aire.

El agua se utiliza en la industria, en formas diferentes, por su bajo costo, su gran abastecimiento y sus propiedades térmicas únicas. De toda el agua

utilizada, la mayor parte se usa como refrigerante para absorber energía calorífica.

El agua es frecuentemente utilizada como refrigerante, mientras la temperatura sea menor que la de la sustancia que se está enfriando, para mantener un enfriamiento máximo, el agua caliente debe reemplazarse por agua fría.

Existen dos formas de suministrar agua de enfriamiento.

- a. El agua caliente puede ser descargada y reemplazada por agua fría
- b. El agua caliente puede enfriarse y utilizarse nuevamente para un enfriamiento posterior

Debido a que la primera de estas dos posibilidades de suministrar agua de enfriamiento resultaría demasiado costosa, y la cantidad de agua que se necesita cada día es grande, que muchos abastecimientos no serán capaces de proveer la suficiente cantidad de agua, se puede concluir que la mejor forma de tratar con el agua caliente es enfriarla y utilizarla nuevamente. Existen dos tipos de sistemas de recirculación de agua de enfriamiento, sistema de circuito abierto y sistema de circuito cerrado.

2.1.1.1.1 Sistema de enfriamiento de circuito cerrado

Los sistemas de refrigeración de circuito cerrado son los más utilizados para las grandes máquinas. El mismo aire vuelve a ser utilizado continuamente para el enfriamiento del generador; el aire caliente que sale del generador, se hace pasar por refrigeradores tubulares, situados en los conductos de aire; por

el interior de los tubos pasa agua que se utiliza como agente refrigerante del aire de refrigeración.

El sistema de refrigeración de circuito cerrado presenta claras ventajas sobre los sistemas de circuito abierto; por ejemplo:

- a) Las impurezas del aire están completamente eliminadas
- b) No existe peligro de incendio
- c) Ocupa mucho menos espacio que el sistema de refrigeración de circuito abierto, por la menor longitud de los conductos de refrigeración, lo que permite muchas veces una reducción de la superficie de la sala de máquinas y una disposición mas clara de las canalizaciones eléctricas

Los refrigeradores de aire se sitúan preferentemente debajo o a los lados de los generadores, y no encima de estos, de forma que con la condensación en los refrigeradores, cuando están fuera de servicio, no caigan gotas de agua sobre el arrollamiento de las máquinas. En las centrales hidráulicas, donde se dispone de agua abundante, se utiliza generalmente agua corriente, que funciona en circuito abierto, vertiéndose el líquido ya utilizado al canal o tubería de agua del desfogue.

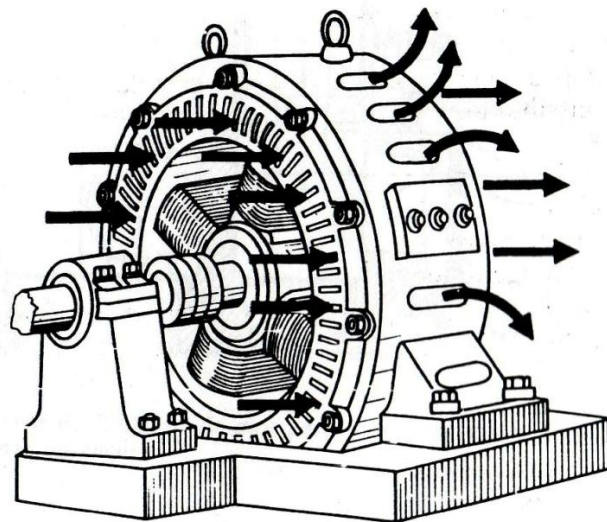
En los generadores para centrales hidráulicas se utiliza casi exclusivamente la refrigeración por aire. En los turbogeneradores, sin embargo, y debido a la gran cantidad de calor que ha de evacuarse, por causa de su mayor velocidad, la refrigeración por aire, solamente se aplica a pequeñas unidades. En los turbogeneradores de mediana y gran potencia se utilizan otros procedimientos de enfriamiento.

2.1.1.1.2 Sistema de enfriamiento de circuito abierto

Se puede definir un circuito de enfriamiento abierto como aquellas en las que no se utiliza ninguna presión estática para forzar el aire a través de los canales de ventilación. Generalmente, estos generadores están provistos de ventiladores axiales, calados en el eje. La circulación de aire que producen es debida a la fuerza viva comunicada al aire por sus paletas. Los polos en estas máquinas producen una presión que facilita el paso del aire.

En las máquinas pequeñas, el aire se aspira directamente y se restituye después a la sala de máquinas como en la figura 5.

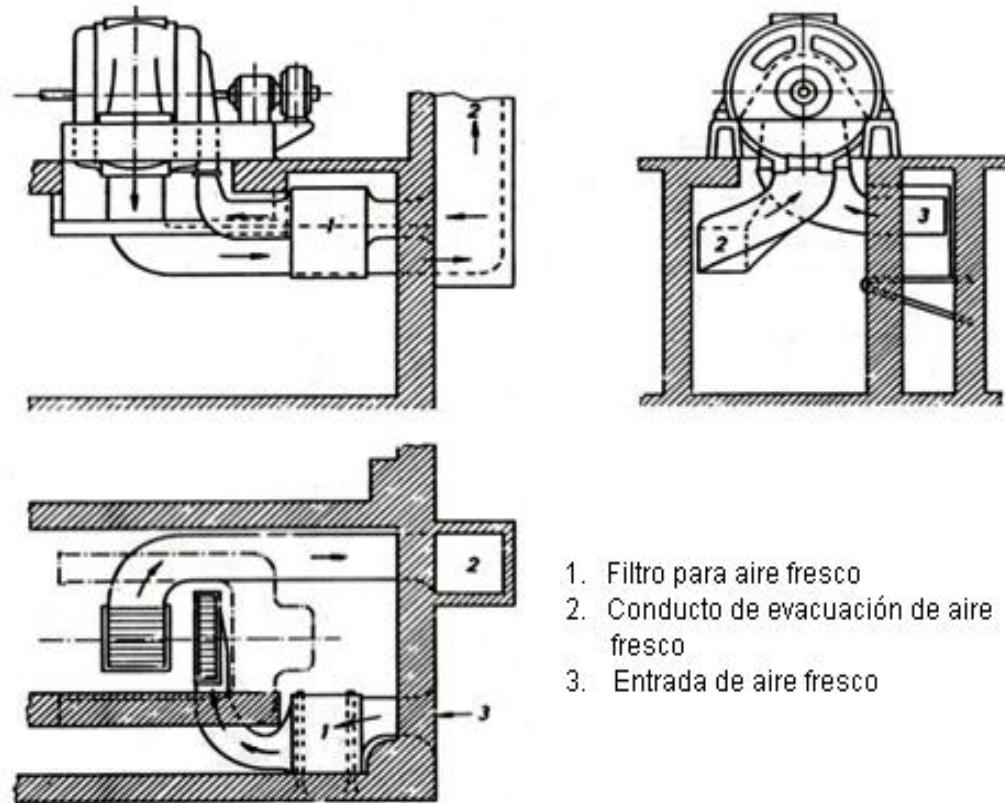
Figura 5. Enfriamiento por aire



Fuente: www.wikipedia.org

Para generadores de mayor potencia se aspira el aire fresco del exterior y se descarga después mediante canalizaciones separadas como en la siguiente figura 6.

Figura 6. Aspiración de aire por medio de canales



Fuente: www.wikipedia.org

Se presenta un sistema de limpieza de aire para la refrigeración de un turbogenerador de pequeña potencia. En la entrada de aire se dispone una cámara donde se deposita el polvo, gracias a una considerable disminución de la velocidad que permite que el polvo arrastrado tenga tiempo de depositarse; después, se hace pasar el aire por un filtro en el que se limpia completamente; a la salida del filtro, el aire se hace pasar por los conductos de ventilación algunas veces por medio de un aspirador.

Los filtros pueden ser secos o húmedos. Los filtros secos están constituidos por telas metálicas finas, revestidas de franela o, en otras ocasiones, por lana de vidrio o por fibras empapadas con aceite. Existe el riesgo de incendio por lo que es preciso alejar el filtro del generador y protegerlo por medio de un enrejado.

En los filtros húmedos, se hace caer agua finamente pulverizada a través del conducto, que elimina las partículas de polvo y, a la vez, enfría el aire, con lo que la refrigeración resulta más eficaz.

Los filtros húmedos necesitan mucho espacio y el aire de refrigeración; contiene un alto grado de humedad, por lo que, modernamente tienden a utilizarse cada vez más los sistemas de aire de circuito cerrado.

2.1.2 Intercambiadores de calor

En los sistemas mecánicos, químicos, nucleares y otros, ocurre que el calor debe ser transferido de un lugar a otro, o bien de un fluido a otro. Los intercambiadores son los dispositivos que permiten realizar dicha tarea. Un entendimiento básico de los componentes mecánicos de los intercambiadores de calor es necesario para poder comprender cómo estos funcionan y operan para un adecuado desempeño.

La función de los intercambiadores de calor es la transferencia de calor, donde los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. Se debe tener en mente que el calor solo se transfiere en una sola dirección, del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura. En los intercambiadores de calor los fluidos utilizados no están en contacto entre ellos, el calor al

encontrarse ambos fluidos en contacto térmico con las paredes metálicas que los separan.

En las industrias de proceso, la transferencia de calor entre dos fluidos casi siempre se lleva a cabo en intercambiadores de calor.

El tipo más común es uno en el cual el fluido caliente y el frío no entran en contacto directo el uno con el otro, sino que están separados por una pared de tubos o una superficie plana o curvada. La transferencia de calor se efectúa por convección desde el fluido caliente a la pared o la superficie de los tubos, a través de la pared de los tubos o placa por conducción, y luego por convección la fluido frío.

Existen muchos aspectos que se consideran para el buen funcionamiento de los intercambiadores de calor, estos son: esfuerzos mecánicos y dilataciones térmicas en las tuberías, problemas de corrosión, depósitos de sólidos en las líneas de flujo y caídas de presión.

Cuando los fluidos caliente y frío de un intercambiador de calor circulan con un flujo a contracorriente verdadero o con flujo paralelo, debe usarse la media logarítmica de las diferencias de temperaturas (ΔT_{lm}):

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$$

2.1.3 Problemas por el agua de enfriamiento

El agua de recuperación que se usa en los sistemas de enfriamiento, generalmente proviene de recursos naturales tales como ríos, lagos y pozos;

cuando llega a la planta, contiene demasiadas impurezas. El agua disuelve casi todo lo que se pone en contacto con ella, por lo que se considera que es un buen solvente. Además, de disolver sólidos, puede absorber gases. También colecciona pequeñas partículas de sólidos suspendidos como arena, óxidos y otros sólidos que quedan disueltos en ella.

El agua de recuperación esta propensa a contener sólidos disueltos y suspendidos, aunque esta pueda parecer perfectamente clara. Debido a que el agua circula varias veces a través de tubos, intercambiadores de calor, torre de enfriamiento y depósitos, recoge más sólidos. Estos sólidos aumentan porque el agua disuelve un poco de la superficie con la que se pone en contacto.

El agua que fluye, por ejemplo, en una torre de enfriamiento contribuye al crecimiento de impurezas en la torre. El aire puede contener gases industriales, polvo, basura y microorganismos, los cuales son dañinos al equipo del intercambiador de calor.

En el caso de la hidroeléctrica de Chixoy el agua que se utiliza para enfriar los generadores es el agua del desfogue o sea agua que paso previamente moviendo la turbina, esta contiene desgaste de piezas, aceites y grasas, lo que ocasiona corrosión en los componentes con los que tiene contacto. Posee mucha sedimentación que taponan los intercambiadores de calor.

En esta sección se consideran los problemas del agua de enfriamiento, los cuales, principalmente reducen la eficiencia de operación o acortan la vida útil de los sistemas. Además, existen otros tipos de problemas tales como el impacto ambiental resultante del potencial de contaminación del agua por medio de las purgas o descargas de los sistemas, así como también la contaminación del aire por medio del tiro de las torres de enfriamiento.

2.1.3.1 Tipos y efectos de las impurezas

Los tipos de impurezas que se encuentran en el agua son muchas y solo se mencionan las más conocidas y que pueda afectar al equipo de generación. Por ejemplo; están las grasas y aceites, sedimentación, químicos por la degradación de los bosques, fertilizantes que son utilizados en la agricultura y que son arrastradas por las lluvias hacia los ríos siendo estos la fuente principal para la generación de electricidad en hidroeléctricas, ya que se utiliza para mover las turbinas y para el enfriamiento.

Los efectos que causan las impurezas en los equipos, pueden ser: Corrosión en las piezas que tengan contacto directo con el agua, porque a veces no se tiene un sistema decantación de aguas por el costo que representa, también podemos mencionar los sedimentos que son depositados como lodos y taponan las tuberías esto produce incrustaciones.

2.1.3.1.1 Incrustaciones

Las diferentes impurezas tienen efectos diferentes en el sistema y en el equipo. Cuando la concentración de los sólidos disueltos se hace muy alta, se precipitan formando incrustaciones en la superficie del equipo de intercambio de calor.

Incrustaciones, es el nombre que se le da a los depósitos formados en las superficies de transferencia de calor por sólidos normalmente en solución.

Existen dos clases principales de materiales que forman incrustaciones que pueden causar problemas en el sistema del agua de enfriamiento. Estos

incluyen algunos tipos de compuestos de calcio y sílice, estos compuestos están presentes en el agua de circulación y recuperación con sólidos disueltos.

Los compuestos de sílice y calcio, tienen la propiedad inusual de transformarse en menos solubles a medida que la temperatura del agua aumenta; quiere decir que cuando el agua se calienta, puede contener menos compuestos de sílice y calcio que cuando están a menor temperatura.

Cuando el agua contiene estos compuestos, es llevada a su punto de ebullición en un recipiente, la incrustación se forma en los lados y el fondo del recipiente, esto también sucede cuando el agua de enfriamiento pasa a través de un intercambiador de calor.

Los depósitos de incrustaciones formados en las paredes del tubo de un intercambiador de calor tienen un efecto aislante que reduce la transferencia de calor.

2.1.3.1.2 Corrosión

La corrosión es la causa principal de la destrucción y las averías del equipo de enfriamiento. Es una reacción electroquímica que ataca los componentes de metal de un sistema de enfriamiento.

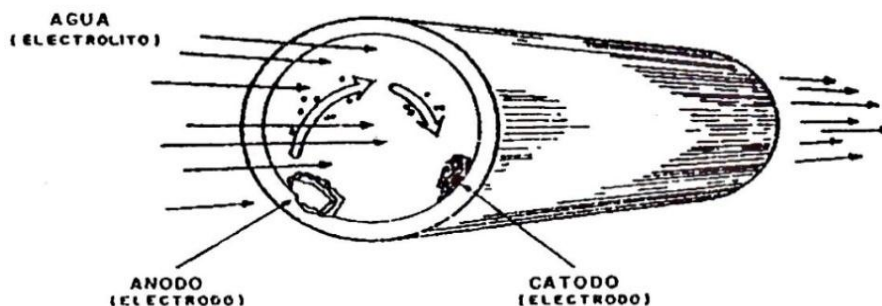
La corrosión ocurre cuando una corriente eléctrica fluye entre dos electrodos, a través de una solución acondicionadora llamada electrolito. La corrosión fluye del ánodo al cátodo a través del electrolito.

Los electrodos pueden ser dos materiales diferentes o pueden ser diferentes áreas del mismo metal. La corrosión es el resultado de dos áreas de un metal

que difieren en su potencial electrolítico. Si algún tipo de fuerza como torsión o dobladura se aplica a un punto del metal, el área está forzada, este esfuerzo debilita el metal, a tal punto que la hace más vulnerable a efectos de corrosión.

Una vez iniciada la corrosión, su avance se controla con mucha frecuencia por la naturaleza de las películas, como las pasivas, que se pueden formar o acumular en la superficie metálica. Ejemplo clásico es la película delgada que se forma en los aceros inoxidable. En la figura 7, se puede ver la corrosión electrolítica en una tubería.

Figura 7. **Corrosión electrolítica en tubería**



Fuente: www.wikipedia.org

Los productos insolubles de la corrosión pueden ser impermeables al líquido corrosivo y por lo tanto, ser completamente protectores, o bien, pueden ser bastante permeables y permitir la corrosión local o general, sin obstáculo.

Las películas no continuas o no uniformes, tienden a localizar la corrosión en zonas determinadas mediante la iniciación de efectos electrolíticos del tipo de celda de concentración.

