

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA  
COJINETES DE EMPUJE DE LOS GENERADORES EN  
UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 54.4 MW**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**ROY CAYETANO COLQUI**

**PROMOCIÓN 1990 - I**

**LIMA-PERÚ**

**2012**

## ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	1
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivo	5
1.3 Justificación	5
1.4 Alcance	6
<b>CAPÍTULO 2: GENERALIDADES SOBRE LOS GRUPOS DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 54.4 MW</b>	  7
2.1 Datos técnicos de la Central Hidroeléctrica	7
2.1.1 Obras de captación	9
2.1.1.1 Represa Upamayo	9
2.1.1.2 Represa Malpaso	10
2.1.1.3 Túnel de aducción	11
2.1.1.4 Tanque de equilibrio	12
2.1.2 Equipo mecánico	12
2.1.2.1 Válvula mariposa	12
2.1.2.2 Turbinas	13
2.1.2.3 Regulador de velocidad	15

2.1.3	Equipo eléctrico	15
2.1.3.1	Generadores	15
2.1.3.2	Sistema de excitación	17
2.1.3.3	Subestación	17
2.2	Marco teórico	20
2.2.1	Eje vertical de una turbina Francis	20
2.2.2	Cojinete guía	20
2.2.3	Cojinete de empuje	22
2.2.4	Lubricación y refrigeración de los cojinetes	26
2.2.5	Planteamiento del problema	27
2.2.6	Fundamentos de Transferencia de calor	29

### **CAPÍTULO 3: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN CIRCUITO**

#### **ABIERTO**

		31
3.1	Descripción del Circuito	31
3.2	Mantenimiento	34
3.3	Problemática de su funcionamiento	35

### **CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

#### **PROPUESTO EN CIRCUITO CERRADO**

		37
4.1	El intercambiador de calor	37
4.1.1	Tipo de intercambiador	38
4.2	Descripción del sistema de refrigeración	40
4.2.1	Procedimiento de puesta en servicio	41

4.3	Diseño del intercambiador de calor	47
4.3.1	Criterios de cálculo	48
4.3.2	Resultados	57
4.3.3	Caída de presión	59
4.4	Especificaciones de la planta de ablandamiento	60
4.4.1	Circuito de captación y almacenamiento	60
4.4.2	Selección de bombas	62
	<b>CAPÍTULO 5: ESTRUCTURA DE COSTOS</b>	<b>66</b>
5.1	Costo del mantenimiento correctivo	66
5.2	Costo de pérdida de producción	68
5.3	Costo de inversión	69
5.4	Relación Beneficio/Costo (B/C)	70
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>72</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>74</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>75</b>
	<b>APÉNDICE</b>	<b>76</b>
A 1.	Cálculo detallado de diseño del intercambiador de calor	76
A 2.	Tabla de propiedades termofísicas del agua	84
A 3.	Tabla de propiedades del aire	85
A 4.	Análisis químico del agua dura	86
A 5.	Valores representativos del coeficiente de transferencia de calor total	87
A 6.	Factores de incrustación o ensuciamiento	87
A 7.	Rugosidad equivalente en tubos	88

A 8. Diagrama de Moody	89
A 9. Resolución directoral N°008-97-EM/DGAA	90
A10. Características del equipo ablandador de agua seleccionado	93
A11. Características de la bomba centrífuga seleccionada	96

## **PRÓLOGO**

El sistema de enfriamiento es sumamente vital en la operación de una planta industrial, de producción y también en una central hidroeléctrica. Este informe de suficiencia toca una parte de este vasto tema y lo desarrolla en cinco capítulos.

En el capítulo 1, como introducción, se describe los antecedentes generales de operación de la central donde se desarrolla el tema, los objetivos del diseño, la justificación del mismo y los alcances que contempla su realización.

En el capítulo 2, se hace referencia de la ubicación geográfica de la central, el contexto donde opera, las características técnicas principales de su infraestructura hidráulica, mecánica y eléctrica como las presas, los grupos generadores, los transformadores entre otros. También se plantea el problema de operación y se da la propuesta de solución integral.

En el capítulo 3, se muestra en forma breve el funcionamiento actual del sistema de refrigeración de los cojinetes de empuje de los grupos de generación, el tipo de mantenimiento que se tiene y la falla que presenta al operar con agua dura.

En el capítulo 4, desarrollamos la alternativa planteada de solución que consiste en el diseño de un sistema de refrigeración de los cojinetes de empuje, en circuito cerrado, que abarca la implementación de una planta de ablandamiento de agua, un reservorio de almacenamiento, una sala de bombas, un intercambiador de calor y los accesorios requeridos para su realización.

En el capítulo 5, se realiza un balance resumido de las pérdidas ocasionadas por los mantenimientos correctivos, la pérdida de producción derivados del sistema actual y la inversión necesaria para ejecutar el diseño del nuevo sistema, a fin de confirmar la conveniencia de su ejecución.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La Central Hidroeléctrica Malpaso opera generando energía eléctrica desde el año 1936. Inicialmente solo en calidad de autoproducer, para satisfacer los requerimientos energéticos de las unidades minero-metalúrgicas de la entonces Cerro de Pasco Cooper Corporation, después Centromin Perú S.A. Actualmente pertenece a una empresa transnacional y es miembro del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional.

El agua que utiliza la central proviene del Lago Junín, ubicada a una altura de 4 115 msnm, este recurso desde hace varias décadas ha sido contaminado por las empresas mineras que operan en Cerro de Pasco y alrededores, estas, vierten sus relaves y agua de mina al río San Juan que desemboca en el citado lago.

Los depósitos se ubican en la zona cercana a la Presa Upamayo que regula las aguas del lago y lugar donde nace el río Mantaro, estas aguas llegan a la Presa Malpaso, taza de carga o reservorio de regulación diaria de la central hidroeléctrica y los

relaves disueltos se fueron depositando con el tiempo en el fondo de esta presa hasta alcanzar actualmente el 40% de su volumen útil.

Esto es, la central ha trabajado turbinando agua dura proveniente de los relaves mineros causando deterioro en sus equipos y desgaste acelerado de las partes metálicas de las turbinas, principalmente de los rodets Francis.

En la operación actual, una parte esencial de un grupo generador es el sistema de refrigeración del aceite que lubrica y enfría al cojinete de empuje y al cojinete guía N° 3, instalados en un tanque metálico de la turbina Francis de eje vertical, la función principal del cojinete de empuje en concreto es la de soporte del peso total del paquete eje, excitatrices, rotor y rodete que en conjunto llegan a las 50 toneladas.

En este tanque de base cuadrada ubicada en la parte superior del generador, se produce una gran cantidad de calor producto de la fricción existente entre el eje, sus componentes y el cojinete de empuje que traslada toda la carga a través de la carcasa metálica al piso donde está cimentado mediante una base sólida de concreto armado.

Todo este calor del aceite que lubrica y refrigera es disipado por un intercambiador de calor tipo serpentín de tubos de cobre, por cuyo interior circula agua como líquido refrigerante y que está instalado en la base del tanque que aloja al cojinete de empuje y al cojinete guía N° 3.

El agua de este sistema de refrigeración proviene de la tubería forzada que es la terminación del túnel de aducción, es decir agua dura con contenido de lodos y carbonatos que causan con el tiempo el engrosamiento de las paredes del serpentín, factor que impide una eficiente refrigeración, dando como resultado un sobrecalentamiento que obliga parar el grupo generador para realizar el mantenimiento correctivo de cambio de serpentín, originando en consecuencia una suma de pérdidas para la empresa.

## **1.2 OBJETIVO**

El objetivo de este informe es diseñar un sistema de refrigeración para los cojinetes de empuje de los grupos de generación en circuito cerrado y con agua tratada, en reemplazo del sistema actual que es de circuito abierto y agua dura, con el fin de eliminar las pérdidas ocasionadas por falla de este último.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El diseño y la implementación de este nuevo sistema de refrigeración está plenamente justificado por las ventajas técnicas y económicas debidamente sustentadas.

Técnicamente el sistema que funciona en circuito cerrado asegura la operatividad y confiabilidad del serpentín en forma permanente y se puede implementar sin hacer grandes modificaciones al circuito actual.

Económicamente esta sustentado por el ahorro que se consigue al eliminar definitivamente la pérdida de producción ocasionada cuando los grupos generadores paran por este motivo. Este monto supera en el corto tiempo, la inversión requerida para dar una solución total al problema.

#### **1.4 ALCANCE**

El alcance abarca el diseño, desarrollo e implementación de este nuevo sistema de refrigeración, solucionando un problema específico para esta central que tiene un problema hídrico particular de origen ambiental originado por la contaminación.

Principalmente consta de la instalación de una pequeña planta de tratamiento de agua, un reservorio de agua blanda, un sistema de bombeo, y un intercambiador de calor de tubos, además de la tubería y accesorios necesarios para acoplarse a la red ya existente y cumplir su finalidad.