Las películas pueden tender a retener o absorber la humedad y en esa forma, a retrasar el tiempo de desecación e incrementar el grado de la corrosión resultante de la exposición a la atmosfera o a los vapores corrosivos.

Además de las películas que se originan en el metal que se corroe, hay otras que se deben a la solución corrosiva. Entre ellas se incluyen varias sales, como carbonatos y sulfatos que se precipitan de soluciones calentadas y compuestos insolubles, como la piedra de cerveza, que se forma en las superficies metálicas en contacto con algunos productos específico.

2.1.3.1.3 Sedimento

Es un depósito de partículas insolubles los cuales se asientan fuera del agua. También puede adherirse a superficies verticales y pendientes entrampadas o cementadas, limo o babaza, productos de la corrosión, o materiales lubricantes aceitosas.

El origen son los sólidos suspendidos en el agua de reposición, la materia extraña extraída del aire que pasa a través de la tubería, así como las partículas producidas por el mismo sistema:

- La arena: puede entrar la sistema por el agua de reposición procedente de pozos o aguas superficiales sin filtrar, puede ser extraída del aire procedente de lugares de construcción o áridos, además puede producirse dentro del sistema por el deterioro del concreto.
- La arcilla y lodo: pueden entrar al sistema con el agua de reposición o ser extraídas del aire, y por la lluvia constante que lo arrastra. Esto es lo que caracteriza la planta Chixoy por la constante lluvia en sus riberas.

- Cenizas: pueden ser extraídas del aire, por la quema constante antes de las siembras.
- Productos de la corrosión: pueden producirse dentro del sistema de enfriamiento, además de los óxidos del metal, carbonatos o sulfuros; se pueden incluir fibras de asbesto o madera.

2.1.3.1.4 Aceites y grasas

Estos son insolubles en agua, y solubles en solvente. Son materiales orgánicos substancialmente no volátiles; en esta planta en particular por los componentes de la maquinaria que están sujetos a desgaste y que hay que estar lubricando las piezas, se tiene cierto derramamiento en el agua, pero esto se da únicamente en el tiempo de mantenimiento menor.

2.1.4 Descripción de los sistemas de enfriamiento

En la central hidroeléctrica están instalados varios sistemas para proveer de agua a las diversas instalaciones auxiliares necesarias para el servicio como agua de enfriamiento, aparatos de aire acondicionado, tanque de reserva de agua industrial, sistemas de agua potable y sistemas contra incendios.

Existen dos sistemas que se usan para enfriamiento, uno de ellos viene del tanque de agua industrial que por ser más limpia se utiliza para enfriar el sello del eje, al mismo tiempo le sirve de lubricante ya que éste es de teflón.

El otro sistema es el que se utiliza para enfriar los generadores, el agua es succionada directamente del desfogue, son 5 bombas las que se utilizan, una

para cada unidad; por la capacidad bombeo se usa también para el intercambiador de calor del cojinete de la turbina, para el intercambiador de calor del aceite del regulador y para la caja reductora del TWD.

2.1.4.1 Definición de los caudales necesarios

Los caudales que se necesitan para proveer agua a todos los sistemas de refrigeración y de servicios se aprecian en la tabla IV.

Tabla IV. **Caudales de sistema de enfriamiento**

Agua de refrigeración por generador, cojinetes de carga y de guía	22 550 l/mín
Agua de refrigeración por turbina: Para Cojinete guía y regulador	300 l/mín
Agua para el sello del eje	300 l/mín
Agua por compresor TWD y engranaje	190 l/mín
Agua para la turbina auxiliar (refrigeración del cojinete)	10 l/mín

Fuente: manual de sistema de enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

2.1.5 Bombas de agua de enfriamiento

Es una bomba centrífuga de varios escalones. Las características técnicas se describen a continuación en la tabla V.

Tabla V. Datos de la bomba de enfriamiento

Fabricante	KSB
Tipo	B14B/2
Altura	37 m
Caudal	6 720 l/s
Velocidad	1 750 rpm

Fuente: manual del sistema enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

Los datos técnicos del electromotor se aprecian en la tabla VI.

Tabla VI. Datos del electromotor de bomba de enfriamiento

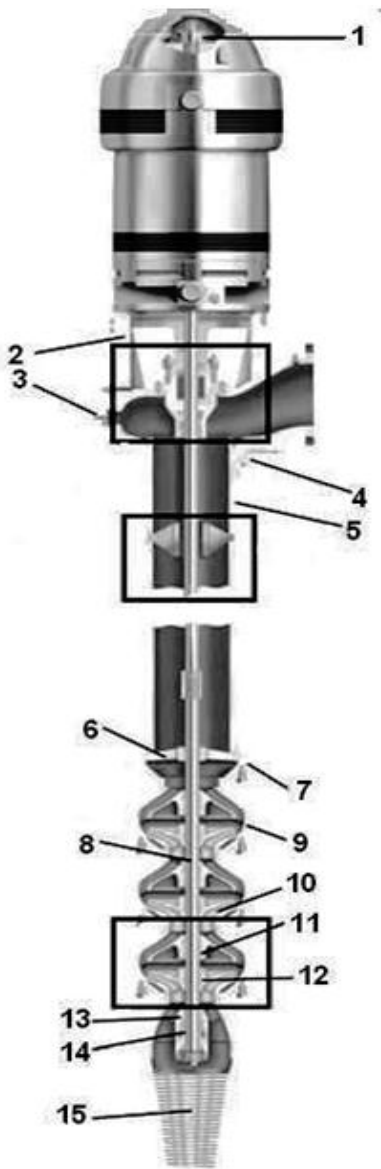
Fabricante	AEG
Tipo	AM 250 MV
Forma	V1
Protección	IP 44
Tensión	440 voltios
Frecuencia	60 Hertz
Velocidad	1 780 rpm
Potencia nominal	75 kW

Fuente: manual de sistema de enfriamiento tomo5,1, Hidroeléctrica de Chixoy

La bomba de pozo profundo es de tipo vertical, es escalonada, con un cuerpo seccionado en ángulo de 90 ° al eje. Dicho cuerpo se compone de los cuerpos de aspiración y de descarga, y de una serie de cuerpos de paletas directrices. Las diferentes partes del cuerpo van unidas mediante tornillos prisioneros y selladas entre si, mediante juntas planas. Los cuerpos de aspiración y descarga funcionan simultáneamente como cuerpo de cojinete

para el cojinete del eje de la bomba. En la figura 8 se aprecia la bomba de refrigeración utilizada en la hidroeléctrica.

Figura 8. **Bomba de refrigeración**



1. Tuerca de ajuste
2. Eje de descarga
3. Conexión pre lubricación
4. Adaptador de columna
5. Niple de ajuste
6. Cojinete de tazón de carga
7. Tazón de descarga
8. Eje de bomba
9. Tazones intermedios
10. Impulsores
11. Cojinetes de tazones
12. Collares de cierre
13. Collar de arena
14. Cojinete de tazón de succión
15. Cesta de aspiración opcional

Fuente: www.ksbpump.com

Para sellar los respectivos escalones en el interior, los cuerpos de aspiración y de paletas directrices, van equipados con un anillo de desgaste intercambiable, montado cerca del cuello del rodete. En cada cuerpo de paleta se encuentran fundidas paletas curvadas volumétricamente y en una talladura, casquillos de cojinete.

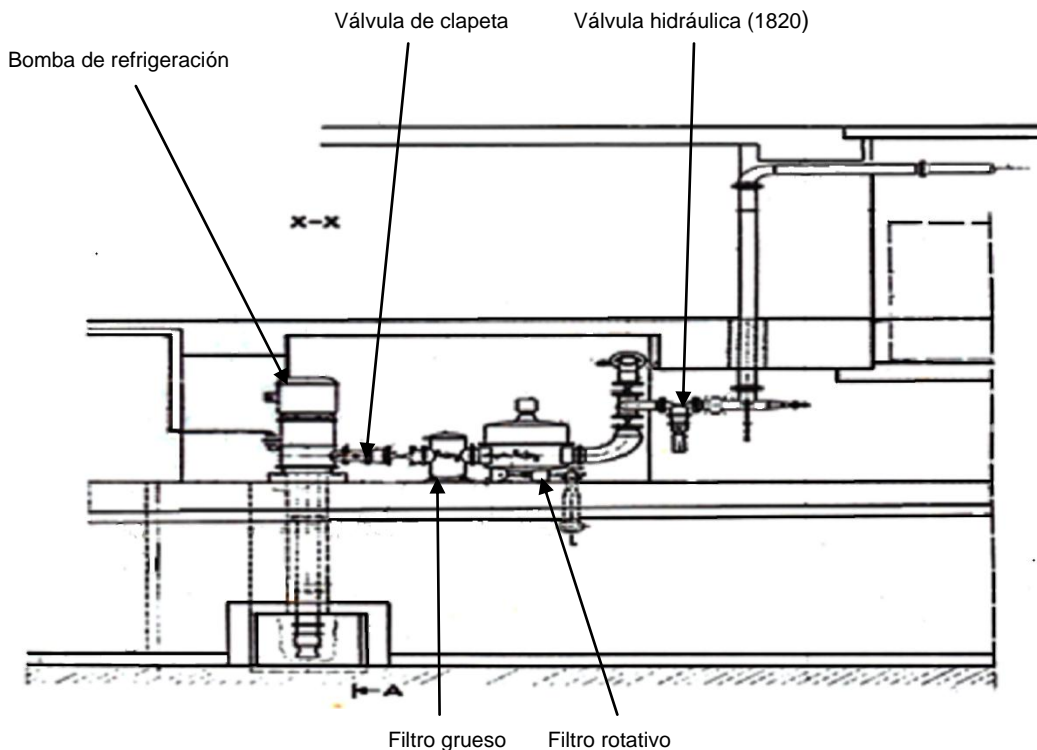
El número de cuerpos de paletas directrices corresponde al número de escalones de la bomba.

El rotor completo esta compuesto por todas las partes giratorias que se encuentran montadas sobre el eje de la bomba. El eje de la bomba transmite el momento de giro producido por la máquina de accionamiento a los rodetes, que están fijados mediante chavetas de ajuste a la posición radial sobre el eje de la bomba. Los rodetes están sujetos al eje por casquillos escalonados en posición axial.

Los rodetes son de un solo flujo, semi-axial y sin compensación hidráulica. El empuje axial que se produce que se produce es equilibrado mediante un cojinete de sustentación.

En todas las ejecuciones, los ejes de las bombas, intermedias y de accionamiento, van sin protección contra el líquido a elevar, por eso se han adoptado los materiales de los ejes a la agresividad del líquido a bombear. En la figura 9 se aprecia la configuración del sistema actual de enfriamiento.

Figura 9. **Configuración de sistema de enfriamiento actual**



Fuente: manual de sistema enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

2.1.6 Tipos de filtros del sistema

En la planta, en el sistema de enfriamiento de los generadores se utilizan dos tipos de filtro, debido a que están muy próximos a los equipos sujetos a este sistema.

a. Filtro grueso

El filtro consta de la carcasa cilíndrica con tapa desmontable y de un cartucho, el filtro posee una conexión para ventilación y otra para vaciado. En la figura 8 se aprecia el filtro grueso.

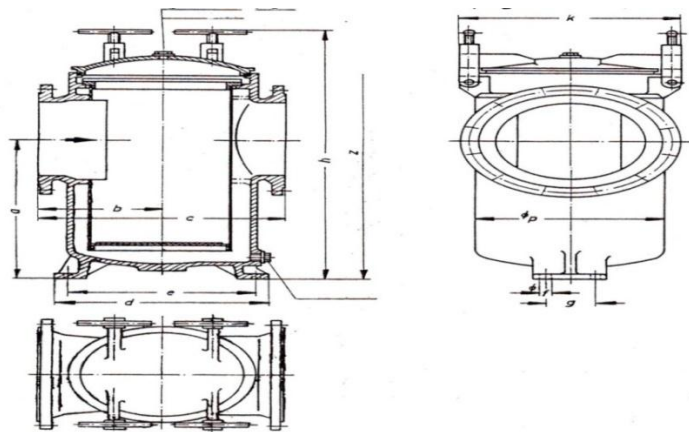
El filtrado tiene lugar en el cartucho con flujo del interior al exterior, la suciedad se queda en el fondo del cartucho y la carcasa del filtro debe de seguir limpia. El cartucho debe de ser limpiado cuando la presión diferencial alcanza 0,5 bar. El filtro posee dos manómetros una en la entrada y otro en la salida, para saber por diferencias de presión; si el filtro se encuentra sucio es fácil de desmontar para un mantenimiento regular. Los datos técnicos del filtro se aprecian en la tabla VII y en la figura 8 se aprecia la forma del filtro.

Tabla VII. **Datos técnicos de filtro grueso**

Fabricante	AKO
Tipo	A065-0002
Cartucho	Po35-1102
Material del cartucho	Acero inoxidable
Diámetro de orificios de malla	4 mm

Fuente: manual de sistema de enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

Figura 10. **Filtro grueso**



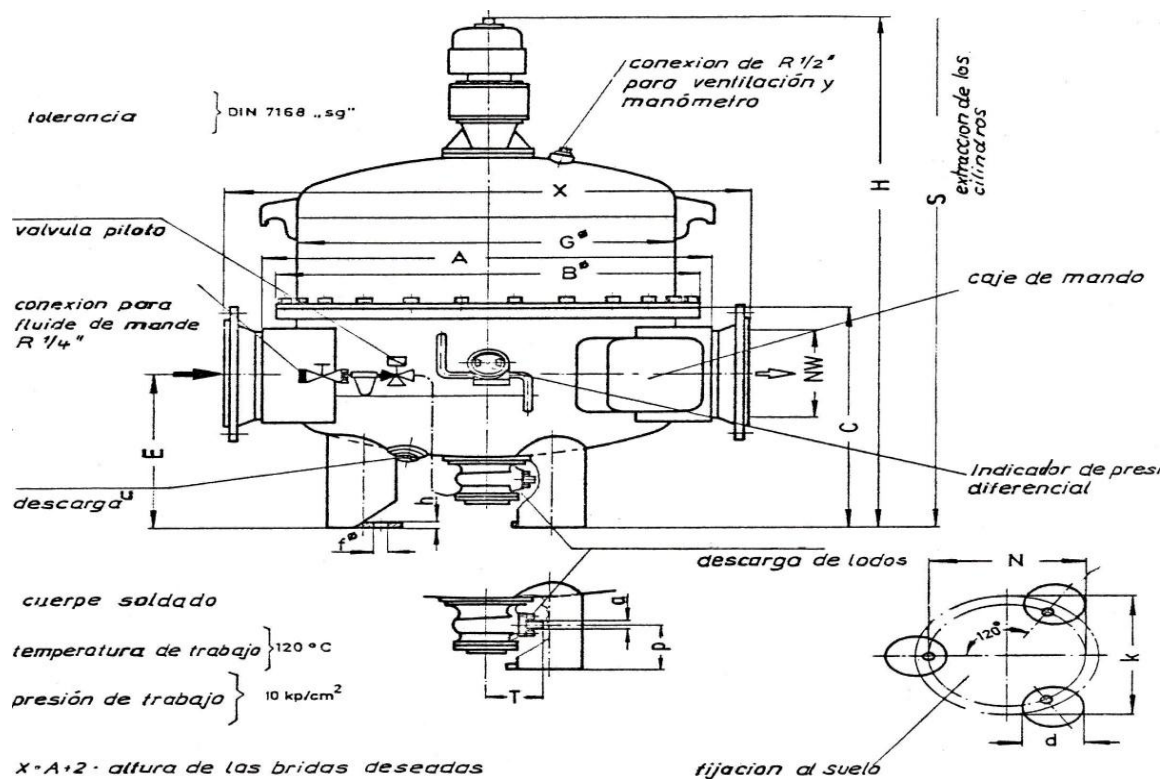
Fuente: manual de sistema enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

b. Filtro rotatorio:

El filtro automático de limpieza por contracorriente es apto para filtrar casi cualquier clase de líquidos.

El filtro se compone en lo esencial del cuerpo de acero, de la camisa cilíndrica doble de filtración, del dispositivo de limpieza con mando eléctrico, de la válvula automática para el vaciado del lodo y del mando eléctrico del sistema automático de evacuación de sedimentos. El filtro rotatorio es como el que se aprecia en la figura 9.

Figura 11. Filtro rotativo



Fuente: manual de sistema enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

Para controlar el ensuciamiento de la camisa doble de filtración se utiliza un indicador de la presión diferencial con contactos, que proporciona también el impulso para poner en marcha el proceso de limpieza por enjuague de retorno. Los datos técnicos del filtro se aprecian en la tabla VII

Tabla VIII. **Datos técnicos del filtro rotativo**

Fabricante	Boll & Kirch
Tipo	174-10, DN 300
Diámetro de orificios de malla	0,8 mm

Fuente: manual de sistema de enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

Funcionamiento del filtro en automático

El líquido a filtrar pasa por el cuerpo del filtro hacia la sección anular de la camisa cilíndrica doble.

La suciedad es retenida por el tejido, y se recoge en las numerosas cámaras de lodo. El líquido limpio abandona el filtro a través de la salida, conforme aumenta el ensuciamiento del filtro durante su uso, aumenta la presión diferencial, entre la entrada y la salida del filtro. Una vez alcanzada la presión diferencial determinada, se dispara el proceso de limpieza por enjuague de retorno mediante un impulso del indicador de contacto de la presión diferencial; la válvula de salida de lodos se abre y el motor empieza a mover el dispositivo de enjuague.

Debido a la sobrepresión que reina en el filtro, el líquido fluye en contracorriente a través del tejido de filtración, disuelve la suciedad que el tejido

lleva adherida y reunida en las numerosas cámaras, la hace pasar a través de la válvula de salida de lodos, hacia un recipiente de decantación. Durante el proceso de enjuague no se interrumpe el funcionamiento del filtro. Una vez limpio el filtro se desconecta automáticamente el proceso de limpieza.

El efecto de limpieza de un filtro con enjuague de retorno de lodos depende de cómo se instale el conducto de lodos.

Consigue el mejor efecto de limpieza instalando un conducto de lodos que recoja aproximadamente 1,5 por el volumen de enjuague, la sección indicada para la tubería.

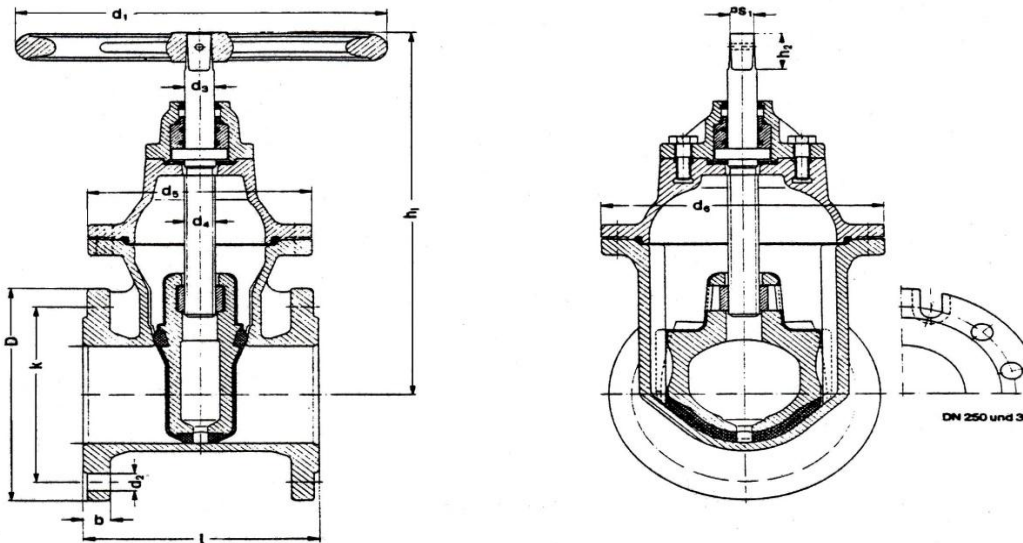
El enjuague se realiza en pocos segundos y a gran velocidad. Durante este proceso se acelera todo el contenido de la tubería a la velocidad de 10 m/s, con el fin de conseguir un efecto apreciable de enjuague.

2.1.7 Tipos de válvulas del sistema

Las válvulas que se utilizan en este sistema son: en su mayoría de retención, anti retorno o de compuerta.

Son dos válvulas de compuerta que permanecen siempre abiertas durante el régimen normal y deben de ser cerradas solamente para efectuar trabajos de revisión en el grupo de bombeo o filtrado y en la unidad. Es de compuerta BETA, marca VAG con cuerpo ovalado, de hierro fundido, con vástago o rosca interior, por unidad se utilizan dos, una para conectar hacia la tubería general y la otra para la unidad que le corresponde. En la figura 12 se aprecia una válvula de tipo compuerta.

Figura 12. **Válvula de compuerta**

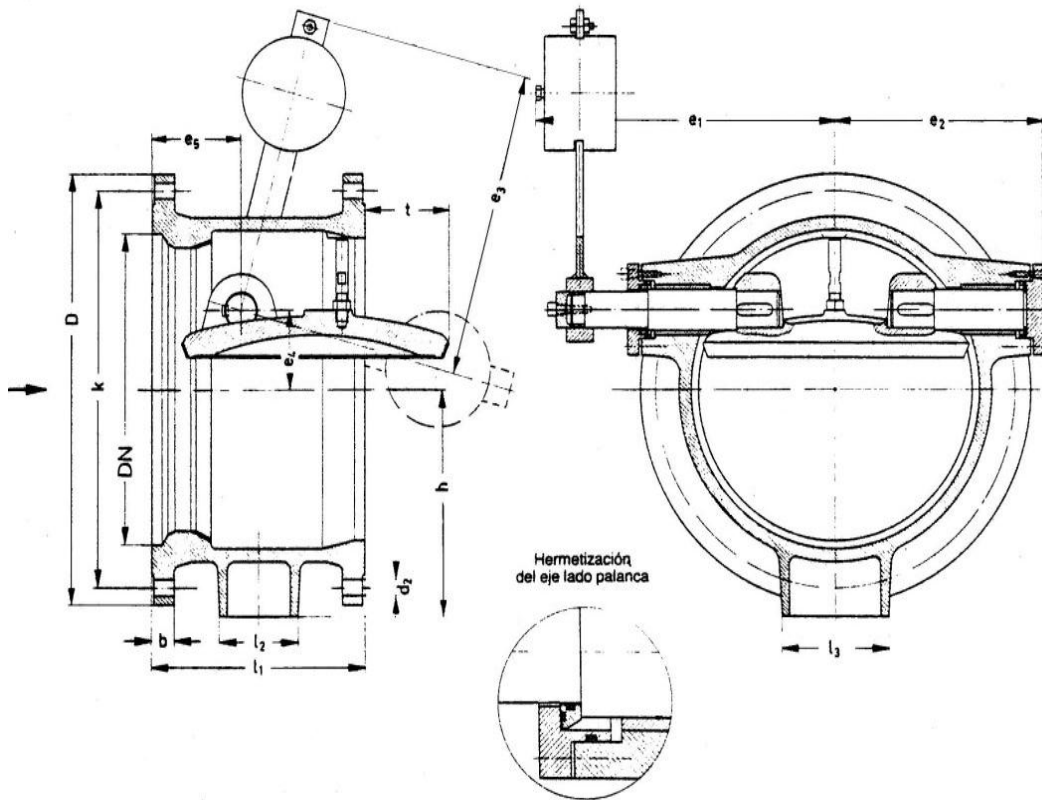


Fuente: manual de sistema de enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

Válvula de retención a clapeta basculante marca VAG, esta válvula sirve para cuando la bomba esta parada, y en contrapeso no se regrese el agua hacia el desfogue, ya que se mantiene abierta solo cuando la bomba esta funcionando por medio del flujo de agua; por regla general si las 5 turbinas están funcionando solo se utilizan 4 bombas, si fueran 4 turbinas serian 3 bombas, etc.

Para poderles dar cierto tiempo de descanso a las bombas y para no estar cerrando las válvulas de compuerta ya que las 5 bombas están conectadas por una tubería común y también para que la bomba no de su giro al contrario de su rotación, es como automático pero mecánicamente. La válvula se aprecia en la figura 13.

Figura 13. Válvula de clapeta con contrapeso



Fuente: manual de sistema de enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

2.1.8 Tuberías

La completa distribución del agua de enfriamiento consta de 5 sistemas de distribución, uno por cada unidad.

La alimentación de los sistemas de distribución tiene lugar a través de las válvulas de compuerta (1820), accionadas hidráulicamente por medio de aceite.

El flujo de agua de enfriamiento se divide después de la válvula de compuerta (1820), la cual se abre antes de arrancar la unidad, en la tubería principal al generador y la tubería a la turbina. La bifurcación se encuentra instalado un presostato para asegurar la presión mínima del agua de enfriamiento hasta la unidad.

La tubería de agua de enfriamiento a la turbina se divide a su vez en una tubería hacia el refrigerador del aceite de regulación y una tubería al refrigerador del aceite del cojinete de la turbina.

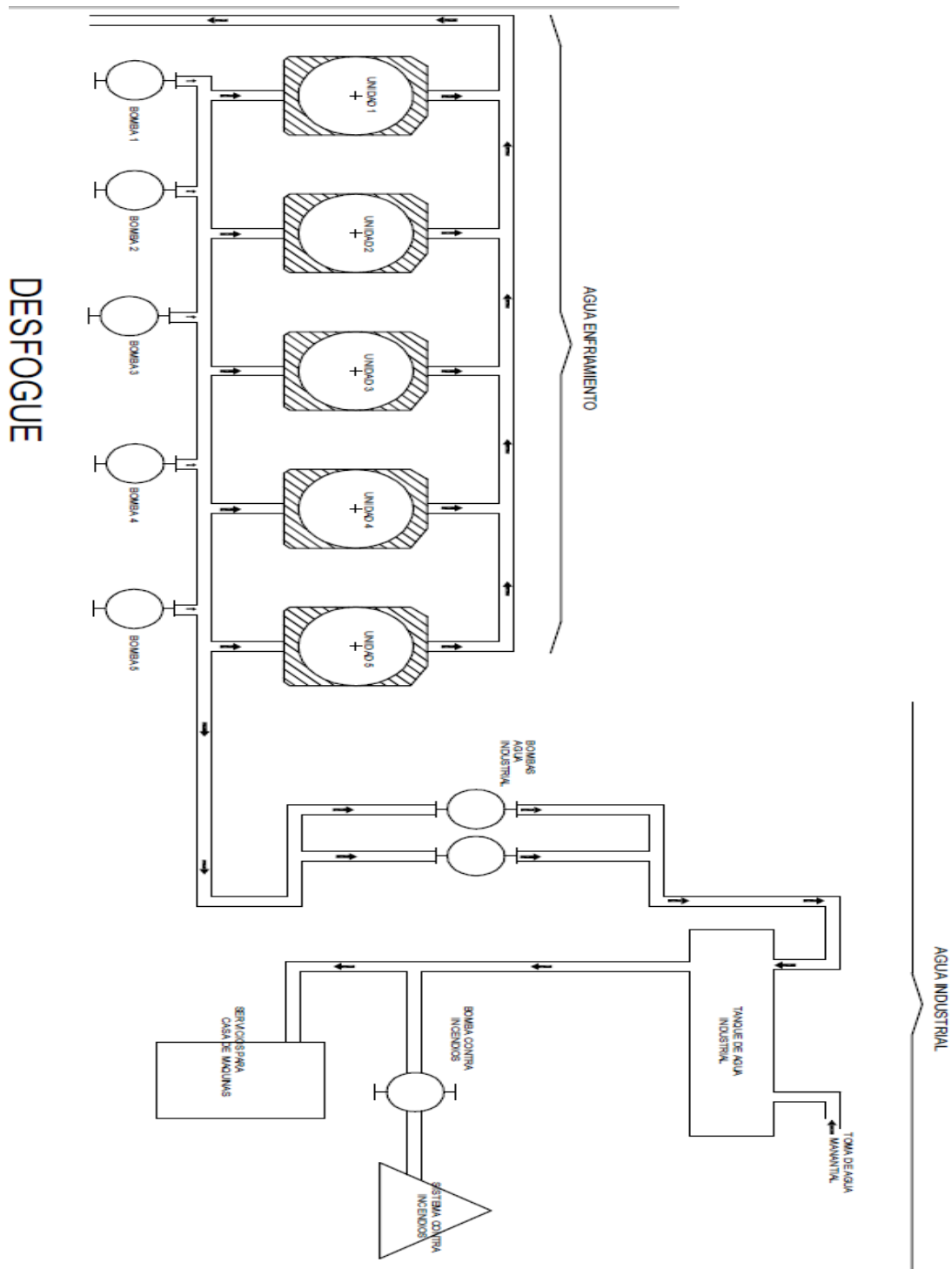
La tubería tiene un diámetro nominal de 10 pulgadas con conexiones trabajadas según normas DIN 2633, presión nominal de 16 bar.

Este sistema posee una tubería común donde se conectan las 5 bombas al mismo tiempo, o por su diseño si hay 5 máquinas trabajando solo se necesitan 4 bombas para mantener el caudal necesario, o si hubiera 4 se utilizan 3 bombas, también por si se tendría que hacer un trabajo de mantenimiento correctivo o preventivo.

2.1.9 Equipo sujeto a enfriamiento por el mismo sistema

El equipo sujeto a este sistema de enfriamiento es el generador y sus enfriadores, el intercambiador del cojinete inferior o de turbina, este se encuentra en la cámara de acoplamiento entre la turbina y el generador, intercambiador de cojinete superior y de carga, el intercambiador del regulador de velocidad hidráulico y el TWD. Cada uno se describe a continuación, y se aprecia el flujo de agua en la figura 14.

Figura 14. Flujo de agua de enfriamiento



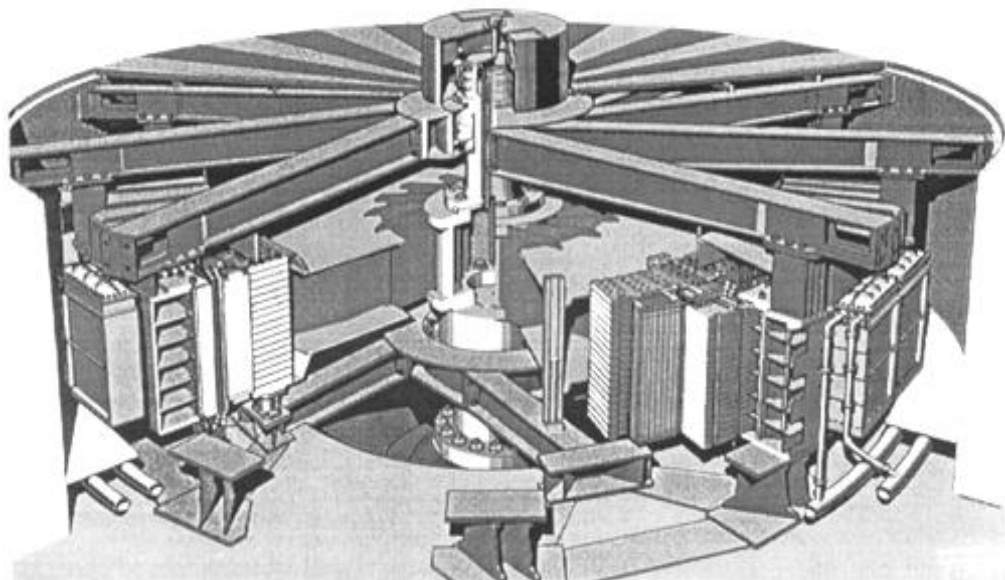
Fuente: propia

2.1.9.1 Generador

La cámara del generador es uno de los principales equipos a monitorear con respecto al sobrecalentamiento.

La circulación del aire de enfriamiento es hecha por la acción de los ventiladores del rotor, el diseño ha sido fabricado para lograr que exista contacto efectivo del aire con los componentes del generador. El aire circulara hacia afuera por las aberturas del marco del estator, a través de los enfriadores y regresa por las partes superior e inferior del rotor, el agua que fluye a través de los enfriadores estará por lo menos a 25° C. En la figura 15 se muestra un generador con sus respectivos radiadores o enfriadores.

Figura 15. **Cámara del generador**



Fuente: manual del generador de hidroeléctrica de Chixoy

Para mantener las temperaturas dentro de los límites admisibles en los hidrogenadores es necesario un sistema de ventilación y enfriamiento que permita disipar la potencia de pérdidas desde las partes activas a los enfriadores aire-agua.

En general, los hidrogenadores tienen sistemas con ventilación natural, es decir, el giro del rotor permite generar el caudal necesario, sin necesidad de ventiladores auxiliares.

2.1.9.1.1 Enfriadores de agua o radiadores

Los enfriadores de aire cumplen con la función de disipar la potencia de pérdida del generador, para mantener la temperatura entre los límites admisibles. El aire que circula por las partes activas del generador evacua el calor en el agua de enfriamiento para ser finalmente disipado en el medio exterior.

La falta de capacidad de intercambio de los enfriadores puede derivar en mayores temperaturas en el aire de enfriamiento y por ende en las partes activas del generador, haciendo, en casos extremos, que no se pueda entregar la potencia requerida por el generador.