## **CAPÍTULO 2**

### **GENERALIDADES SOBRE LOS GRUPOS DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 54.4 MW**

#### **2.1 DATOS TÉCNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA**

La central hidroeléctrica Malpaso tiene una potencia instalada de 54.4 MW y una potencia efectiva de 48.021 MW, cuenta con 4 Grupos de Generación, un grupo generador consta de una turbina y su respectivo generador, las turbinas son del tipo Francis de eje vertical, cada una de 13.6 MW de potencia instalada y 12 MW de potencia efectiva, que giran a una velocidad síncrona de 257 RPM. El salto bruto de la caída de agua es 76.5 m a través de un túnel subterráneo.

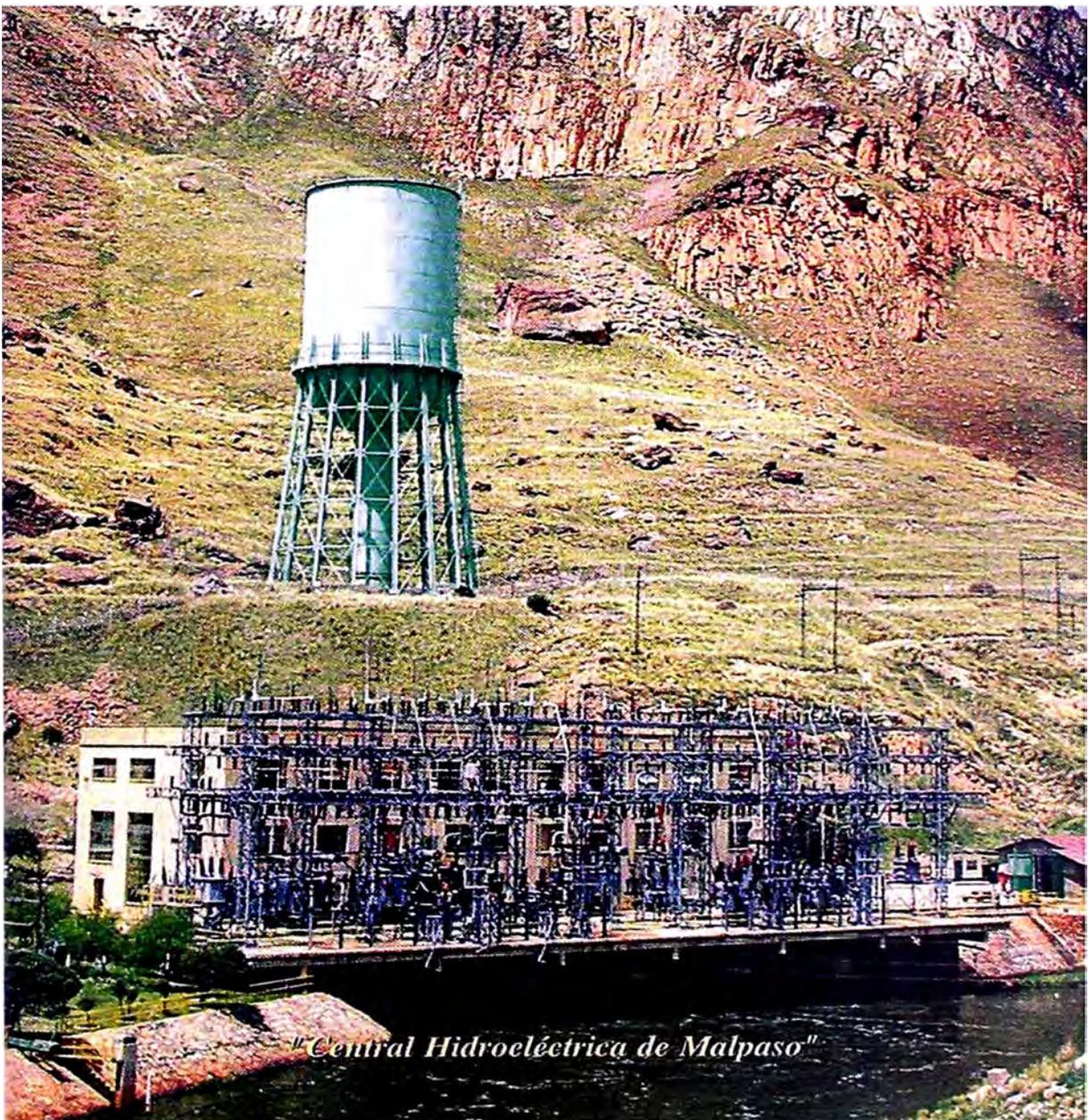
Geográficamente se ubica en la cuenca del río Mantaro, a una altitud de 3 797.56 msnm, pertenece al distrito de Paccha, provincia de Yauli y departamento de Junín. Dista 23 km de la ciudad de La Oroya.

La central trabaja interconectada al SINAC, siendo catalogada como una central de regulación secundaria.

Las operaciones están constituidas por las etapas de:

- Almacenamiento y transporte de agua, para lo cual se utilizan represas, canales y túneles respectivamente.
- Generación, en esta etapa se utilizan turbinas hidráulicas y generadores eléctricos.
- Transmisión, mediante subestaciones eléctricas y líneas de transmisión.

La infraestructura más importante con que cuenta la central es la siguiente:



**Figura 2.1: Central hidroeléctrica Malpaso**

## 2.1.1 Obras de captación

### 2.1.1.1 Represa Upamayo

Almacena y regula la salida de las aguas del Lago Junín, es del tipo Escollera, ubicada en el Centro Poblado Menor de Pari, distrito de Ondores, provincia y departamento de Junín, a una altitud de 4 100 msnm. Es la naciente del río Mantaro.

En el tramo central se ubican 3 compuertas radiales de 11' x 20' cada una, las que sirven para la regulación y a la vez como sistemas de limpieza. Datos técnicos:

Longitud se cresta	: 156.00 m.
Ancho de cresta	: 6.60 m.
Longitud de vertedero	: 12 m.
Volumen almacenado máximo	: 950 mm <sup>3</sup>
Volumen utilizable	: 441 mm <sup>3</sup>



**Figura 2.2: Represa Upamayo**



**Figura 2.3: Represa Upamayo aguas abajo, origen del río Mantaro**

### **2.1.1.2 Represa Malpaso**

Se ubica sobre el río Mantaro, a 2.5 km al noroeste de la central hidroeléctrica y a 84.5 km del lago Junín, sus características son:

Longitud de cresta	: 400' (122m)
Altura de presa	: 215' (65.5m)
Longitud de rebosadero	: 76' (23.2m)
Elevación de cresta	: 3 878.58 msnm
Elevación pie de presa	: 3 801.01 msnm
Nivel superior de agua	: 3 875.53 msnm
Nivel inferior de agua (cota de techo de túnel)	: 3 863.64 msnm
Altura útil	: 11.89 m
Longitud de embalse	: 5.9 km.

Longitud de embalse	: 5.9 km.
Volumen total	: 45.570 mm <sup>3</sup>
Volumen útil	: 23.563 mm <sup>3</sup>
Volumen muerto	: 22.006 mm <sup>3</sup>

Existen otros ríos tributarios del río Mantaro aguas arriba de la presa, estos son los ríos Huarón, Lachugayo, Yanacocha, Carhuacayán, Corpacancha, Pucayacu y Atocsayco.

El nivel del espejo de agua de la presa y sus excesos en tiempos de lluvia es controlado por 5 compuertas de segmento (Tainter de 10' x 28') con una apertura máxima de 10 pies cuyo nivel de control va desde los 195 pies hasta los 205 pies sobre el lecho del río (Cota inferior de compuerta 3 872.48 msnm ó 12 705'). Estas compuertas son accionadas por motores eléctricos de rotación reversible siendo posible también ser accionadas manualmente.

#### **2.1.1.3 Túnel de aducción**

Se inicia al pie de la presa, después de la transición de captación hasta el inicio de la tubería forzada, llegando a una longitud de 1 982.47 m, es revestido de concreto armado en su totalidad, de los cuales los últimos 192 m cuentan con blindaje de planchas de acero de 1" de espesor. La sección transversal es de 5.44 m de diámetro equivalente y tiene una pendiente de 1.4%. Está diseñado para una capacidad de 80 m<sup>3</sup>/s.

La entrada de agua al túnel para luego ser distribuida mediante las tuberías forzadas hacia las turbinas es controlada mediante 4 compuertas de tablero vertical apoyadas sobre rodillos (Intake Gates de 9' x 16') cuyos mecanismos de elevación son operados manual o eléctricamente mediante control local o remoto.

#### **2.1.1.4 Tanque de Equilibrio**

Se encuentra ubicado al inicio de la Tubería Forzada, la función principal de este tanque es absorber el golpe de ariete negativo y positivo que se presenta en la central por variación de carga, esto es un cierre brusco del distribuidor o una apertura brusca del mismo.

Tiene una altura de 90 m. El diámetro menor del tanque (en la parte inferior) es de 4.57 m y el mayor (en la parte superior) es de 16.76 m.

### **2.1.2 Equipo mecánico**

#### **2.1.2.1 Válvula Mariposa**

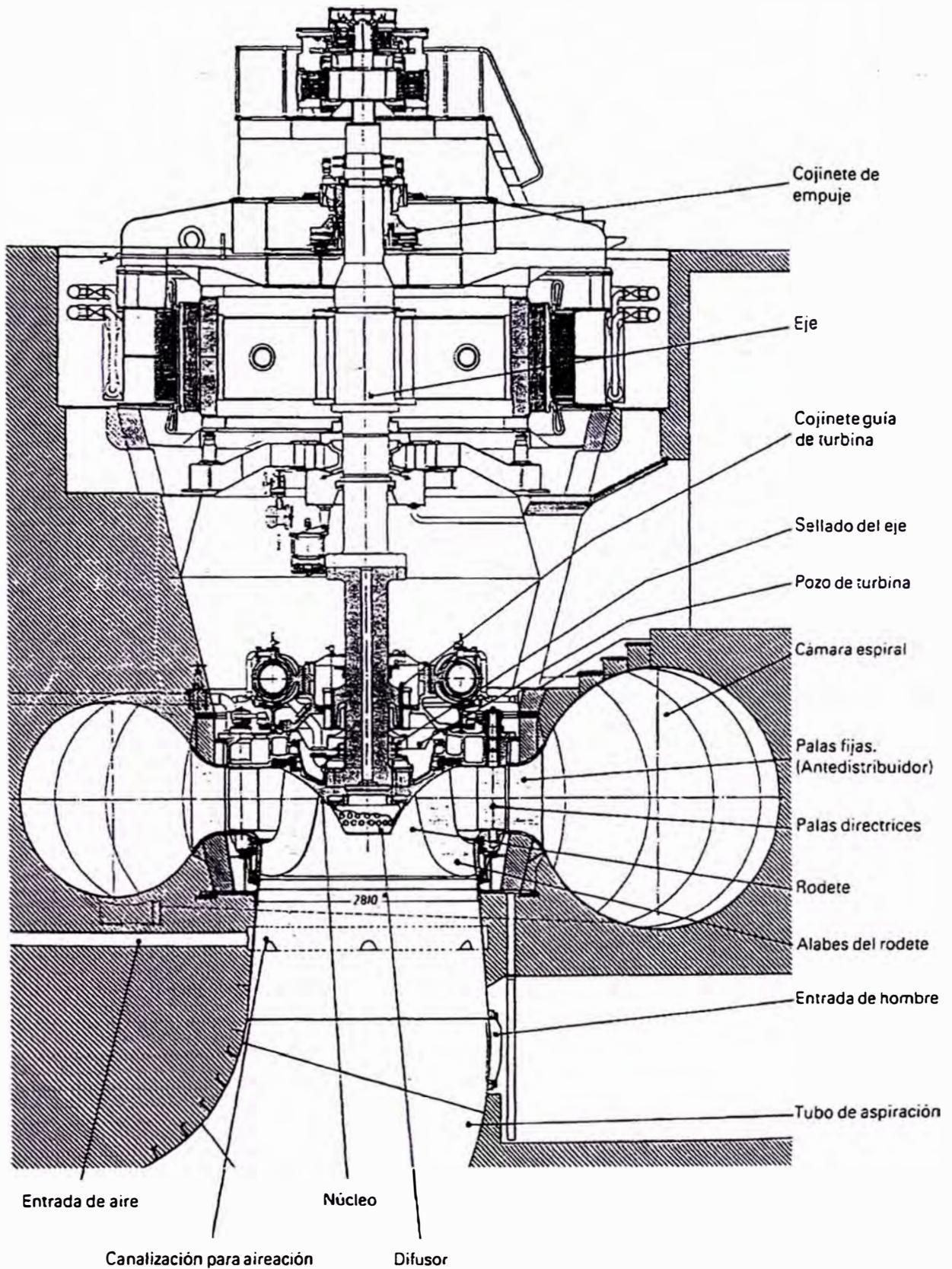
La entrada de agua a las unidades es a través de cuatro válvulas del tipo mariposa, de 2.1 m de diámetro, son operadas hidráulicamente por servomotores, cada una posee una unidad de energía hidráulica, tienen capacidad para soportar la presión de diseño más la presión de golpe de ariete, esto es 200 psi en total. La válvula de comando también puede ser accionada manualmente.

### **2.1.2.2 Turbinas**

La Central Hidroeléctrica cuenta con cuatro grupos de generación, cada turbina motriz es del tipo Francis de eje vertical de 16 álabes, considerado como un motor hidráulico de reacción, que se emplea para caudales grandes y alturas medias.

Para la regulación del caudal, el rodete tiene instalado paletas directrices regulables (18) y paletas antidirectrices fijas (9). La regulación de la potencia es realizada mediante la apertura o cierre de las paletas directrices movidas por dos servomotores accionados con presión de aceite controlada a través del gobernador o regulador de velocidad.

El eje de turbina es mantenido en su lugar por tres cojinetes: un cojinete guía N°1 ubicada en la parte superior de la turbina, el cojinete guía N°2 que se encuentra a la altura de la cruceta y el cojinete guía N°3 que está a la altura del cabezal de empuje. Además está soportado por el cojinete de empuje, que consta de dos discos, uno giratorio y otro fijo; este último está soportado por 186 resortes.



**Figura 2.4: Componentes de una turbina Francis de eje vertical**

### **2.1.2.3 Regulador de Velocidad**

La regulación de velocidad de la turbina se hace en primer término, variando la posición de los álabes del distribuidor, y en consecuencia, la cantidad de agua admitida en el rodete, por medio de un regulador automático que reacciona instantáneamente a las variaciones de velocidad. Se comprende que no es posible mantener una velocidad constante luego de una variación en la carga, puesto que la acción del regulador es una consecuencia de una variación de velocidad en la turbina.

### **2.1.3 Equipo eléctrico**

#### **2.1.3.1 Generadores**

Datos Técnicos:

Marca	: General Eléctric
Potencia	:17 000KVA
Velocidad	: 257 RPM
Disposición	: Eje vertical
Factor de Potencia	:0.8
Tensión de Generación	:6 900V
Corriente de Armadura	: 1 422 A
Corriente de Campo	:225A
Tensión de Excitación	:250V
Tipo de Construcción	: Polos salientes
Tipo de Conexión	: Paralelo Estrella
Número de Polos	: 28

Número de Bobinas	: 288 (84 grupos)
	36 grupos de 4 bobinas
	48 grupos de 3 bobinas
Método de Enfriamiento	: Agua / aceite
Elevación de Temperatura	
Estator /Rotor	:60°C/60°C
Diámetro Exterior Estator	:16' 4 1/4"
Diámetro Interior Estator	:12' 6 1/8"



**Figura 2.5: Generadores de la central hidroeléctrica**

### **2.1.3.2 Sistema de Excitación**

La corriente de excitación es provista por dos excitatrices, una llamada piloto y la otra principal, ambas montadas sobre el mismo eje del alternador.

La excitatriz piloto es autoexcitada con el campo en conexión compound y un reóstato para fijar la tensión de salida. La excitatriz principal tiene el campo excitado por la excitatriz piloto, en serie con aquel está todo el sistema de regulación de tensión el que controla la corriente de excitación de la excitatriz para que éste a su vez, al variar la tensión de salida, regule la corriente de excitación al campo del alternador.

### **2.1.3.3 Subestación**

Los equipos dispuestos en la subestación o patio de llaves de la central hidroeléctrica pueden identificarse en el diagrama de operaciones mostrado en la figura 2.7.

A continuación se detalla las características técnicas de los transformadores de potencia existentes en la subestación, estos equipos reciben la energía proveniente de los generadores a fin de elevar la tensión para su posterior transmisión.

Datos Técnicos:

Relación de Voltaje	: 50 / 6.9 kV
Grupo	: YN d11
Potencia Nominal	: 17 MVA
Impedancia volts	: 8.54 %