La función que debe cumplir el enfriador es entregar aire frío a una temperatura que no supere los 40° C, según lo establecido por las normas. Esto se debe cumplir a pesar de las condiciones de ensuciamiento, potencia a disipar y temperaturas que se encuentren en sus valores máximos especificados.

La influencia del enfriador en las pérdidas de ventilación y en el rendimiento de la máquina, es tal que a medida que la capacidad del enfriador disminuye, tendremos que compensar ese déficit con mayor caudal de aire, y por ende las pérdidas por ventilación serán mayores.

Entonces, un ensuciamiento en los enfriadores da como resultado un rendimiento bajo de la producción de energía eléctrica.

Dentro de la cámara del generador hay seis enfriadores de aire, simétricamente espaciados alrededor del estator del generador, para mantener la temperatura del aire que penetra menor de los 40° C; cuando el generador opera continuamente bajo una condición especificada y agua de enfriamiento estará entre los 24 a 27° C.

Los enfriadores de aire, son pánales radiadores hechos de placas tubulares.

La tubería de los enfriadores de aire son de cobre y las placas tubulares son de bronce marino.

La cámara de circulación es fabricada de acero. Cada conexión entre los enfriadores y la tubería de circulación son del tipo de pestaña, una válvula es provista en cada entrada y salida de cada enfriador, de tal manera que fácilmente puede aislarse cada enfriador para el mantenimiento sin que esto interfiera con el resto de enfriadores.

El agua de enfriamiento para la superficie del enfriador de aire es alimentada desde la parte inferior de los enfriadores.

En parada de la máquina no hay circulación de agua, pero se toma por prioridad para el arranque, es parte de la disponibilidad la circulación de agua por los enfriadores; esto es controlado por un solenoide eléctrico que hace accionar una válvula hidráulica y tiene medidores de flujo en la salida para detectar por protección si esta circulando el agua. Los datos técnicos del enfriador se muestran en la tabla IX.

Tabla IX. **Datos técnicos del enfriador**

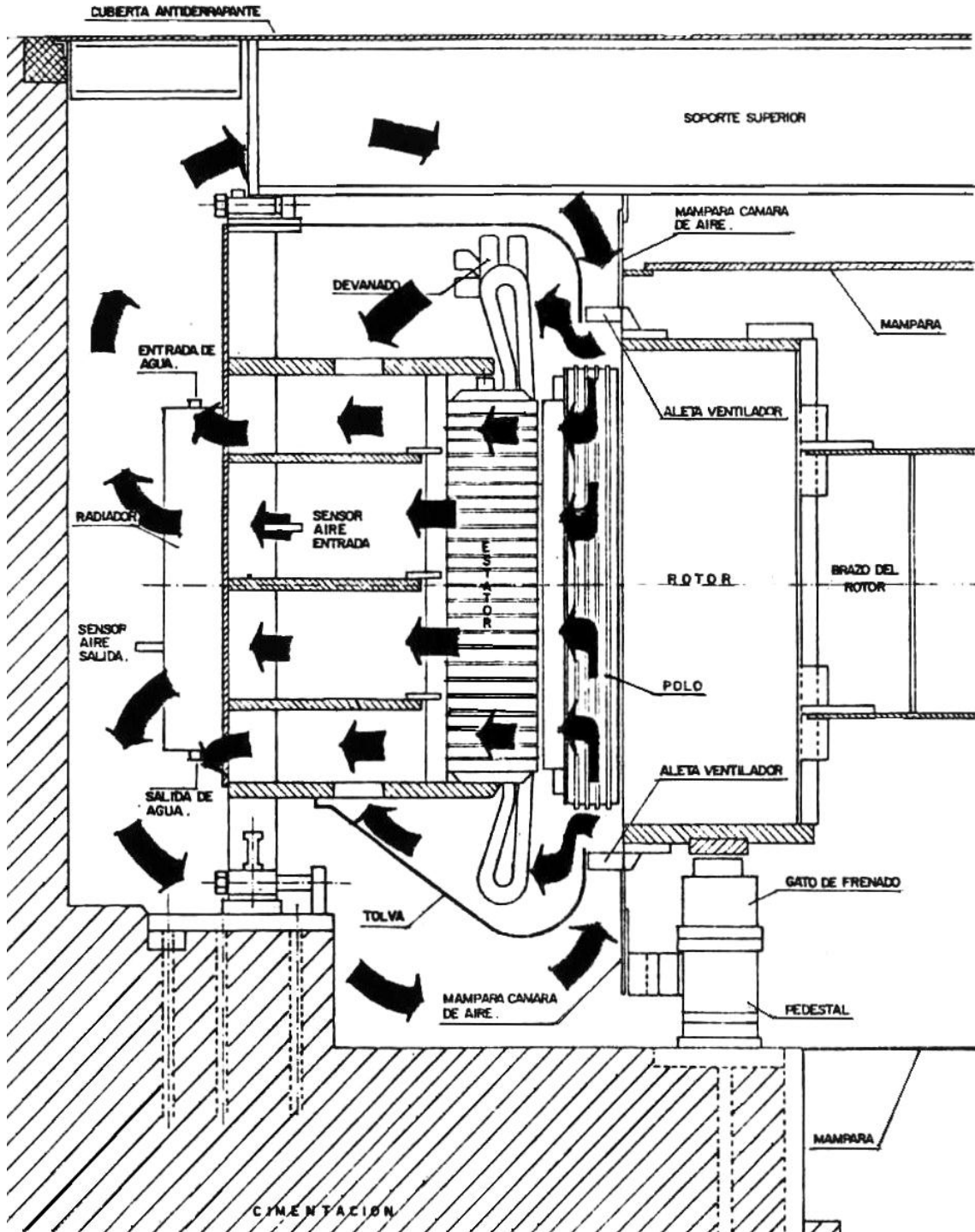
Marca	Enerfin	
Cantidad de agua	633,33	l/mín
Temperatura de agua de entrada	25	centígrados
Perdida de presión	199	Kpa
Presión de agua para prueba	735	Kpa
Superficie de refrigeración	191	m ²

Fuente: manual de sistema de enfriamiento tomo 5,1, hidroeléctrica de Chixoy

En la figura 16 se aprecia como el flujo de aire atraviesa el estator, arrastrando el calor hacia los radiadores, en circuito cerrado para evitar todo tipo de impurezas y humedad, dentro de la cámara del generador, la turbulencia es creada por unos ventiladores que van colocados en el rotor.

Los radiadores tienen dos sensores uno en la entrada y otro en la salida del flujo de aire que son las encargadas de monitorear la temperatura que se disipa en el proceso.

Figura 16. Flujo de aire entre radiadores y estator



Fuente: manual de turbina tomo 1,1, hidroeléctrica de Chixoy

2.1.9.2 Cojinete inferior

También se le conoce como el cojinete de turbina, ya que esta situado entre la turbina y el generador, en la cámara de acoplamiento. El cojinete es auto lubricado, de circulación forzada a través de un intercambiador de calor de aceite.

El cojinete de conchas, en dos mitades, es de acero revestido con metal blanco antifricción, sostenido por el soporte del cojinete y asegurado por tornillos. La cubeta de aceite esta ajustada al eje y asegurado por chavetas. Debido a la rotación se forma en la pared de la cuba un anillo giratorio de aceite en el cual se introducen las alas de represión. El aceite capturado sube por los tubos hasta el refrigerador de aceite. El aceite proveniente del refrigerador se introduce en el cojinete entre el eje y el revestimiento inferior del eje, cuyo aceite fluye para el pre lubricado del cojinete a través de válvula solenoide al arrancar la turbina.

2.1.9.2.1 Intercambiador de calor cojinete inferior

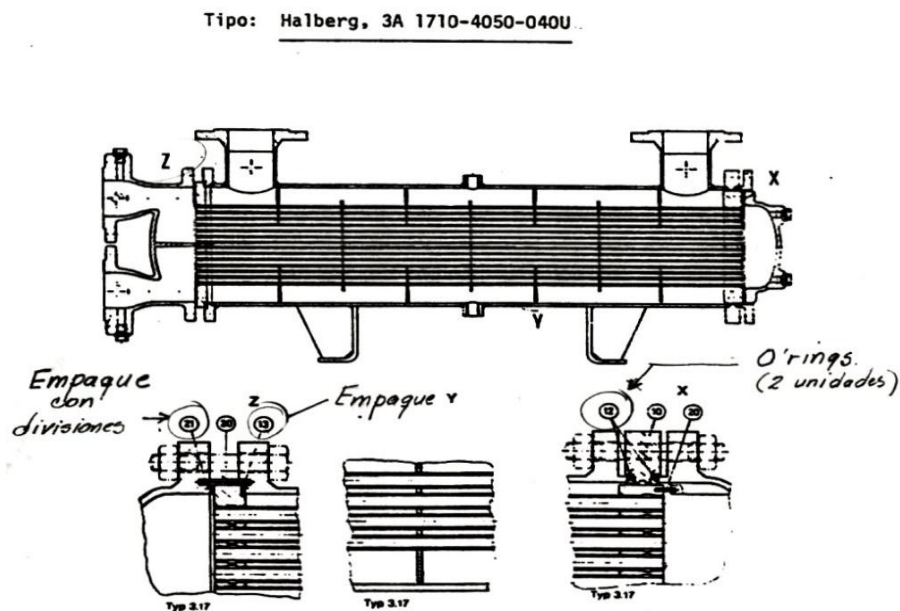
Se necesita un intercambiador de calor porque hay que enfriar el aceite que se utiliza para lubricar el cojinete de turbina.

Cuando se manejan flujos más grandes se usa un intercambiador llamado de tubo y coraza, que es el tipo más importante en la industria de proceso. Los flujos de estos intercambiadores son continuos.

Se usan muchos tubos en paralelo con uno de los fluidos circulando en su interior. Los tubos distribuidos en forma de manojo, están encerrados en una sola coraza y el otro fluido fluye por el exterior de los tubos, dentro de la coraza.

El aceite es recogido por unos deflectores que conforme las revoluciones de la máquina van aumentando, la circulación del aceite va mejorando. Se hace pasar por unos medidores de flujo antes de entrar al intercambiador de calor, el aceite es enfriado 4º C. El intercambiador es como se muestra en la figura 17.

Figura 17. **Intercambiador de calor de cojinete de turbina**



Fuente: manual de turbina tomo 1,1, hidroeléctrica de Chixoy

2.1.9.3 Cojinete guía superior y de carga

El grupo generador gira encima de un cojinete de apoyo, que se encuentra en la parte superior del generador, transmitiendo los esfuerzos al estator. El cojinete, esta formado por unos segmentos o patines recubiertos con un metal antifricción, la lubricación es el aspecto esencial a tomar en cuenta para el buen funcionamiento del cojinete, y para evitar daños en las piezas.

Durante el funcionamiento normal, la lubricación tienen lugar por efecto hidrodinámico, de manera que debido a la velocidad de la máquina y a detalles constructivos, el aceite de lubricación es presionado entre el anillo deslizante y los patines, creando la película necesaria de lubricación.

En la puesta en marcha y en la parada, no existe la velocidad adecuada para asegurar la película necesaria de lubricación. Para evitar daños y mejorar la lubricación, se ha dispuesto una inyección de aceite a alta presión que debe funcionar siempre en los procesos de arranque y parada.

Esta inyección de aceite es realizada por la denominada bomba de izamiento que no es más que una bomba de alta presión que en el momento del arranque tiene que levantar todo el conjunto. Esta bomba funciona a una presión de 250 bar, al llegar al 95% de rotación, se desconecta a esta velocidad por la rotación, de la máquina ya no necesita de la bomba; el cojinete va sumergido en un recipiente de aceite llamado cuba.

Es necesario que en el arranque y paro, la bomba de izamiento funcione efectivamente.

2.1.9.3.1 Intercambiador de calor cojinete guía superior

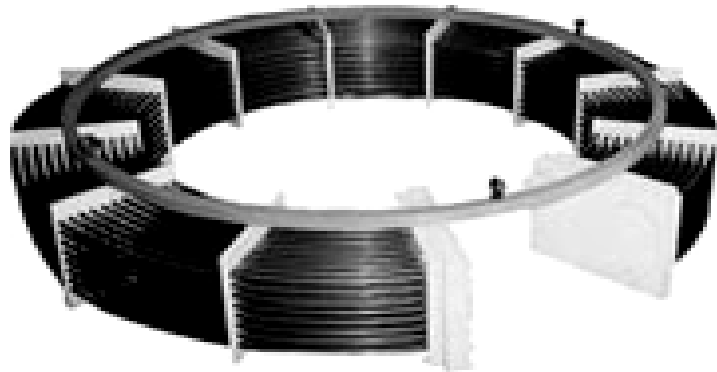
Este intercambiador es de tipo serpentín en espiral de 7,5 vueltas por 6 tubos (niveles).

Características:

- Los tubos son de aleación de cobre awthk tipo K, sin costura, según la norma ASTM B-88, de diámetro exterior 1,625 pulgadas, diámetro interior de 1,481 pulgadas, espesor de pared de 0,072 pulgadas, 0,0894 gal/pie lineal y presión máxima admisible de 33 bar
- Los soportes son de acero inoxidable 340 I. Presión de prueba 13 bar

Las características de transferencia térmica en relación a la configuración y tamaño de los tubos de cobre del serpentín, debido a que va sumergido en el aceite, y el agua circula por dentro de los tubos, hay un muy bajo coeficiente de transmisión de calor para el lado del aceite, debido a la baja velocidad del mismo entre los tubos. Se aprecia el serpentín en la figura 18.

Figura 18. **Serpentín de cojinete de carga y de empuje**



Fuente: manual de turbina tomo 1,1, hidroeléctrica de Chixoy

La cantidad de aceite a enfriar es de 2 500 litros, por lo que es necesario tener el aceite a una temperatura constante porque lubricará el cojinete guía y de empuje (combinado).

El nombre del aceite hidráulico que se utiliza es el Shell turbo 68 y este también es utilizado en el cojinete de turbina, en el regulador de velocidad y también es la misma cantidad que se utiliza.

2.1.9.4 Regulador hidráulico

El regulador hidráulico (1080), esta diseñado de una manera que forma una unidad junto con el abastecimiento de aceite a presión y con la válvula hidráulica distribuidora. La parte inferior esta diseñada como depósito, que puede contener todo el aceite necesario para la regulación y tiene un circuito cerrado de enfriamiento de su aceite. Los datos técnicos del regulador se aprecian en la tabla X.

Tabla X. Datos técnicos del regulador

No. Serie	1348		
Año de construcción	1980		
Tipo	P1-6/WO		
Trabajo de regulación	E (Deflector)	26 000	Nm
	E (Agujas)	6 X15 000	Nm
Máxima presión servicio	Po	37	bar
Mínima presión servicio	Pu	34	bar
Presión final	Pe	27	bar
Dimensiones	Largo	2 400	mm
	Alto	1 814	mm
	Ancho	3 080	mm
Peso sin aceite	Aprox.	5 400	kg
Peso con aceite	Aprox.	7 400	kg
Volumen max. Aceite	Aprox.	2 500	l

Fuente: manual del regulador hidráulico tomo 3,1, hidroeléctrica de Chixoy

Los equipos de regulación suministrados por Esher Wyss para las turbinas paltón de 6 toberas, para la regulación de la velocidad/potencia, están diseñadas para arranque y parada automática, así como para el servicio totalmente automatizado.

El regulador genera en los servomotores de los deflectores y de las agujas la fuerza para posicionarlos. El grupo de bombas allí instalado introduce aceite en el acumulador del aceite a presión, es el que mantiene la presión de trabajo en un parámetro de 34 a 37 bar, mediante una capa de aire a presión contenido dentro.

El servomotor del deflector es accionado por la válvula de distribución, también los servomotores de las agujas, son accionadas por las válvulas escalonadas de mando por medio de aceite a presión procedente del acumulador de aceite a presión.

El regulador esta dotado de varias válvulas para poder gobernar la rotación de la máquina y, este es el instrumento con que se cuenta para llevarla a velocidad de acuerdo a la exigencia de carga.

Los servomotores del deflector y de las agujas, están accionados por presión de aceite para su apertura y para el cierre, tiene unos diafragmas que descargan el aceite gradualmente, el aceite al depósito del regulador y por medio de la presión de agua las cierran sin que haya un esfuerzo mayor, esta presión es derivada de la tubería principal de presión cuya caída como ya sabemos es de 502 metros, lo que da una presión de 50 bar, todos estos movimientos son hechos por el regulador.