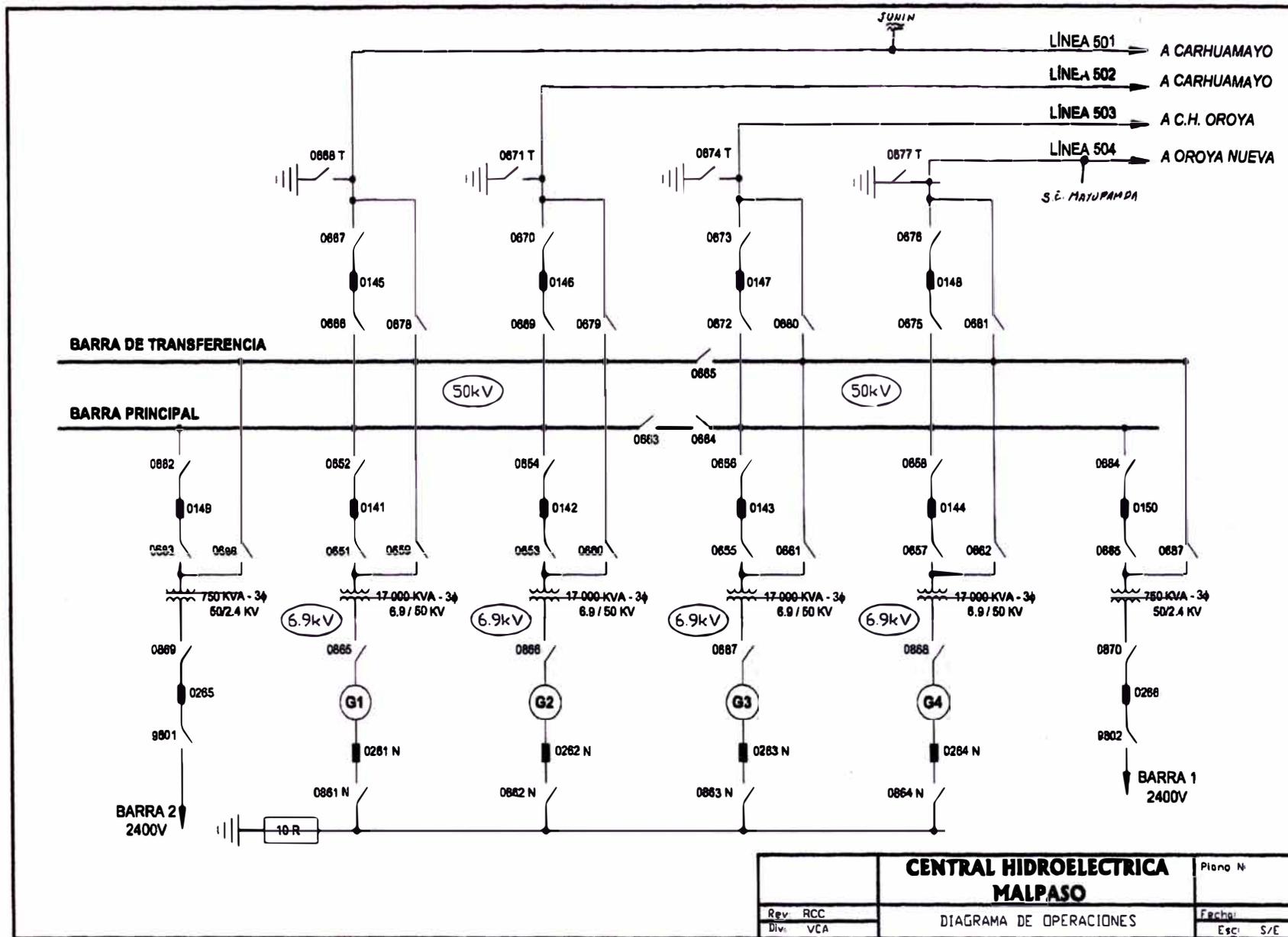
Elevación de Temperatura : 55 °C Continuo

Sistema de Enfriamiento : ONAF – ONAN



**Figura 2.6: Subestación 50/6.9 kV Malpaso**

Figura 2.7: Diagrama de operaciones de la central



<b>CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO</b>		Plano N°
Rev: RCC	DIAGRAMA DE OPERACIONES	Fecha:
Div: VCA		Esc: S/E

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

Es necesario realizar la descripción de los elementos de los grupos de generación relacionados con el tema del informe para una mejor comprensión del objetivo, asimismo plantear el problema y recordar los principios de transferencia de calor, con los cuales se trabajará para encontrar la solución más conveniente.

### **2.2.1 Eje vertical de una turbina Francis**

El eje de un grupo tiene ciertas características propias cuando se encuentra instalado en posición vertical. Por medio del eje de turbina, al estar rígidamente unido mediante acoplamiento al eje del alternador, se transmite al rotor el movimiento de rotación necesario. Ahora bien, en este tipo de turbinas, es en la zona de eje correspondiente al alternador donde se suele disponer el medio para soportar todo el peso del conjunto, formado por eje, rotor, rodete y empuje del agua sobre los álabes de este último. Tal medio, es el denominado cojinete de empuje.

### **2.2.2 Cojinete guía**

Los cojinetes guía permiten que el eje pueda girar libre y verticalmente alineado, minimizando la fricción y aprovechar al máximo la energía mecánica que recibe del rodete.

Un grupo generador tiene tres cojinetes guía, el N°1 y N°2 constan de un anillo dividido radialmente en dos mitades. Las superficies en contacto con el eje de los tres cojinetes están recubiertas de metal blanco, antifricción o babbit (aleación a base de estaño, antimonio, cobre, plomo, cadmio, etc., en distinto porcentaje), y suelen tener tallados, vertical o diagonalmente,

unos canales sobre la superficie de contacto con el eje, para favorecer la circulación de aceite y así lograr su autolubricación.



**Figura 2.8: Cojinete guía N° 3**

### **2.2.3 Cojinete de empuje**

Tiene la función principal de soportar todo el peso del conjunto eje principal, excitatrices, rotor, rodete y el empuje del agua sobre los álabes de este último. Se encuentra ubicado por encima del rotor del alternador.

Está compuesto de dos discos o platos, el plato inferior y el plato superior. El plato inferior es estacionario y tiene un revestimiento de material antifricción o babbit, además tiene unos canales radiales por donde entra el aceite que forma la película de aceite. El plato superior es móvil y gira conjuntamente con el eje principal, este plato también presenta canales radiales para suministrar el aceite.

El plato inferior es soportado por 186 resortes de 2 ¼" de longitud que están sentados libremente en la caja de la chumacera. El plato superior está unido al cabezal, gorrón o collar de empuje por pines aislados, el cabezal es una pieza que se encaja rígidamente con el eje y asegurado mediante el anillo de retención. Alrededor del cabezal se encuentra la chumacera guía N°3.

Durante la operación existe una película de aceite entre los dos platos de la chumacera de empuje, esta película es lo bastante gruesa para prevenir contactos metálicos así como para hacer que la fricción sea mínima.

El calor generado en la chumacera de empuje es retirado a través del aceite que fluye por los surcos o canales de ambos platos, en adición a esto, las ranuras del plato giratorio actúan

como bombas centrífugas creando un flujo de aceite para remover el calor de la superficie de la chumacera de empuje.

Al objeto que no se produzcan temperaturas anormales en la zona de fricción con el eje, el aceite, alojado en una cuba que rodea al cojinete, es refrigerado convenientemente mediante agua, tomada normalmente de los colectores pertenecientes al sistema de refrigeración. El enfriamiento del aceite también se logra por medio del aire.

La figura 2.9 muestra con más detalle la ubicación del cojinete de empuje con respecto al intercambiador de calor tipo serpentín, asimismo los elementos adyacentes los cuales están designados con la numeración como sigue:

- 22.- Resortes del cojinete de empuje.
- 25.- Caja soporte de cojinetes.
- 28.- Serpentín de refrigeración de tubo de cobre de  $1\frac{1}{2}''\varnothing$ .
- 31.- Cabezal o collar de empuje.
- 32.- Anillo de retención del cabezal.
- 33.- Cojinete guía N° 3
- 35.- Plato o anillo móvil del cojinete de empuje.
- 36.- Plato o anillo estacionario del cojinete de empuje.

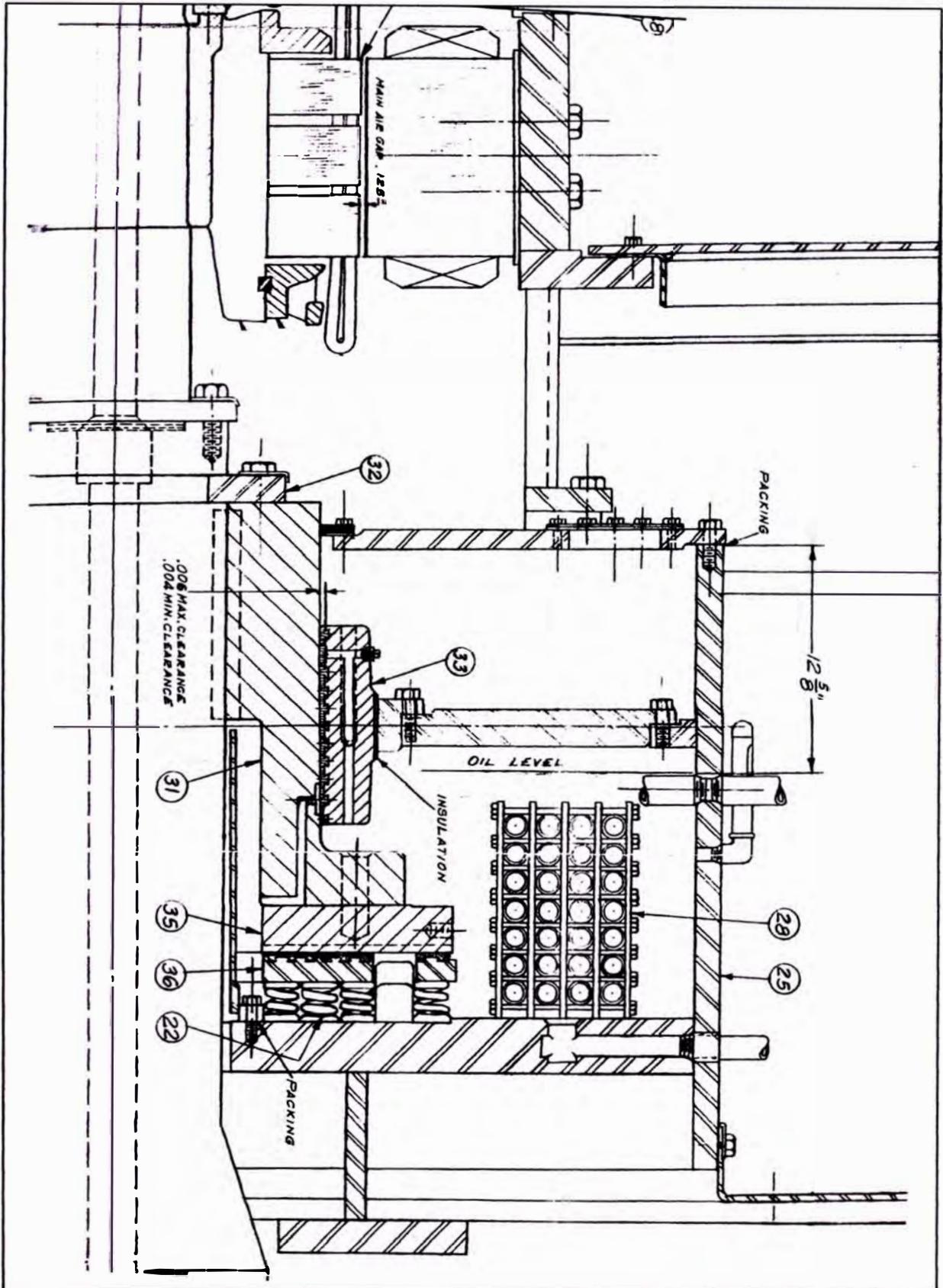
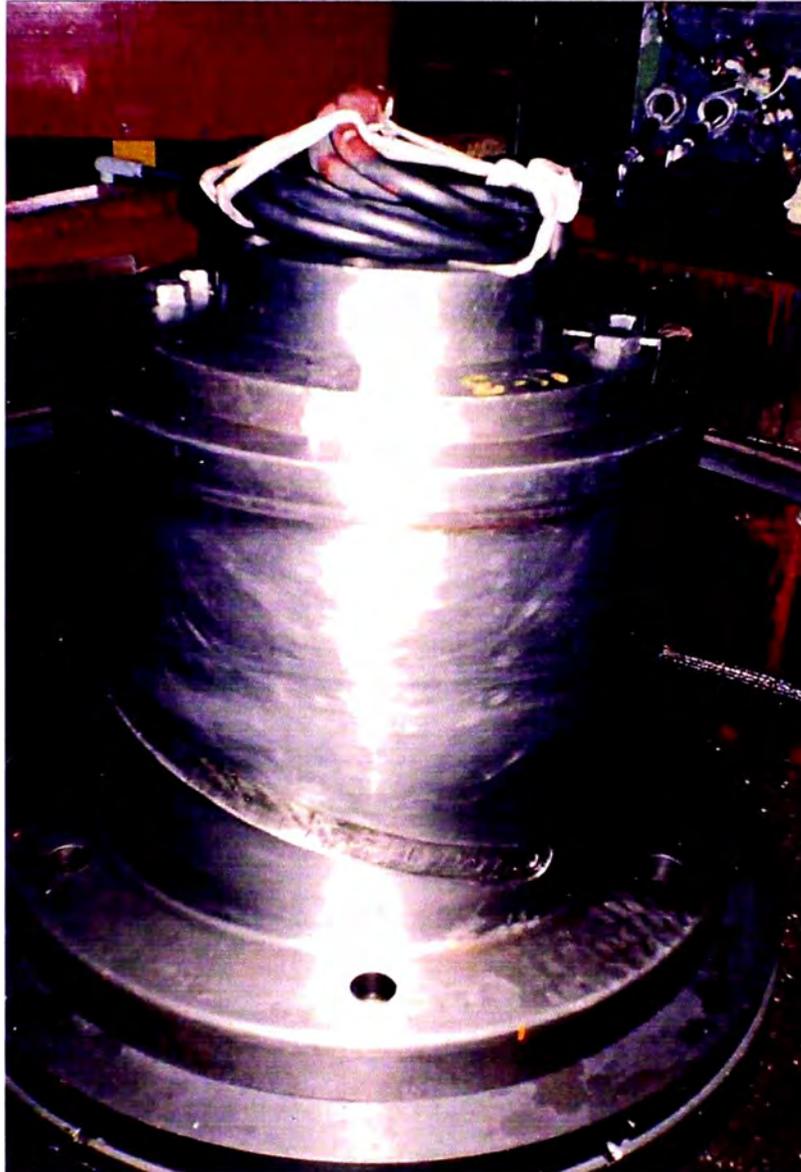


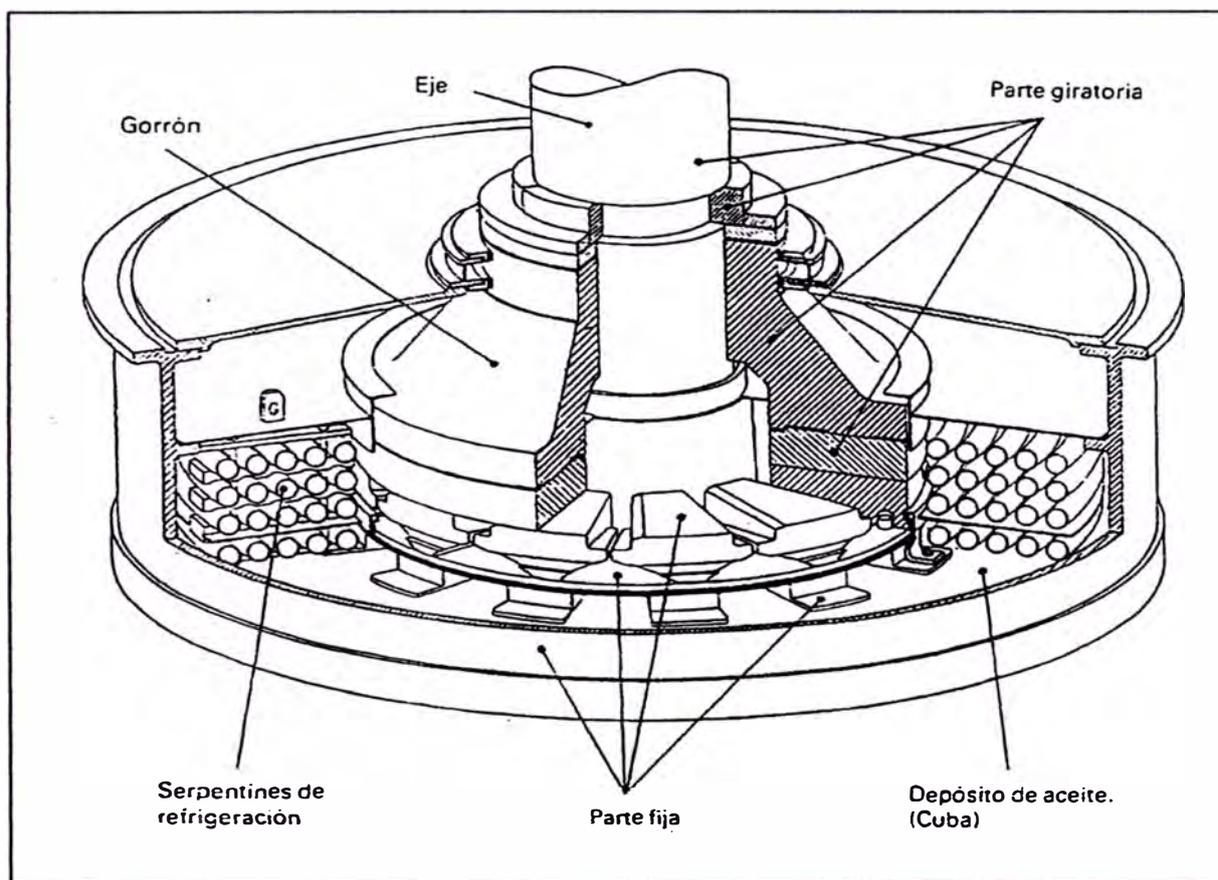
Figura 2.9 Cojinete guía y de empuje de un grupo generador.



**Figura 2.10: Cabezal y cojinete de empuje**

### 2.2.4 Lubricación y refrigeración de los cojinetes

El cojinetes de empuje del grupo, está sumergido en un deposito de aceite, cuba o caja de chumacera, a fin de favorecer la lubricación total de las piezas sometidas a fricción, desde el instante en que el grupo comienza a girar, con lo que se logra la formación de una capa o película de aceite que soporta la carga total. Dicha película, de poquísimo espesor (milésimas de milímetro), ha de mantenerse desde el momento de arranque del grupo hasta la parada total del mismo.



**Figura 2.11: Otro tipo de cojinete de empuje**

Dado que el aceite debe de mantener unos valores de temperatura y viscosidad entre unos límites adecuados, es necesario refrigerarlo convenientemente.