La medición de la velocidad de la turbina sucede sin contacto con el eje de la turbina, por medio de una sonda digital de velocidad que genera una señal analógica que es generada por la rueda dentada ajustada al eje. Es una sonda receptora de impulsos electromagnéticos, transmite los impulsos 1diente = 1 impulso al ETR-20, que es el que se encarga de controlar la velocidad y regularla.

Una servo válvula transductor electro hidráulico transforma la señal eléctrica mediante un sistema de inyector/placa de choque en una señal hidráulica proporcional, esta válvula es conocida de posición central o sea que cuando le llega un señal de apertura o de cierre, se mueve solo para dejar pasar aceite a la válvula de distribución del deflector y luego vuelve al centro a través de un servomotor de mando preliminar.

La velocidad de una turbina depende de la masa a mover, entre más pesadas menos rotación, entre más livianas, la velocidad de rotación es mayor, también de acuerdo a los polos, Chixoy tiene veinte polos y se determina por la siguiente ecuación.

$$n_s = \frac{n}{H} * \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{H}}$$

Donde:

n_s = velocidad específica en revoluciones por minuto (rpm)

n = velocidad de sincronismo en rpm

P = potencia de turbina en CV

H = altura del salto en metros

El tipo de aceite utilizado para la regulación es de marca Shell turbo T 68 y las propiedades de este aceite son:

- a) Viscosidad adecuada: debido a las elevadas velocidades desarrolladas, en los cojinetes se requiere una viscosidad relativamente baja para minimizar las pérdidas por fricción. Por eso, en unidades de mando directo un grado ISO 32 o 46 es suficiente. En caso de tener que lubricar engranajes se adoptan viscosidades mayores.
- b) Resistencia a la oxidación: con temperaturas del orden de 600°C para vapor, la temperatura del eje (y del aceite en los cojinetes) puede alcanzar 300°C de modo que el aceite está sometido a severas condiciones de oxidación, lo cual se ve agravado por el efecto catalítico de algunos metales.
- c) Prevención del herrumbre: la contaminación de aceite con agua debido a pérdidas por retenes o condensación en el tanque de alimentación es la principal causa de formación de herrumbre. Las partículas de herrumbre son abrasivas y pueden producir un desgaste anormal en los cojinetes e interferir con la operación del regulador de velocidad.
- d) Demulsibilidad: es importante que el agua se separe rápidamente del aceite en la centrífuga o tanque de decantación. De otro modo, dado las elevadas temperaturas, es fácil que se formen emulsiones.
- e) Baja tendencia a la formación de espuma: en todo sistema dinámico es usual que se incorpore aire al aceite por batido. De modo que es muy importante que el aceite tenga una alta resistencia a la formación de espuma y libere rápidamente el aire ocluido.

2.1.9.4.1 Intercambiador de calor del regulador

Para mantener la temperatura del aceite de regulación a un valor óptimo y uniforme, el regulador (1080), esta dotado de un sistema de refrigeración de aceite separado e independiente de los otros sistemas.

Para esto se utiliza una bomba de aceite de refrigeración accionada por el motor de corriente alterna, aspira el aceite de regulación a través del intercambiador de calor de aceite que se encuentra fuera del regulador. Desde allí se dirige otra vez al regulador (1080), en circuito cerrado de aceite, donde fluye através de un filtro de retorno en el colector de aceite. El sistema esta protegido por una válvula limitadora de presión, en el caso que el refrigerador o el filtro estuvieran obstruidos.

El intercambiador de aceite es refrigerado con agua, que proviene del mismo sistema de agua de enfriamiento, pasa por una válvula termostática, que es la encargada de medir la temperatura del aceite en el depósito. Ya que para el funcionamiento del regulador es indispensable tener a cierta temperatura el aceite para que su viscosidad sea la necesaria y que no produzca desgastes indebidos en todos los componentes que tengan contacto con este sistema de regulación, para poder tener una temperatura constante. Los datos técnicos del intercambiador se aprecian en la tabla XI.

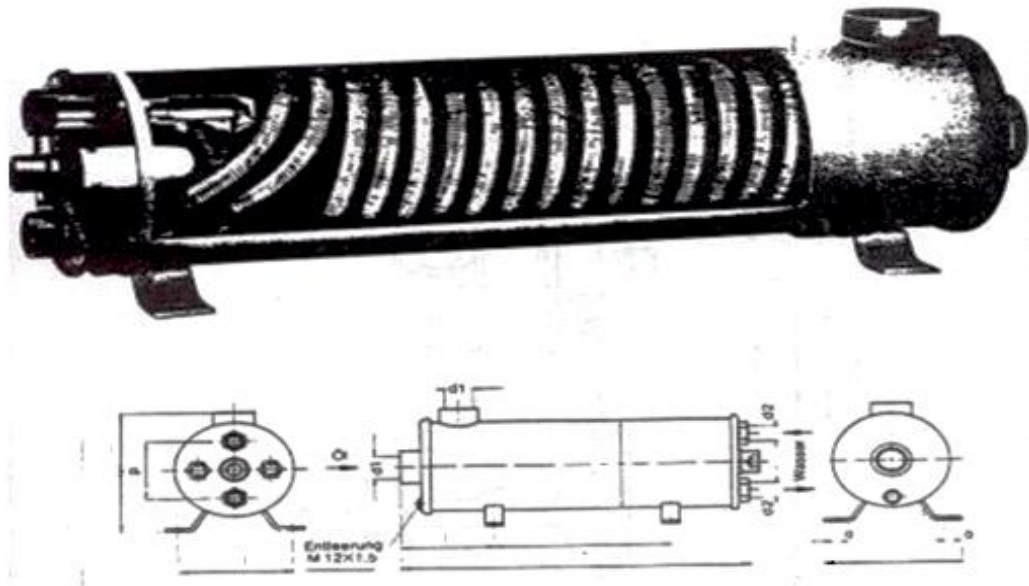
Tabla XI. **Datos técnicos del intercambiador de calor del regulador**

Fabricación	Hacalex
Tipo	Lok 8-03, 42-2
Volumen de Aceite	3 360 l/h
Volumen de Agua	1 800 l/h
Cantidad de calor a Eliminar	8 600 k cal/h

Fuente: manual de regulador hidráulico tomo 3,1, hidroeléctrica de Chixoy

Una temperatura constante del aceite es indispensable para una regulación uniforme, variaciones de viscosidad pueden por ejemplo cambiar los valores ajustados a los diafragmas. Se muestra el intercambiador de calor del regulador en la figura 19. El volumen de aceite que se necesita enfriar es de 2 200 litros.

Figura 19. **Intercambiador de calor de regulador de velocidad**



Fuente: manual de regulador hidráulico tomo 3,1, hidroeléctrica de Chixoy

2.1.9.5 Sistema de depresión de agua (TWD)

Este sistema sirve para bajar el nivel del agua dentro de la cámara de la turbina ya que al ser llenado por primera vez no se había tenido en cuenta el nivel del desfogue, al ser llenado no dejaba rotar con libertad el agua.

Es una acción combinada de agua de refrigeración y agua de la tubería de presión, el empleo del sistema de TWD hace necesario que haya agua de refrigeración necesaria para refrigerar los engranajes que conectan la turbina con el compresor. Se utiliza del mismo sistema de refrigeración que lo relaciona con el cojinete guía y de empuje, el de acople de la turbina y regulador de velocidad.

Este equipo tiene una turbina tipo paltón de eje horizontal y esta conectada a la tubería de presión por medio de una derivación de la tubería principal, que es la que se utiliza para mover un eje, también tiene una válvula esférica motorizada que es accionada automáticamente desde la sala de mando, que impide el paso de agua con presión en caso de que se le quieran hacer trabajos de mantenimiento.

Por estar relacionado al mismo sistema de enfriamiento, también hay que hacerle limpieza constante por la sedimentación que el agua acarrea.

2.1.10 Tipos de problemas que se dan por la fuente de abastecimiento de este sistema

Como el agua para enfriamiento es directamente succionada por las bombas del desfogue de las turbinas, no hay tratamiento previo, y

constantemente hay que estar limpiando los filtros porque el flujo de agua disminuye constantemente por taponamiento de estos.

La bocatoma en el embalse solo tiene una reja para evitar la entrada de piedras y palos, pero el sedimento entra libremente y como a medida que va pasando el tiempo, por cada invierno, va arrastrando más sedimento y por la cantidad de flujo de agua que entra a la tubería es imposible tener control de la calidad de agua que llega a la casa de máquinas por la tubería de presión.

- a. Por taponamiento en los radiadores: ocurre frecuentemente este problema por lo angosto de los orificios por donde pasa el fluido y por el diseño, ya que el agua ingresa a estos por la parte superior y por esa misma parte vuelve a salir. Se va llenando de sedimento los conductos, lo que va ocasionando aumento de temperatura del aire dentro de la cámara del generador porque el flujo de agua disminuye y se tiene que parar las unidades para poder limpiarlos, esto se hace por lo regular para mantenimiento porque se programa el paro de la unidad, pero debido al sedimento hay que estar parando la unidad sin llegar al tiempo programado y esto ocasiona pérdidas de generación por la demanda de electricidad.

Por las recomendaciones del fabricante, los radiadores deberían ser limpiados sus conductos cada dos años, pero por el sedimento se limpian hasta tres veces al año, el tiempo real de trabajo de estos componentes se disminuye hasta un 40% de su vida útil, por lo que es necesario tener en stock varios radiadores para cambiarlos si fuera necesario.

El otro componente afectado directamente es el serpentín del cojinete guía y de empuje, ya que se encuentra alojado dentro de la cuba llena de

aceite y debajo de la excitatriz al cual no es posible realizarle su mantenimiento normal, se tiene que hacer con químicos que se van adhiriendo a las paredes de los tubos y les producen pinchaduras que se ve reflejado después en la cámara del generador con exceso de humedad.

- b. Por incrustaciones en las curvas, filtros, válvulas y los codos de la tubería provocados por los lodos arrastrados por el agua que se va quedando cada vez que hay paro de unidades, porque el flujo de agua también en el enfriamiento también es detenido.
- c. Por corrosión de tuberías y equipo afectado por el sistema. Los lodos que se van quedando incrustados poseen gran variedad de químicos arrastrados por el flujo de agua, que a pesar que no sea invierno siempre se mantiene turbia no clara.

3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

3.1 Propuesta para el cambio de fuente de alimentación de sistema de enfriamiento

3.1.1 Ventajas de cambio de fuente de abastecimiento de agua.

El tener otra fuente de abastecimiento de agua para enfriamiento proporciona muchas ventajas a la planta.

- Ahorro de energía

Como el sistema actual de enfriamiento depende de 4 bombas, las cuales consumen cada una 75 KW/h, el consumo total de todas en funcionamiento sería 300 KW/h, y teniendo en cuenta que tienen que estar funcionando constantemente las 24 horas, al día sería 7 200 Kw/d, al mes 216 000 Kw/m y si esto se multiplicara por Q 1.00 el KW/h, entonces, se gastan al mes Q 216 000.

En la propuesta del diseño del otro sistema se utilizarían solamente dos bombas, una en funcionamiento y la otra como alternativa porque el río se encuentra a 10 m sobre el nivel de la casa de máquinas y esto le ayuda a tener cierta presión por altura, y la bomba solo se encargaría de aumentar el caudal que se necesita para poder suplir todos los servicios que la utilizan. De esta manera, como solo una bomba funcionando el consumo sería 54 000 Kw/mes, esto representaría un ahorro de 162 000 Kw/mes.

Por ejemplo, en la hidroeléctrica de Chicoasen, en México, para el enfriamiento de sus generadores tomaron agua de la tubería de presión, pusieron una válvula reguladora de presión para evitar poner bombas que consumirían energía, que podrían venderla en vez de consumirla.

- Por la temperatura del agua

La temperatura del agua es 4° C más baja que la que tiene actualmente. La que se está utilizando es del desfogue, ya que nace muy cerca en las montañas, esto es ventajoso porque las bobinas del estator se calientan y producen más resistencia a flujo de electrones y para compensarlo se necesita rotar a mayor velocidad la máquina y volviéndolo un círculo vicioso, porque por la fricción de las piezas a mayor velocidad hay desgastes indebidos en los componentes que intervienen en la producción de energía.

3.1.2 Fuente de abastecimiento de agua

El río Quixalito, es un recurso que no se tomó en cuenta en el proyecto hidroeléctrico porque incluso la ubicación actual de la casa de máquinas era su cauce natural y tuvo que ser desviado sin aprovecharlo porque no había necesidad, pero con el paso de tiempo y por el asolvamiento de la represa, se ha visto en la necesidad de buscar otra alternativa, siendo este río lo más viable por lo cercano a la planta y que no produce ningún impacto.

La fuente de alimentación es un río que pasa a 200 metros de la casa de máquinas, que su cauce tiene 8 km de recorrido lo que representa una gran ventaja para la planta para poderla aprovechar ya que en su ribera no hay ningún tipo de contaminante industrial o químico ya que no tiene ningún poblado cerca y su caudal siempre se mantiene todo el año constante porque

no se utiliza. Se mezcla a pocos metros con el desfogue y no afectaría a nadie el desvío de este.

3.1.3 Tipo de bomba sugerida

Para poder seleccionar bombas para una aplicación dada, se tiene varias bombas entre las que elegir. Haremos lo posible para seleccionar una bomba que opere con un rendimiento relativamente alto para las condiciones de funcionamiento dadas.

Los parámetros que se deben investigar incluyen la velocidad específica **Ns**, el tamaño **D** del impulsor y la velocidad de operación **n**. Otras posibilidades son el uso de bombas multietapa, bombas en serie, bombas en paralelo, etc. Incluso, bajo ciertas condiciones, limitar el flujo en el sistema puede producir ahorros de energía.

El objetivo es seleccionar una bomba y su velocidad, de modo que las características de funcionamiento de la bomba en relación al sistema en el cual opera, sean tales que el punto de funcionamiento esté cerca del PMR (punto de máximo de rendimiento). Esto tiende a optimizar el rendimiento de la bomba, minimizando el consumo de energía.

El punto de operación puede desplazarse cambiando la curva característica de la bomba, cambiando la curva característica del sistema o cambiando ambas curvas. La curva de la bomba puede modificarse cambiando la velocidad de funcionamiento de una bomba dada o seleccionando una bomba distinta con características de funcionamiento diferentes. En algunos casos puede ser una ayuda ajustar el impulsor, es decir, reducir algo su diámetro, alrededor de un 5 por 100, mediante rectificado. Este impulsor más reducido se instala en la

cubierta original. La curva característica del sistema puede cambiarse modificando el tamaño de la tubería o estrangulando el flujo.

Una complicación que se presenta a menudo es que los niveles de ambos extremos del sistema no se mantienen constantes, como ocurre si los niveles de los depósitos fluctúan. En tal caso es difícil alcanzar un rendimiento alto para todos los modos de funcionamiento. En casos extremos a veces se utiliza un motor con velocidad variable.

El procedimiento de selección de una bomba que permita una recirculación segura es:

- a. Seleccionar una bomba que produzca el flujo de descarga Q_a , deseado. La curva E es la característica de carga y capacidad de la bomba y la curva a es la de carga del sistema para la descarga hacia el tanque A. La bomba funciona con una carga de H_{op} .
- b. Para incluir recirculación continua en el sistema de bombeo, hay que aumentar el caudal de la bomba con la carga H_{op} de funcionamiento para mantener una descarga de Q_a hacia el tanque A y, al mismo tiempo, una recirculación Q_b de retorno al tanque B. Para lograrlo, se selecciona el tamaño inmediato mayor de impulsor con la curva de rendimiento F.

$$Q_s = Q_b \sqrt{\frac{H_s}{H_{op}}}$$

En donde H, es la carga de corte de la bomba con la curva de rendimiento F.

- c. Si se conoce el flujo Q con la curva H_{op} de funcionamiento para orificio y tubo de recirculación, el flujo de recirculación Q_s , en el punto de corte de la bomba.
- d. Se calcula el flujo mínimo seguro, Q_{min} , para la bomba con curva de rendimiento.
- e. Se compara la recirculación, Q_s , en el punto de corte de la bomba contra el flujo seguro mínimo, Q_{min} . Si Q_s es mayor que o igual a Q_{min} , esto concluye el proceso de selección.

Determinar el tamaño de impulsor que produzca la recirculación mínima segura.