La refrigeración se efectúa haciendo circular agua a través de un intercambiador de calor tipo serpentín, instalado en el interior del propio depósito de aceite tal como muestran las figuras 2.9 y 2.11.

Cuanto más elevada es la temperatura del aceite, su viscosidad se debilita, corriéndose el riesgo de que la película de aceite se rompa, llegándose a producir un agarrotamiento (gripado) entre las zonas en fricción, si se sobrepasan los límites admisibles de temperatura. Se deduce que tal riesgo es mayor durante las paradas que en los arranques.

Para controlar los niveles de aceite, temperaturas en el aceite y en metales antifricción (valores máximos 75 °C y 80 °C, respectivamente), se instalan los correspondientes dispositivos de control, tales como niveles, termostatos y termómetros.

### **2.2.5 Planteamiento del problema**

Revisando la estadística de mantenimiento correctivo de los últimos años, se observa que el tipo de falla que se repite con frecuencia y que origina muchas pérdidas es la obturación del serpentín de refrigeración, equipo que tiene que ser reemplazado por la disminución en la eficiencia de enfriamiento del cojinete de empuje.

El defecto se percibe directamente porque la temperatura en el aceite de lubricación y refrigeración de los cojinetes se incrementa rápidamente en un tiempo menor a un año desde el último cambio, constituyendo una amenaza a la integridad del grupo.

Analizando la falla se observa que el causante es el agua dura que pasa por los tubos del serpentín y que produce encostramiento en las paredes, reduciendo el área de su sección transversal y del paso de agua con la consiguiente pérdida de eficiencia en el enfriamiento, asimismo la elevación de temperatura del cojinete de empuje. La calidad de esta agua se muestra en el apéndice A4, que es el resultado del análisis químico efectuada sobre una muestra.

El agua dura con que trabaja la central hidroeléctrica viene desde el lago Junín que presenta contaminación y cuyos sólidos disueltos de relaves llegan hasta la presa Malpaso, desde donde al haber operaciones de parada o puesta en marcha de los grupos la turbidez del agua ingresa al túnel, a la tubería forzada y hacia las turbinas, pero una parte es captada para el circuito de refrigeración originando el problema.

Para darle una solución definitiva el planteamiento es dotar de un sistema de refrigeración con agua blanda que luego de enfriar circule en circuito cerrado asegurando la continuidad del sistema con un tipo de agua libre de sustancias y minerales que originan los encostramientos.

El calor extraído será derivado al medio ambiente mediante la instalación de un intercambiador de calor de tubos.

Cabe mencionar que la fabricación y montaje lo realizará el personal de mantenimiento de la empresa, pues cuenta con mano de obra calificada y un taller de maestría con máquinas y herramientas adecuadas para dicho fin.

Para ello usaremos las relaciones de los principios de transferencia de calor para el diseño y la fabricación del Intercambiador de calor más sencillo que es el de tubos concéntricos.

Por otro lado se requiere de una planta que trate el agua dura y lo ablande, por ello teniendo como referencia el informe del análisis químico de calidad del agua, se selecciona una planta de ablandamiento que cumpla con los requerimientos de entrega de agua de calidad apta para circular por los serpentines sin causar encostramiento.

### **2.2.6 Fundamentos de transferencia de calor**

La energía se puede transferir mediante interacciones de un sistema con su alrededor. Estas interacciones se denominan trabajo y calor.

Transferencia de calor es energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas, siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor. Existen tres modos de transferencia de calor.

Cuando existe un gradiente de temperatura en un medio estacionario, sólido o un fluido, a la transferencia de calor que se produce a través del medio se denomina conducción.

El termino convección se refiere a la transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas.

El tercer modo de transferencia de calor se denomina radiación térmica. Todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Por tanto, en

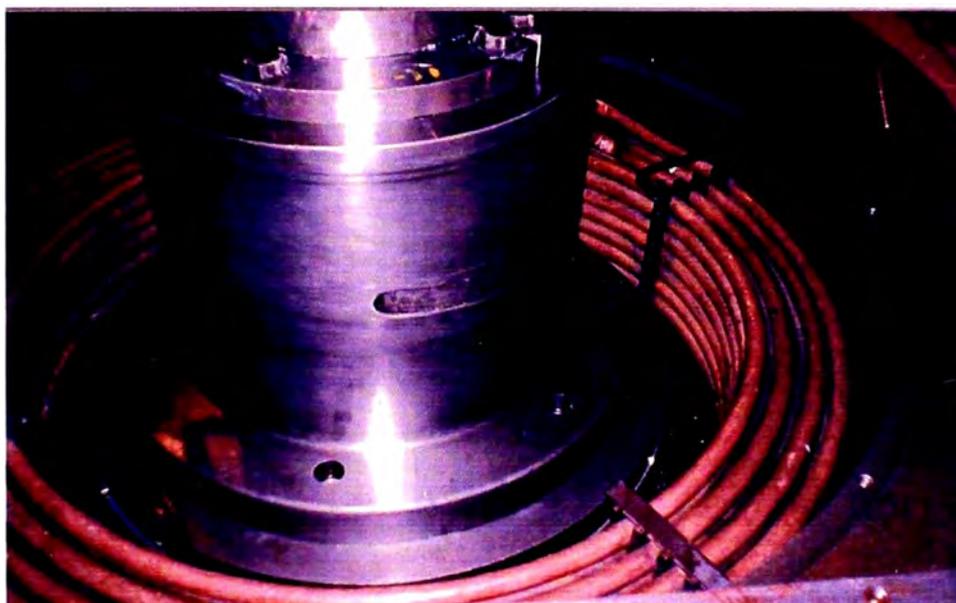
ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas.

Estamos interesados en la transferencia de calor por convección que ocurre entre un fluido en movimiento y una superficie limitante cuando estos tienen diferentes temperaturas, Existen dos tipos de este modo de transferencia de calor. Hablamos de convección forzada cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador o una bomba. En cambio en convección libre o natural el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido.

## CAPÍTULO 3

### SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN CIRCUITO ABIERTO

El sistema de refrigeración es una parte fundamental de una central hidroeléctrica y constituye el elemento básico para el enfriamiento del alternador, el transformador, los cojinetes y el regulador de velocidad. En el presente informe nos ocupamos del enfriamiento de los cojinetes de empuje, cabe mencionar que los devanados del estator de los generadores tienen ventilación natural por aire.



**Figura 3.1: Intercambiador de calor tipo serpentín**

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO

El sistema capta el agua desde la tubería de presión de 2.6 m de diámetro del Grupo de Generación N°2, antes de la válvula de admisión tipo mariposa de 2.1 m de diámetro, ésta es conducida mediante una tubería de 6"Ø que luego de pasar por un

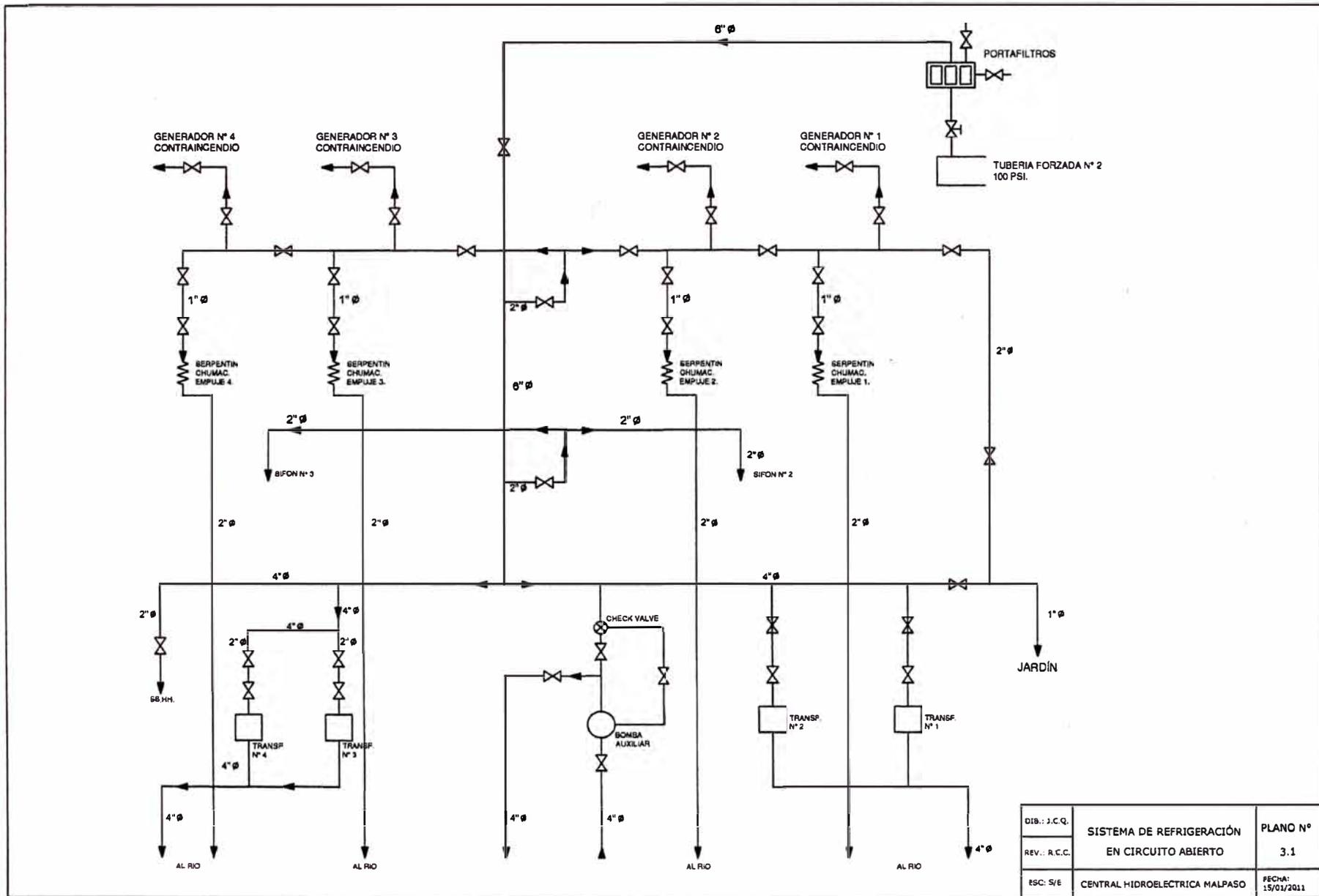
metálico hacia tres derivaciones tal como muestra el plano 3.1 y que describimos a continuación, cabe mencionar que toda la instalación está dentro de la casa de máquinas.