Altura desarrollada por una bomba

La h desarrollada por una bomba se determina midiendo la presión en la aspiración y en la salida de la bomba, calculando las velocidades mediante la división del caudal de salida entre las respectivas áreas de las secciones transversales y teniendo en cuenta la diferencia de altura entre la aspiración y la descarga. La altura neta h suministrada por la bomba al fluido es:

$$H = H_d - H_{as} = \left(\frac{P_d}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g} + Z_d \right) - \left(\frac{P_{as}}{\gamma} + \frac{v_{as}^2}{2g} + Z_{as} \right)$$

Donde los subíndices **d** y **s** se refieren a la descarga y aspiración de la bomba. Si las tuberías de descarga y aspiración son del mismo tamaño, las componentes de la altura correspondiente a la velocidad se cancelan, sin embargo, en general la tubería de entrada es mayor que la de salida.

La normativa de ensayo indica que la altura desarrollada por una bomba es la diferencia entre la carga en la entrada y en la salida. Sin embargo, las condiciones del flujo en la brida de salida son normalmente demasiado irregulares para tomar medidas de presión precisas, y es más seguro medir la presión alejándose de la bomba diez o más veces el diámetro del tubo y añadir una estimación de la pérdida por fricción para esa longitud del tubo. En la entrada, algunas veces existe pre rotación en la zona del tubo cercana a la bomba, y esto puede hacer que las lecturas de presión obtenidas con un instrumento de medida sean diferentes a la presión media real en dicha sección.

Rendimiento de las bombas

Cuando un líquido fluye a través de una bomba, sólo parte de la energía comunicada por el eje del impulsor es transferida al fluido. Existe fricción en los cojinetes y juntas, no todo el líquido que atraviesa la bomba recibe de forma efectiva la acción del impulsor, y existe una pérdida de energía importante debido a la fricción del fluido. Esta pérdida tiene varias componentes, incluyendo las pérdidas por choque a la entrada del impulsor, la fricción por el paso del fluido a través del espacio existente entre las palas o álabes y las pérdidas de alturas al salir el fluido del impulsor.

El rendimiento de una bomba es bastante sensible a las condiciones bajo las cuales esté operando. El rendimiento η de una bomba viene dado por:

$$\eta = \frac{\text{Potencia suministrada al fluido}}{\text{Potencia en el eje}} = \frac{gQh}{T_w}$$

Donde g , Q y h se definen de forma habitual.

T = es el par ejercido por el motor sobre el eje de la bomba

w = el régimen de giro del eje en radianes por segundos

Características del funcionamiento de las bombas a velocidad constante

El rendimiento de una bomba varía considerablemente dependiendo de las condiciones bajo las cuales esté operando. Por tanto, cuando se selecciona una bomba para una situación dada, es importante que la persona encargada de realizar dicha selección tenga información relativa el funcionamiento de las distintas bombas entre las que vaya a realizarse la elección.

El fabricante de bombas suele tener información de este tipo, basada en ensayos de laboratorio, sobre su catálogo de bombas estándar. Sin embargo, algunas veces las bombas de gran capacidad se fabrican a medida. A menudo se fabrica y se ensaya un modelo de tal bomba antes de realizar el diseño final del prototipo de la bomba. Aun cuando algunas bombas centrífugas son accionadas por motores de velocidad variable, la forma más frecuente de operación de las bombas es a velocidad constante.

La forma de los impulsores y de los álabes, y su relación con la envolvente de la bomba, dan lugar a variaciones en la intensidad de las pérdidas por choque, la fricción del fluido y la turbulencia. Dichos parámetros varía con la altura y el caudal, siendo responsables de las grandes modificaciones en las características de las bombas. La altura en vacío es la que desarrolla la bomba cuando no hay flujo. En el caso de las bombas centrífugas de flujo mixto, la altura en vacío es alrededor de un 10 por 100 mayor que la altura normal, que es la que corresponde al punto de máximo rendimiento, mientras que en el caso

de las bombas de flujo axial la altura en vacío puede ser hasta tres veces la altura normal.

La elección de una bomba para condiciones determinadas dependerá de la velocidad de giro del motor que la acciona. Si la curva característica de una bomba para una velocidad de giro dada es conocida, la relación entre la altura y el caudal para velocidades de giro distintas puede deducirse a partir de ecuaciones.

Punto de funcionamiento de una bomba

La manera en la que una bomba trabaja depende no sólo de las características de funcionamiento de la bomba, sino también de las características del sistema en el cual vaya a trabajar.

Para el caso de una bomba dada, se muestran las características de funcionamiento de la bomba (h respecto a Q), para una velocidad de operación dada, normalmente cercana a la velocidad que da el rendimiento máximo. También se muestra la curva característica del sistema (es decir, la altura de bombeo requerida respecto a Q). En este caso, la bomba está suministrando líquido a través de un sistema de tuberías con una altura estática D_z . La altura que la bomba debe desarrollar es igual a la elevación estática más la pérdida total de carga en el sistema de tuberías (aproximadamente proporcional a Q^2).

La altura de funcionamiento de la bomba real y el caudal son determinados por la intersección de las dos curvas.

Los valores específicos de h y Q determinados por esta intersección pueden ser o no ser los de máximo rendimiento. Si no lo son, significa que la bomba no es exactamente la adecuada para esas condiciones específicas.

El punto de funcionamiento o punto óptimo de una bomba solo dinámica, es el de la curva $H - Q$, que corresponde a un rendimiento máximo. Cuanto más empinada se la curva $H - Q$, más significativo será el efecto de cualquier cambio de altura en el punto de funcionamiento.

Por ejemplo, una bomba con una curva $H - Q$ empinada, presentará un pequeño cambio de descarga, pero la altura variará mucho si se desplaza el punto de funcionamiento; en cambio una bomba cuya curva $H - Q$ sea plana, mostrará un gran cambio de capacidad, pero la altura variará poco al desplazarse el punto de funcionamiento.

Las curvas $H - Q$ para las bombas centrífugas, son sustancialmente planas, con tendencia a que el rendimiento máximo se sitúe inmediatamente después de la capacidad media.

Las curvas $H - Q$ para una bomba de flujo axial, es aún más empinada, con su punto de demanda en la descarga nula y su curva de potencia es decreciente.

Cavitación en las bombas

Un factor importante para el funcionamiento satisfactorio de una bomba es evitar la cavitación, tanto para obtener un buen rendimiento como para evitar daños en el impulsor.

Cuando un líquido pasa por el impulsor de una bomba, se produce un cambio de presión. Si la presión absoluta de un líquido cae por debajo de su presión de vapor, se producirá cavitación.

Las zonas de vaporización obstruyen el flujo limitando la capacidad de la bomba. Cuando el fluido avanza a una zona de mayor presión, las burbujas colapsan y su implosión puede producir un picado del impulsor, la cavitación suele producirse con más frecuencia cerca de la salida (periferia), de los impulsores de flujo radial y mixto, donde se alcanzan las velocidades mayores. También puede aparecer en la aspiración del impulsor, donde las presiones son menores.

En el caso de las bombas de flujo axial, la parte más vulnerable a la cavitación es el extremo de los álabes.

Para las bombas se define el parámetro de cavitación como:

$$\sigma = \frac{(P_{as})_{abs} / \gamma + V_{as}^2 / 2g - P_b / \gamma}{h} = \frac{NPSH}{h}$$

Donde:

P_{as} = presión de aspiración

abs = absoluta

P_b = presión de descarga

h = pérdida de carga por metro de tubería

H = pérdida de carga en metros de columna de líquido

NPSH = carga neta positiva de aspiración

Para evitar que se produzca cavitación, la bomba debe funcionar de manera que **b** sea mayor que **as**. Esto puede conseguirse seleccionando el tipo, tamaño de bomba y la velocidad de funcionamiento adecuados, y situando la bomba en el punto y a la elevación correcta dentro del sistema.

La expresión para **as** indica que **as** tenderá a ser pequeño. Por lo que existirá la posibilidad de cavitación, en las siguientes situaciones:

- a) Grandes alturas de bombeo
- b) Presión atmosférica
- c) Grandes valores de **Ze**, es decir, cuando la bomba se encuentra a una elevación relativamente grande comparada con la elevación de la superficie del agua del depósito
- d) Valores grandes de presión de vapor, es decir, altas temperaturas y/o bombeo de líquidos muy volátiles como gasolina

La cavitación ocurre cuando la presión absoluta dentro de un impulsor cae por debajo de la presión del vapor del líquido y se forman burbujas de vapor, estos se contraen más adelante en los álabes del impulsor, cuando llegan a una región de dispersión más alta. La (MPS), **r** mínima para una capacidad y velocidad dadas se define como la diferencia entre la carga absoluta de succión y la presión de vapor del líquido bombeado a la temperatura de bombeo, que es necesario para evitar la cavitación.

La cavitación de la bomba se nota cuando hay uno o más de las siguientes señales: ruido, vibración, caída en la curva de capacidad de carga y eficiencia, con el paso del tiempo, por los daños en el impulsor por picaduras y erosión: Como todas estas señales son inexactas, se hizo necesario aplicar ciertas reglas básicas para establecer cierta uniformidad en la detección de la cavitación.

Efecto de la viscosidad

Las bombas centrífugas también se utilizan para bombear líquidos con viscosidades diferentes a las del agua. Al aumentar la viscosidad, la curva altura-caudal se hace más vertical y que la potencia requerida aumenta. La línea discontinua indica los puntos de máximos rendimiento para cada curva. Se observa que tanto la altura como el caudal disminuyen en el punto de máximo rendimiento.

Dos de las principales pérdidas en una bomba centrífuga son por fricción con el fluido y fricción con el disco. Estas perdidas varían con la viscosidad del líquido de manera que la carga – capacidad de salida, así como de la toma mecánica difiere de los valores que se obtienen cuando se maneja agua.

Es necesario, sin embargo, conocer las tres unidades diferentes que pueden encontrarse para describir la viscosidad de un líquido en especial:

- Segundos Saybolt Universal o SSU
- Centistokes: que define la viscosidad cinemática
- Centiposes: que definen la viscosidad absoluta

Se han hecho muchas pruebas experimentales para determinar el efecto de la viscosidad del líquido en el funcionamiento de diversas bombas centrífugas. Aun con datos muy extensos sobre el efecto de la viscosidad. Es difícil predecir con precisión el funcionamiento de una bomba, cuando maneje un fluido viscoso de su comportamiento, cuando emplea agua fría.

Cuando se aplican bombas ordinarias de agua fría para usarse en el bombeo de líquidos viscosos, se debe tener cuidado para asegurarse de que el diseño de la flecha es lo bastante fuerte para la potencia necesaria, que puede ser un considerable esfuerzo en los caballos de fuerza al freno para agua fría, aunque pueda ser el peso específico del líquido menor que el del agua.

Hay gran variedad de bombas pero se enfocará las que puedan proporcionar el caudal que actualmente da el sistema de enfriamiento.

Bomba centrífuga

Diseño

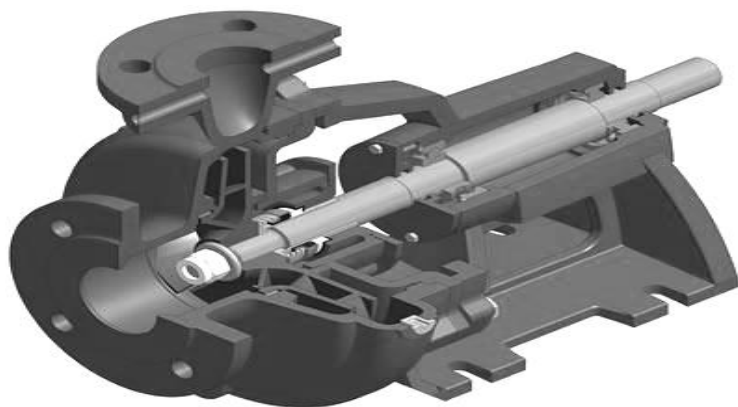
De una o dos etapas, tipo de cuerpo de rodamientos, carcasa partida radialmente, rodete radial cerrado instalación horizontal, succión axial y descarga radial o tangencial, sello mecánico del eje o prensa estopa montado sobre casquillo, puede ser utilizado en diversos por su capacidad en riego, suministro de agua, sistema de calefacción y aire acondicionado, sistemas de refrigeración, transporte de condensado, piscinas, drenaje de aguas y otras aplicaciones industriales y rurales. Los datos técnicos de la bomba se aprecian en la tabla XII y la forma de la bomba en la figura 20.

Tabla XII. **Datos técnicos de la bomba**

Fabricante	KSB	Serie	ETA
Norma	DN 25 – 300		
Caudal	1 900 m ³ /h		
Altura	100 m		
Presión	8 bar		
Velocidad	1 750 rpm		

Fuente: catalogo general de productos KSB 2009

Figura 20. **Bomba centrífuga**

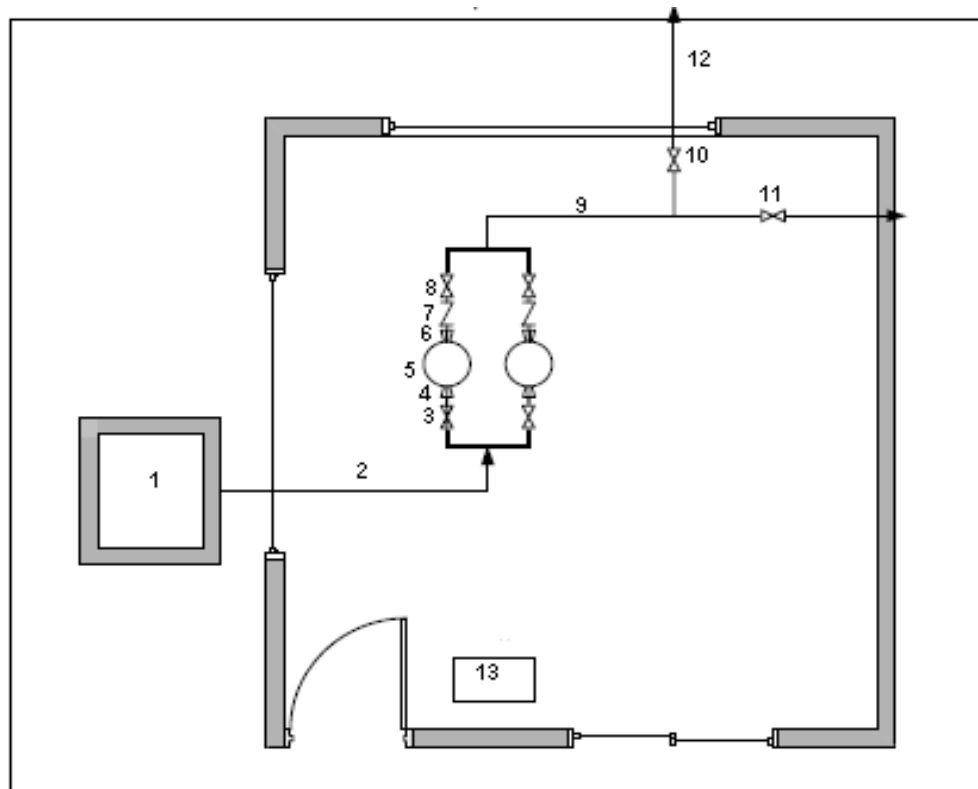


Fuente: Catálogo general de productos KSB 2009

Esta bomba centrífuga es la sugerida por su capacidad de impulsión esta entre los parámetros que se necesitan porque el caudal para el sistema es de 1 600 m³/h.

En la figura 21 se puede apreciar el diseño sugerido para la estación de bombeo, con sus válvulas para mantenimiento y tuberías.

Figura 21. Estación de bombeo sugerida
Cerco de protección



- | | |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. caja colectora | 10. válvula de compuerta |
| 2. tubería de succión | 11. válvula reguladora de caudal |
| 3. válvula de compuerta | 12. tubería de limpieza |
| 4. reducción excéntrica | 13. tablero de control |
| 5. bomba | |
| 6. reducción concéntrica | |
| 7. válvula de retención de clapeta | |
| 8. válvula de compuerta | |
| 9. tubería de impulsión | |

Fuente: propia

3.1.4 Tubería

La tubería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos. Cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza la denominación específica de oleoducto. Cuando el fluido transportado es gas, se utiliza la denominación específica de gasoducto. También es posible transportar mediante tubería materiales que, si bien no son un fluido, se adecúan a este sistema: hormigón, cemento, cereales, documentos encapsulados, etcétera.

Fabricación

Hay tres métodos de fabricación de tubería:

- Sin costura (sin soldadura): la tubería se forma a partir de un lingote cilíndrico, el cual es calentado en un horno antes de la extrusión. En la extrusión se le deforma con rodillos y posteriormente se hace el agujero mediante un penetrador. La tubería sin costura es la mejor para la contención de la presión gracias a su homogeneidad en todas sus direcciones. Además, es la forma más común de fabricación y por tanto, la más comercial.
- Con costura longitudinal: se parte de una lámina de chapa, la cual se dobla dándole la forma a la tubería. La soldadura que une los extremos de la chapa doblada cierra el cilindro. Por lo tanto, es una soldadura recta que sigue toda una generatriz. Variando la separación entre los rodillos se obtienen diferentes curvas y con ello diferentes diámetros de tubería. Esta soldadura será la parte más débil de la tubería y marcará la tensión máxima admisible.

- El punto anterior con la salvedad de que la soldadura no es recta sino que recorre la tubería siguiendo como si fuese roscada.

Materiales

Las tuberías se construyen en diversos materiales, en función de consideraciones técnicas y económicas. Suele usarse el hierro fundido, acero, cobre, plomo, hormigón, polipropileno, PVC, polietileno de alta densidad (PEAD), etcétera.

La ecuación de continuidad

La conservación de la masa de fluido a través de dos secciones (sean éstas S_1 y S_2), de un conducto (tubería), o tubo de corriente establece que: la masa que entra es igual a la masa que sale.

Definición de tubo de corriente: superficie formada por las líneas de corriente. Corolario 2: solo hay tubo de corriente si \mathbf{V} es diferente de $\mathbf{0}$.

La ecuación de continuidad se puede expresar como:

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot V_2$$

Cuando $\rho_1 = \rho_2$, que es el caso general tratándose de agua, y flujo en régimen permanente, se tiene:

$$S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2$$

O de otra forma:

$Q_1 = Q_2$ (El caudal que entra es igual al que sale)

Donde:

Q = caudal (m^3 / s)

V = velocidad (m / s)

S = área transversal del tubo de corriente o conducto (m^2)

Que se cumple cuando entre dos secciones de la conducción no se acumula masa, es decir, siempre que el fluido sea incompresible y por lo tanto su densidad sea constante. Esta condición la satisfacen todos los líquidos y, particularmente, el agua.

En general la geometría del conducto es conocida, por lo que el problema se reduce a estimar la velocidad media del fluido en una sección dada.

Tipos de flujos

Existen dos tipos de flujos:

Flujo laminar: es aquel en que sus partículas se deslizan una sobre otra en forma laminar, formando un perfil de velocidad simétrica y en forma de parábola.

Flujo turbulento: es aquel que cuyas partículas se deslizan en forma desordenada. En ambos casos, la velocidad en el perfil de velocidades, varía de una máxima (en la zona central), a una mínima (en la zona de contacto con las paredes del tubo).

Cálculo de caudal de agua en tuberías

El cálculo del caudal de agua viene expresado por la ecuación de continuidad:

$$Q = V.S$$

En la que:

Q = caudal (m³/s)

V = velocidad (m/s)

S = sección de la tubería (m²)

Para que el fluido discurra entre dos puntos a lo largo de una línea de flujo, debe existir una diferencia de energía entre esos dos puntos. Esta diferencia corresponderá, exactamente, a las pérdidas por rozamiento, que son función de los organismos.

- La rugosidad del conducto
- La viscosidad del fluido
- El régimen de funcionamiento (régimen laminar o régimen turbulento)
- El caudal circulante, es decir de la velocidad (a más velocidad, más pérdidas)

El cálculo de caudales se fundamenta en el principio de Bernoulli que, para un fluido sin rozamiento, se expresa como:

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

Donde:

- g es la aceleración de la gravedad
- ρ es la densidad del fluido
- P es la presión

Se aprecia que los tres sumandos son, dimensionalmente, una longitud, por lo que el principio normalmente se expresa enunciando que, a lo largo de una línea de corriente, la suma de la **altura geométrica** (h) la **altura de velocidad** ($v^2/2g$), y la **altura de presión** ($P/\rho g$), se mantiene constante.

Considerando el rozamiento, la ecuación entre dos puntos 1 y 2 se puede expresar como:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \text{perdidas}(1,2)$$

O lo que es igual:

$$(h_1 - h_2) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} + \frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} = \text{perdidas}(1,2)$$

Donde pérdidas (1,2), es la pérdida de energía (o de altura), que sufre el fluido por rozamiento al circular entre el punto 1 y el punto 2. Esta ecuación es aplicable por igual al flujo por tuberías como por canales y ríos.

Si L es la distancia entre los puntos 1 y 2 (medidos a lo largo de la conducción), entonces el cociente (pérdidas (1,2)) / L , representa la pérdida de altura por unidad de longitud de la conducción. A este valor se le llama pendiente de la línea de energía y se lo denomina J .

Fórmulas experimentales

Existen varias fórmulas experimentales que relacionan la pendiente de la línea de energía con la velocidad de circulación del fluido. Cuando éste es agua, quizás la más sencilla y más utilizada sea la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot J^{0,5}$$

- n es el coeficiente de rugosidad, depende del material de la tubería.
- R_h es el radio hidráulico de la sección (área / perímetro mojado = un cuarto del diámetro para conductos circulares a sección plena).
- J es gradiente de energía en mm

En general, las alturas geométricas son un dato. De esta manera, conocidas las condiciones en un punto (por ejemplo, en un depósito la velocidad nula en la superficie y la presión es la presión atmosférica), y la geometría de la conducción, se pueden deducir las características del flujo (velocidad y presión), en cualquier otro, todas las pérdidas localizadas son solamente función de la velocidad, viniendo ajustadas mediante expresiones experimentales del tipo:

$$\text{Pérdida localizada} = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Los coeficientes **K** se encuentran tabulados en la literatura técnica especializada, o deben ser proporcionados por los fabricantes de piezas para conducciones. En general, si se realiza el cálculo sin considerar las pérdidas localizadas, los errores cometidos resultan poco significativos a efectos

prácticos. También se suele utilizar el concepto de longitud equivalente para el cálculo de pérdidas localizadas. En este caso, se calcula a partir del diámetro de la tubería y de los valores tabulados para cada tipo de elemento que pueda producir una pérdida localizada, una longitud que, multiplicada por las pérdidas unitarias J, da el valor de las pérdidas localizadas.

El tubo sugerido: para presión SCH 40 fabricado con acero al carbono de calidad estructural, utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica, por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

Usos: conducción para presión de agua, gas, vapor, petróleo, aire presurizado y fluidos no corrosivos.

Norma técnica de fabricación: norma ASTM A53.

Comprende dos tipos (grados):

Grado A:	Schedule 10
	Schedule 20
	Schedule 30
	Schedule 40

Grado B: (tratamiento térmico).	
	Schedule 40

Materia prima: acero estructural laminado en caliente.

Composición química de la Colada (max. %).

Tabla XIII. **Porcentaje de colada**

	C	M _n	P	S	C _u	N _i	C _r	M _o	V
Grado A	0,25	0,95	0,05	0,045	0,40	0,40	0,40	0,15	0,08
Grado B	0,30	1,50	0,05	0,045	0,40	0,40	0,40	0,15	0,08

Fuente: catálogo de productos tubasol pdf. 2009

Propiedades mecánicas

	Resistencia tracción mínimo Mpa	Límite de fluencia mínimo Mpa
Grado A	330	205
Grado B	415	240

Tolerancias

Espesor mínimo:	- 12,5 %	del valor nominal.
Peso:	+/- 10 %	del valor nominal.
Diámetro:	+/- 1 %	del valor nominal.

Pruebas

Hidrostática	1 000 Psi
Doblado	según norma ASTM A53
Aplastamiento	según norma ASTM A53

Presentación

Longitud:	6,40 m (21') o según especificaciones bajo pedido
-----------	---

Acabados:	Refrentado (plano), limpios de rebaba Biselado Roscado (según norma ANSI B1.2U.1)
Recubrimiento:	Negro Galvanizado (según ASTM A53)

Como hay que cubrir desde el río hasta la casa de máquinas se necesitan 165 tubos de 8" de diámetro exterior, 21' de largo que hacen 1 056 m por la forma del terreno.

3.1.5 Válvulas

Una válvula hidráulica es un mecanismo que sirve para regular el flujo de fluidos.

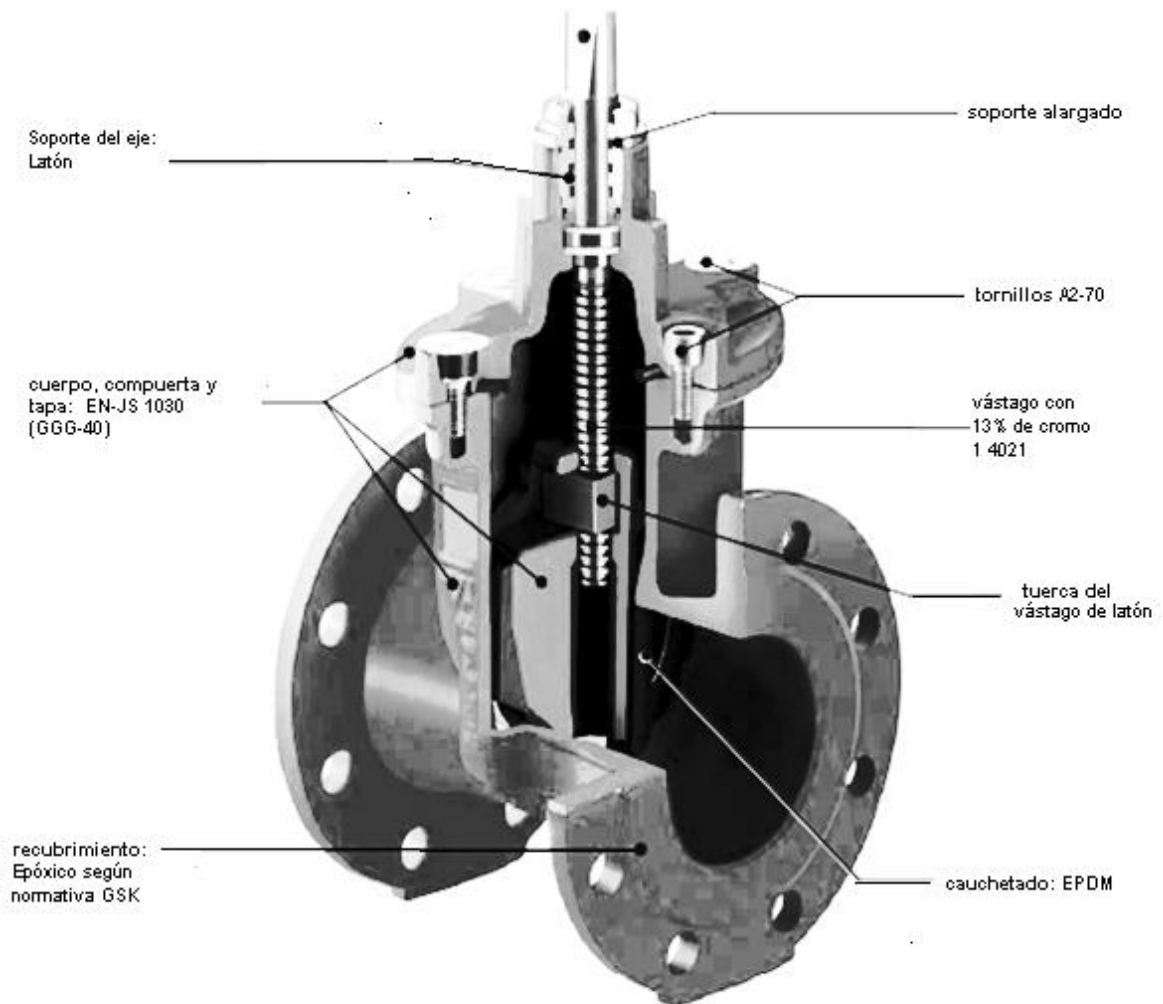
Las válvulas que se utilizan en obras hidráulicas son un caso particular de válvulas industriales, que sin embargo presentan unas características especiales y por lo tanto, se tienen que ver en forma separada.

Por el diseño de la red que se propone se necesitarían varios tipos de válvulas:

- a. **Válvula de compuerta:** porque permite el paso del flujo completamente abierta y lo restringe en la posición completamente cerrada, con la mínima pérdida de carga posible. Cuando la válvula esta en posición abierta, no solo facilita el paso del fluido en línea recta sino que, además, la sección mantiene la misma área de la tubería a la cual esta unida. Se necesita 4 de estas válvulas una antes de la bomba por si se necesita hacerle algún tipo de trabajo de mantenimiento y después de la bomba porque puede servir

incluso para regular el caudal de salida, y como son 2 bombas, se necesita 4 de estas válvulas, esta válvula es de acuerdo a la figura 20.

Figura 22. **Válvula de compuerta**



Fuente: Catálogo general de productos KSB 2009

- b. **Válvula de check o de retención:** la función principal de esta válvula es evitar el cambio de dirección del fluido que se conduce a través de la tubería. Hay dos tipos distintos, conocidos como válvulas de retención a bisagra y de retención horizontal.

En casos de inversión rápida de flujo, las válvulas de retención comunes generan cierres ruidosos y golpes mecánicos en las tuberías fundamentales.

Al frenar rápidamente el flujo inverso se producen golpes de ariete, los cuales ocasionan la destrucción de la tubería. La válvula de retención a clapeta basculante de asiento inclinado, soluciona estos problemas debido a su confiable construcción y a las posibilidades de adaptación a las condiciones específicas de servicio de la instalación. Debido a la inclinación del asiento, se acorta la carrera cerca de un 25%, lo que conlleva un tiempo de cierre mas corto. La figura 23 muestra la válvula de clapeta basculante.

Figura 23. **Válvula de clapeta**

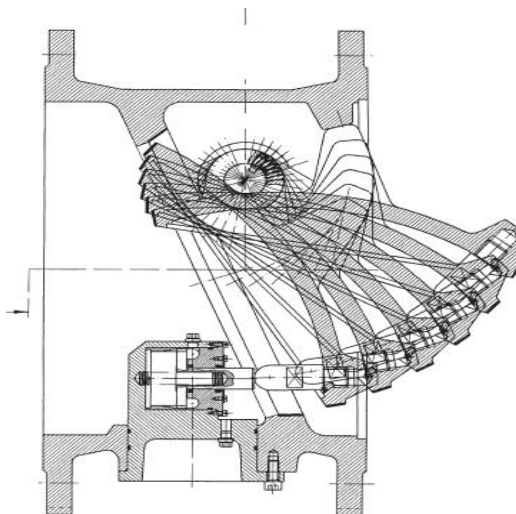


Fuente: catálogo general de productos KSB edición 2009

Ventajas de la válvula de retención a clapeta basculante:

- Ocupa poco espacio.
- Movimiento de apertura y cierre de la clapeta controlado directamente por el flujo.
- Ejes sin salida al exterior que requieren sistemas de sellamiento.
- Sin palanca ni contrapeso, por ello no hay movimientos bruscos peligrosos en el área de operación.
- La característica de amortiguación se adapta al comportamiento dinámico de la clapeta. Los esfuerzos son absorbidos en el sitio donde se generan. No requieren ninguna transmisión mecánica de esfuerzos a dispositivos externos. El proceso de amortiguación se aprecia en la figura 24.

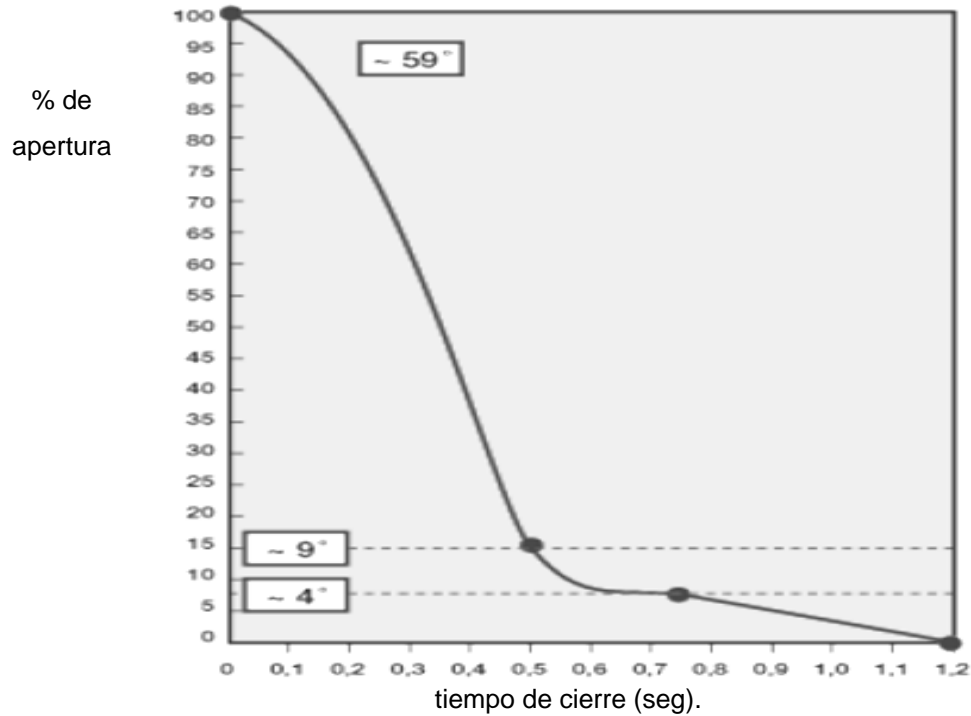
Figura 24. **Proceso de amortiguación de clapeta**



Fuente: catálogo general de productos KSB 2009

La característica del cierre se puede observar de acuerdo a la gráfica 25.