1) Una primera derivación mediante conexión Te de 6"x6"x2"Ø para conectarla a una tubería de 2"Ø que alimenta mediante cuatro subderivaciones de conexiones Te de 2"x2"x1"Ø a los serpentines de refrigeración de 1½"Ø de los cojinetes de empuje de los 04 grupos generadores, a donde el agua ingresa con un caudal de 3 litros/ minuto, y a una temperatura de 15 °C, sale a 25 °C. De la misma tubería de 2"Ø también se derivan conexiones independientes de sistema contraincendio para cada unidad.

2) Una segunda derivación mediante una conexión Te de 6"x6"x2"Ø para abastecer a los sifones N°2 y N°3.

3) Una tercera derivación mediante una conexión Te de 6"x6"x4"Ø que alimentaba a los serpentines de refrigeración de los transformadores de potencia de los Grupos de Generación, hoy está fuera de servicio, ya que los transformadores fueron reemplazados y los nuevos tienen otro sistema de enfriamiento, solo está activa la parte correspondiente a servicios higiénicos y jardín.

Al final de su recorrido todas estas derivaciones echan sus aguas al río Mantaro, exactamente en la zona de descarga del agua turbinada, al nivel del primer sótano.



### 3.2 MANTENIMIENTO

Se tiene mantenimientos preventivos mensuales y un mantenimiento programado anual en la época de lluvias, pero con respecto al mantenimiento de los serpentines, solo se actúa en forma correctiva cuando la temperatura de lubricación y refrigeración del aceite del cojinete de empuje y guía N° 3 se incrementa peligrosamente hasta pasar los 60 °C, obligando parar el grupo para un mantenimiento correctivo de cambio de serpentín.



**Figura 3.2: Ingreso y salida del agua de refrigeración**

### **3.3 PROBLEMÁTICA DE SU FUNCIONAMIENTO**

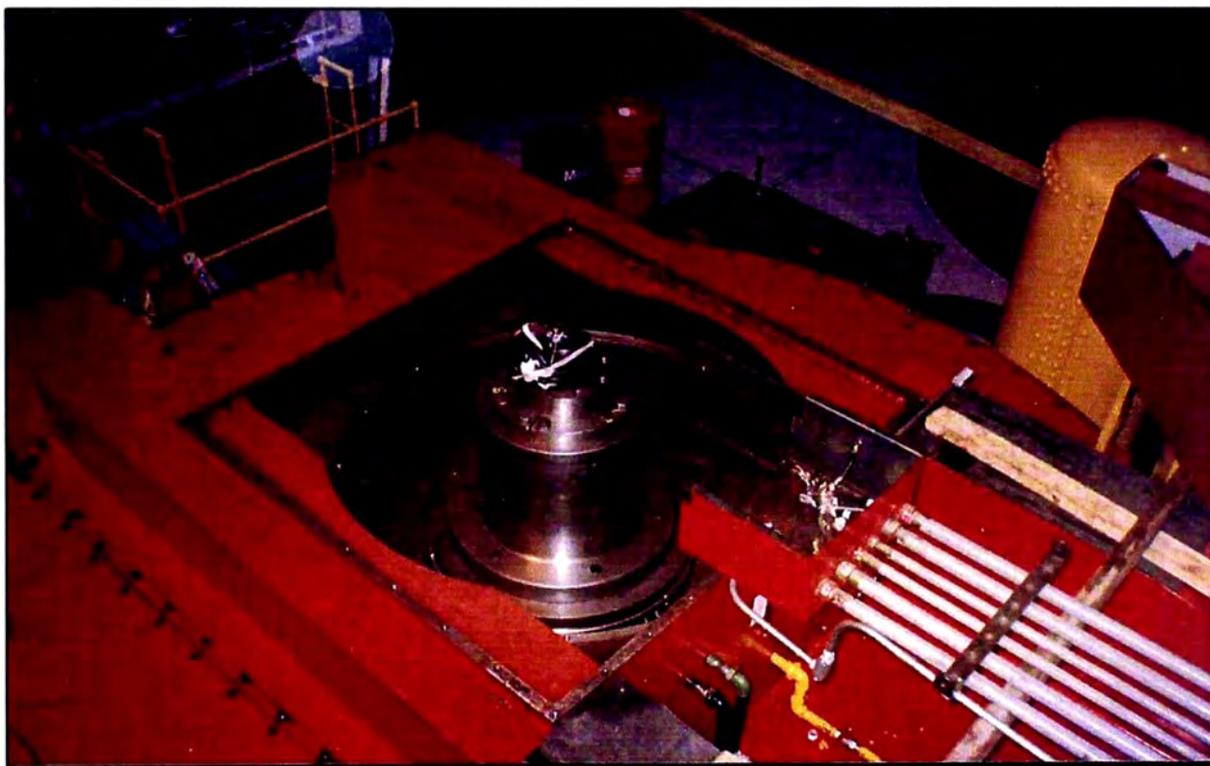
El problema de este sistema de refrigeración consiste en que toma y usa agua de la tubería forzada, que viene mediante el túnel desde la presa Malpaso, un agua sumamente dura, cuya composición y análisis mostramos en el apéndice A4.

Esto origina que periódicamente se van incrustando sales y carbonatos formando el caliche en toda la línea del agua de refrigeración, afectando principalmente a la sección circular de la tubería de cobre de 1.5"Ø de los serpentines que enfrían a los cojinetes de empuje, llegándose en ocasiones a una reducción del 50% del diámetro nominal, esto ocasiona una deficiencia en el intercambio de calor entre el aceite caliente presente en la cuba o tanque y el agua de enfriamiento que fluye por el interior del serpentín.

Esta baja en la eficiencia de refrigeración, pone en riesgo al cojinete de empuje y al cojinete guía N° 3, esto es, el sobrecalentamiento o incremento de temperatura por encima del permisible causa graves daños al material antifricción o babbit de los cojinetes, elemento vital para el funcionamiento de los Grupos.

De la estadística de mantenimiento, se observa que este evento ocurre en promedio dos veces por año, presentándose en dos grupos, originando de esta manera costos por mantenimiento correctivo y principalmente pérdidas de producción de energía eléctrica.

El incremento de temperatura, va desde los 50 °C cuando el serpentín ingresa, reparado y limpio hasta pasar los 60 °C a consecuencia del caliche, una condición muy peligrosa para el grupo generador.



**Figura 3.3: Mantenimiento correctivo por falla del serpentín**

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PROPUESTO EN CIRCUITO CERRADO**

#### **4.1 EL INTERCAMBIADOR DE CALOR**

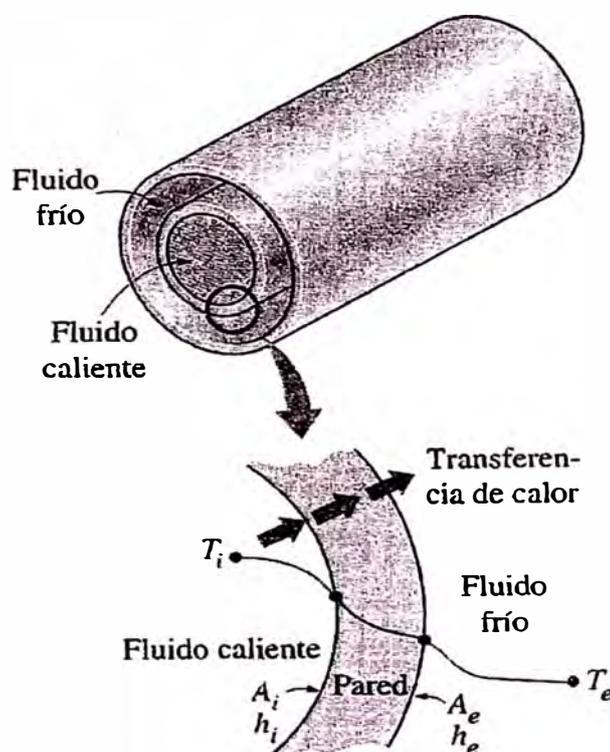
Es un aparato que permite la transferencia de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes a través de una pared cilíndrica que los separa y evita se mezclen entre sí.