Figura 25. **Característica de cerrado de válvula de clapeta**

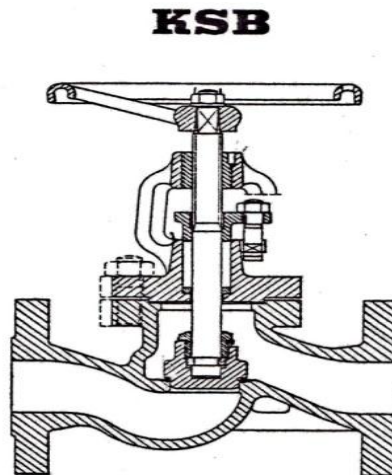


Fuente: catálogo general de productos KSB 2009

c. Válvulas reguladoras de caudal: funcionan de manera similar a las reguladoras de presión, reduciendo y manteniendo el caudal de salida.

Este tipo de válvula ayudaría a disminuir el caudal cuando no todas las maquinas estuvieran trabajando. En la figura 26 se aprecia su diseño.

Figura 26. **Válvula reguladora de caudal**



Fuente: catálogo general de productos KSB 2009

3.1.6 Accesorios

Cuando el fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica de flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta.

Ya que las válvulas y los accesorios en una línea de tubería alteran la configuración de flujo, producen una pérdida de presión adicional, la cual se puede determinar por:

$$H_f = \frac{KV}{2g}$$

Donde:

H_f = es caída de presión en (m)

K = coeficiente de resistencia según el tipo específico de la válvula o conexión

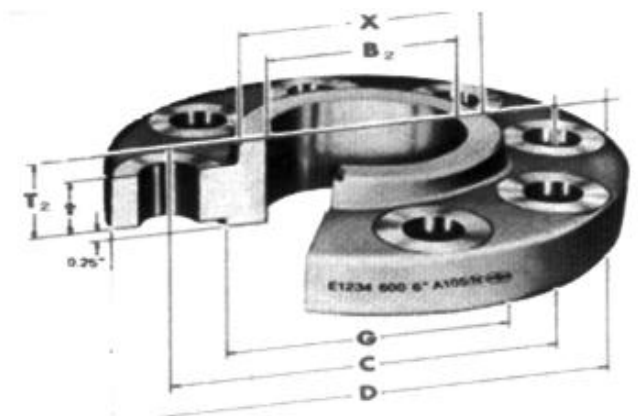
V = velocidad en (m/s)

Bridas

Es el elemento que une dos componentes de un sistema de tuberías, permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión.

Hay muchos diseños de bridas, pero para este sistema se necesitan de las que pueden ser unidas por con cubo para soldadura. Como la que se puede apreciar en la figura 27.

Figura 27. **Brida**

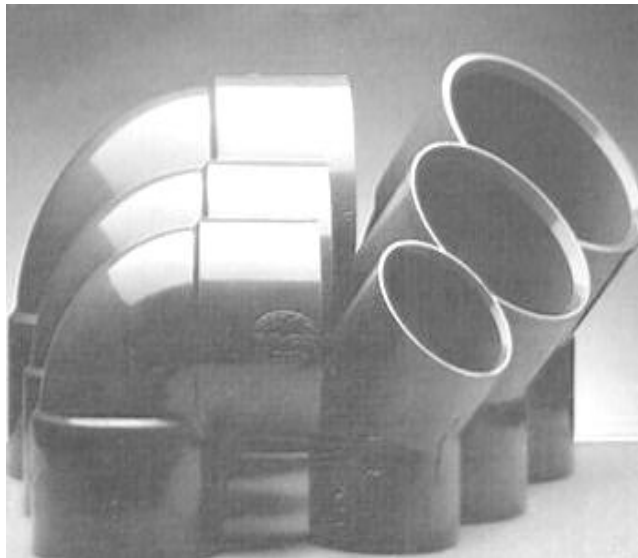


Fuente: <http://www.wikipedia.org>

Codos

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías. Pueden ser como los que se aprecian en la figura 26.

Figura 28. **Codos de 90° y 135°**



Fuente: <http://www.wikipedia.org>

CONCLUSIONES

1. El estudio del enfriamiento es la base fundamental para cualquier industria, ya que el uso constante de la maquinaria puede producir calentamiento.
2. Uno de los puntos de partida para el eficaz funcionamiento de una planta, es la adecuada lubricación de sus mecanismos, ya que así se optimiza el rendimiento y la producción sin interrupción de energía eléctrica.
3. El sistema de filtración que actualmente se utiliza no es lo suficientemente eficaz para controlar la excesiva sedimentación del agua.
4. La deficiencia del sistema de ventilación las temperaturas, pueden superar el límite que es de 45 °C dentro de la cámara del generador y como tiene aislamiento tipo F, reduce de la vida útil del generador a un 50%.
5. En la propuesta del diseño del otro sistema se utilizarían solamente dos bombas, una en funcionamiento y la otra como alternativa porque el río se encuentra a 10 m sobre el nivel de la casa de máquinas y esto le ayuda a tener cierta presión por altura, y la bomba solo se encargaría de aumentar el caudal que se necesita para poder suplir todos los servicios que la utilizan. De esta manera, como solo una bomba funcionando el consumo sería 54 000 Kw/mes, esto representaría un ahorro de 162 000 Kw/mes.

6. La temperatura del agua de la fuente propuesta es 4 °C más baja que la que tiene actualmente, esto resulta ventajoso porque no es necesario aumentar el caudal para enfriar los materiales de los equipos.

RECOMENDACIONES

Al Jefe de Planta

1. Ampliar el presupuesto del área de mantenimiento para proveer los repuestos necesarios, y poder hacer el cambio de éstos en el tiempo recomendado. Un monitoreo constante de los equipos que están relacionados con el sistema de enfriamiento, garantizara un funcionamiento adecuado.
2. Pedir al departamento de compras los tiempos minimos y máximos en que los proveedores pueden proporcionar los repuestos. Ya que en el caso de que estos repuestos no se puedan mantener en stock por su alto costo o cualquier otra razón, se tendra tiempos de entrega y de esta forma programar el mantenimiento adecuado. La instalación de dispositivos de supervisión de flujo de agua para determinar y regular la excesiva sedimentación.
3. Aprovechar la fuente natural (río Quixal), ya que a lo largo de su recorrido atraviesa las montañas, haciendo que la temperatura del agua sea mas baja y así permite una mejor disipación de calor de las máquinas. Gracias a que dicha fuente natural se mantiene libre de contaminación, puede mantener el equipo en buenas condiciones.
4. Mantener en stock los repuestos y accesorios, para no ocasionar demoras en las reparaciones de los equipos.

Al Ingeniero Supervisor

5. Hacer pruebas de laboratorio que determinen la dureza o la acidez del agua, para la adquisición de anticorrosivos adecuados.
6. Llevar una bitácora de vida de los equipos, tanto de sus condiciones normales de operación como de los mantenimientos que se le realicen en el transcurso de su vida útil.
7. Programas de capacitación constante para el personal, a fin de tener el recurso humano en cualquier circunstancia.
8. Llevar el monitoreo constante del equipo, para poder determinar cuándo el equipo se está saliendo de sus rangos normales de operación, y de esta forma programar eficientemente su mantenimiento preventivo.
9. Llevar un registro de las fallas que han dado las máquinas para saber que hacer en cada intervención de estas.

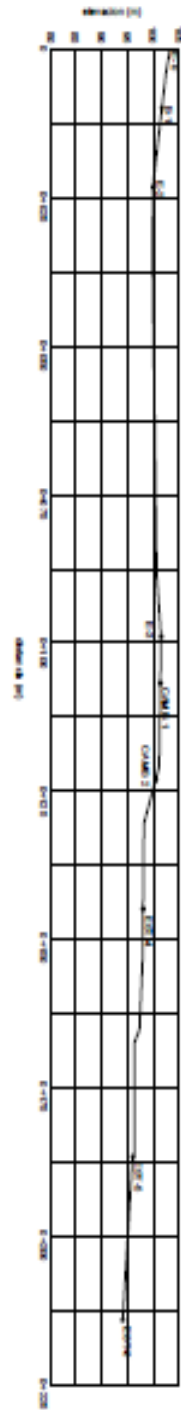
BIBLIOGRAFÍA

1. CASTELVI, A, *Circulación de agua en tuberías*. Montaje e instalaciones. 3ª edición. (Volumen 10, No 210). España: editorial Mc Graw Hill Interamericana S.A.U, 1988. 250 p.
2. ENCINAS, Manuel Polo. *Turbo maquinas hidráulicas, principios fundamentales*. 3ª edición. Mexico: Editorial Limusa, 1983. 265 p.
3. FILIPAN, V., BUDIN, R. y BOGDANIC, A. M. *Investigación experimental de los sistemas de enfriamiento de los hidrogeneradores*. España: Editorial Power & Dam Construction, 1987. 250 p.
4. INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN. INDE. *Sistemas de Enfriamiento*. (Manual 5.1, volumen 2). 1ª edición. Guatemala: Editorial INDE, 1982. 320 p.
5. SALDARRIAGA, V. Juan G. *Hidráulica en tuberías*. Colombia: Editorial Mc Graw Hill, 1998. 554 p.

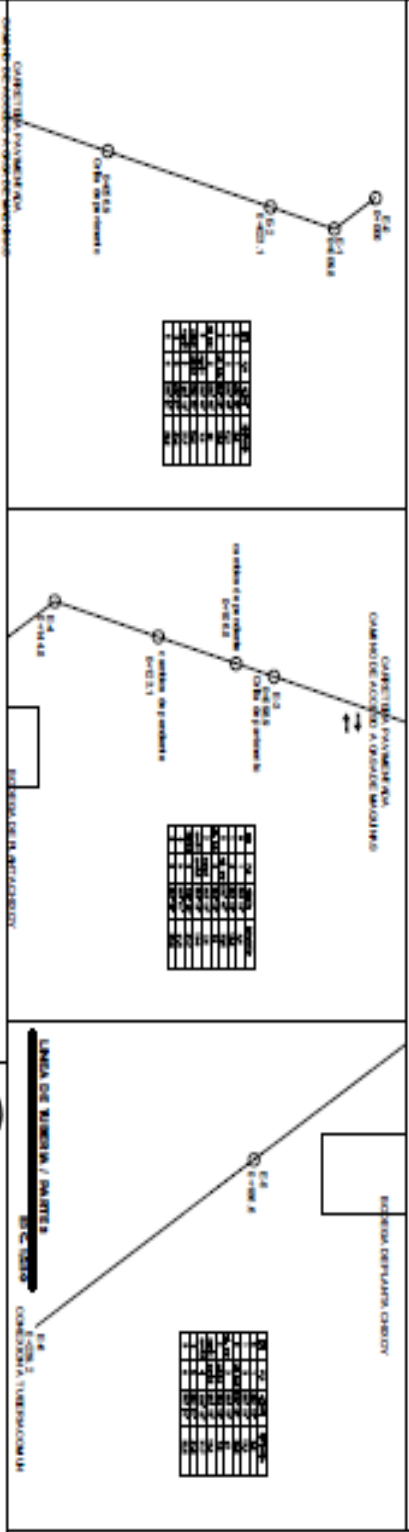
ANEXOS

Plano de tubería

En este plano se puede apreciar la tubería y el perfil de la tubería que viene del río Quixal hasta la casa de máquinas, pasando al lado de la bodega, hacia la tubería común que conecta a las cinco máquinas. Es una vista de planta.



EN PAVIMENTO DE TIERRA
Escala 1:500



INFORMACION DEL ASESOR DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: "Obras de mejoramiento de la infraestructura vial en el distrito de San Juan de Dios"

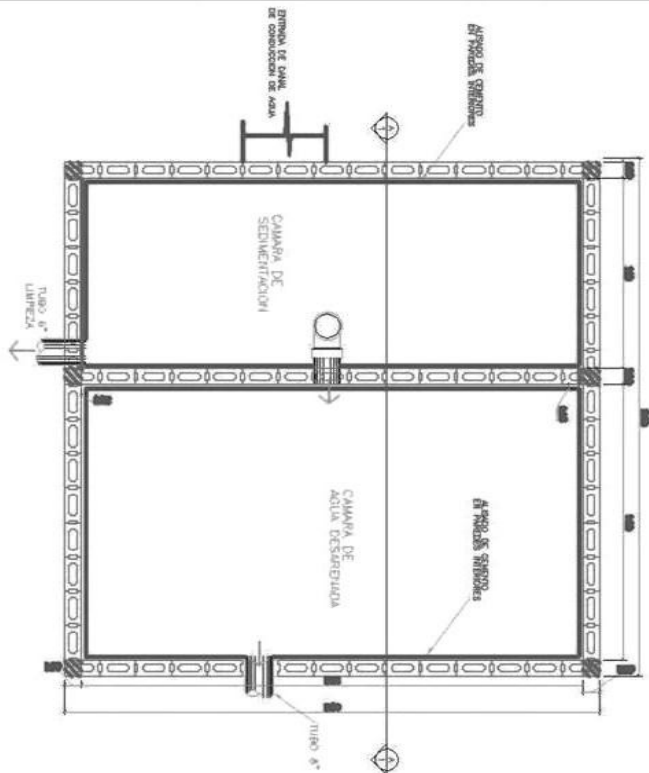
REVISOR: [Nombre]

FECHA: [Fecha]

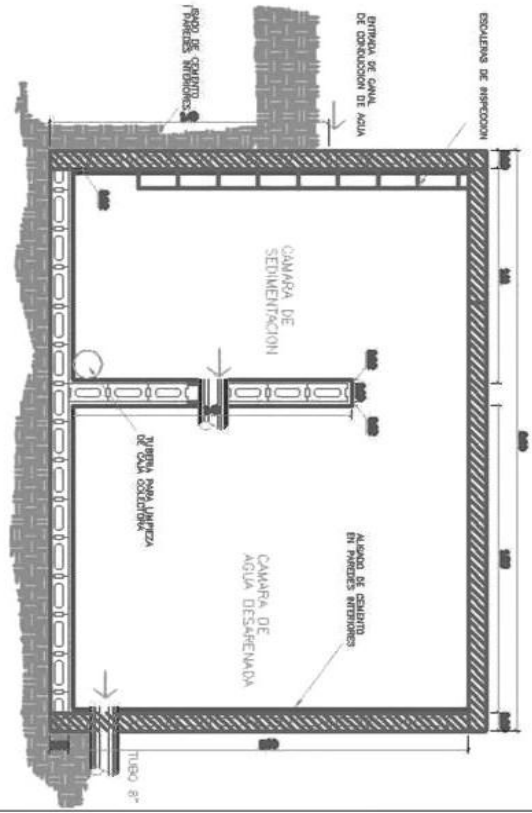
1

Plano de caja colectora

Caja colectora de agua, con su canal de entrada, cámara de sedimentación con válvula de compuerta, cámara de agua desarenada y tubería de salida hacia la bomba, por la presión que ejerce el agua a las paredes de la caja colectora al abrir la válvula de salida ya tenemos agua en la bomba para ser impulsada y así aumentar el caudal que se necesita para el uso en el enfriamiento de los generadores.



PLANTA CAJA COLECTORA



DETALLE SECCION A-A

ESPECIFICACIONES TECNICAS

Dimensiones del tanque	3x3x2 m
Volumen	18 m ³
Resistencia de Block	20 kg/cm ²
Resistencia de concreto	4000 Psi
Grosor del alizado	2 cm
Diametro tubería	8"



UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
ESCUELA INGENIERIA MECANICA

DETALLE DE CAJA COLECTORA

ESTUDIO DEL DESARROLLO DE LOS COMPONENTES DE LA INGENIERIA MECANICA	1
PROYECTO: CANTON Y DISTRITO DE SAN CARLOS, GUATEMALA	1
UBICACION: CANTON DE MADRUGAL GUATEMALA	
FECHA: JUNIO 2007	
INSTRUCCIONES	REC. COMPLETADO
1	