Los intercambiadores se fabrican en diversos tipos, siendo el más simple el de doble tubo, los hay también de configuraciones más complejas que incluyen pasos múltiples, aletas y deflectores. En este caso se requieren los principios de transferencia de calor por conducción, convección y en ocasiones por radiación para describir el proceso de intercambio de energía.

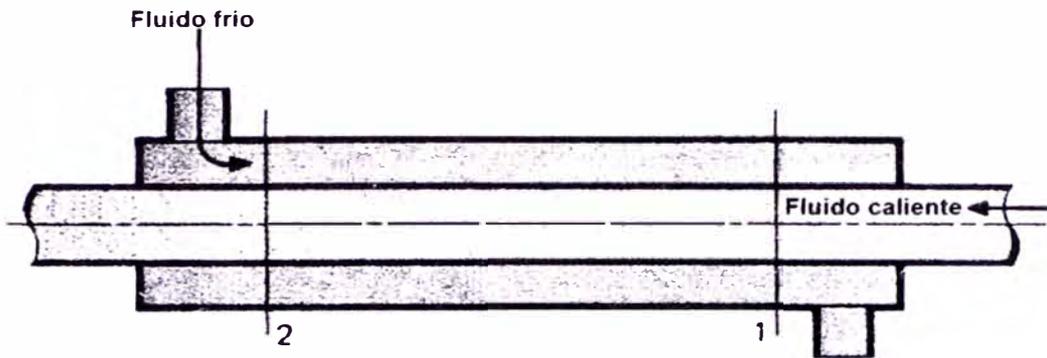
El intercambio calórico en este tipo de aparatos, se aprovecha en multitud de procesos, en este caso se utilizará para enfriar el agua de refrigeración en un circuito cerrado.

#### 4.1.1 Tipo de intercambiador

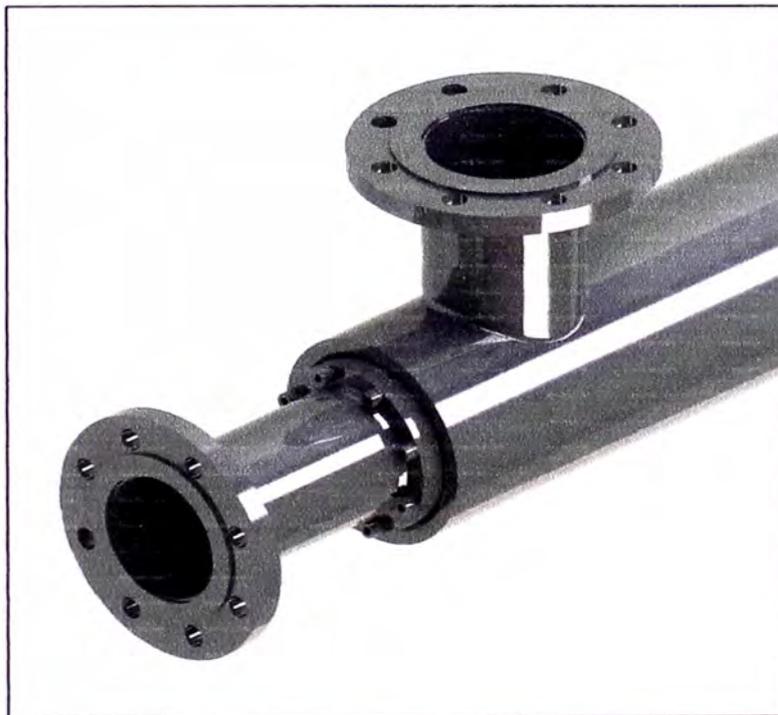
El sistema de intercambio térmico que diseñamos considera la implementación de un intercambiador de calor de doble tubo, es decir tubos concéntricos y en disposición de contraflujo, esto es, los fluidos caliente y frío ingresan por extremos opuestos como se observa en la figura 4.2, en el cual el agua blanda proveniente de los serpentines y a mayor temperatura fluye por el tubo interior de 2"Ø, mientras que por la región anular comprendido entre el tubo de 2"Ø y de 4"Ø fluye el agua de enfriamiento captado desde un punto que fue alimentador para la refrigeración del transformador de potencia N°3. El modelo a replicar será similar al mostrado en la figura 4.3.



**Figura: 4.1. Transferencia de calor en un intercambiador de tubos.**



**Figura 4.2: Intercambiador de calor de doble tubo en contraflujo**



**Figura 4.3: Modelo adoptado**

## **4.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION**

Luego de analizar el actual funcionamiento del sistema de refrigeración de los cojinetes de empuje de los Grupos de Generación, determinar la causa de la falla y consecuencias de su operación proponemos el cambio del sistema de refrigeración a circuito cerrado y que opere con agua blanda en lugar de agua dura.

Como se muestra en el plano 4.1, el sistema de refrigeración propuesto, parte de captar agua dura de la segunda derivación del actual sistema de refrigeración, que es para los sifones, exactamente en el punto T o punto de toma, en el interior de la casa de máquinas, desde aquí se lleva el agua mediante una tubería de 2"Ø hacia la planta de ablandamiento situado en el exterior de la casa de máquinas, la planta tratará agua dura de 400 ppm (partes por millón) y entregará agua blanda a menos de 50 ppm como se recomienda para estos usos.

El agua tratada obtenida se almacenará en un reservorio metálico de 14 m<sup>3</sup> de capacidad y semienterrado adyacente a la planta, desde aquí el agua será impulsada mediante una bomba centrífuga y tubería de 2"Ø hacia la primera derivación que alimenta a los serpentines de cada uno de los cuatro grupos de generación, ya dentro de la casa de máquinas, exactamente en el punto C o punto de conexión, para hacerla circular por los intercambiadores de calor tipo serpentín que refrigeran a los cojinetes de empuje.

Las cuatro salidas que con el sistema de circuito abierto descargan al río, ahora con el nuevo sistema serán colectadas por otra tubería de 2"Ø, ya en el exterior de la casa

de máquinas, exactamente al nivel del primer sótano, lugar muy frío, donde descargan las aguas turbinadas al río Mantaro, generalmente con temperaturas de 2 a 3°C por debajo de la del ambiente, permanentemente bajo sombra por la presencia de un techo, como se observa en el plano N° 4.2 que es la plataforma de concreto de la subestación de la central; esta tubería colectora que lleva el agua caliente, luego de recorrer una longitud de 75 metros ingresa al intercambiador de calor de tubos aquí instalado, como se verifica en el plano N° 4.1, para su enfriamiento, luego continua el retorno al reservorio de agua tratada, cerrando el circuito.

Previamente, para adecuar la infraestructura existente al nuevo sistema de circuito cerrado, se realizan las siguientes instalaciones: En el punto T, se reemplaza el codo por una derivación en Te de 2" Ø para captar agua dura hacia la planta de ablandamiento. En el punto C, se reemplaza el codo por una derivación en Te de 2" Ø para recibir el agua tratada. En el punto I, se instala una derivación en Te de 2" Ø para tomar el agua de enfriamiento del intercambiador de calor de tubos.

#### **4.2.1 Procedimiento de puesta en servicio.**

Referencia Plano 4.1

- 1) Se abre la válvula VA, para captar agua dura de la derivación para sifones y alimentar a la planta de ablandamiento, el agua obtenida se almacena en el reservorio adyacente abriendo previamente la válvula VR, válvula de abastecimiento al reservorio.

- 2) Se abre la válvula VI, para alimentar con agua fría al intercambiador que servirá como líquido enfriador que luego se descarga al río.
- 3) Se cierra la válvula VS, salida del tubo colector en 2" Ø hacia el río.
- 4) Se abre la válvula VJ, que permite el ingreso del agua caliente gradualmente del tubo colector al intercambiador de calor.
- 5) Se cierra la válvula VC, que corta el ingreso de agua dura a la derivación de serpentines en 2" Ø.
- 6) Se arranca la bomba centrífuga de servicio.
- 7) Se abre la válvula VB, que permite el ingreso de agua blanda hacia los serpentines de refrigeración, enfriarse en el intercambiador de calor y finalmente retornar al reservorio de agua tratada, cerrando el circuito.

Leyenda del plano N° 4.1 Sistema de Refrigeración en circuito cerrado:

T : Punto de captación de agua dura para su tratamiento.

VA: Válvula que controla el ingreso de agua dura a la planta de ablandamiento.

VR: Válvula que controla el ingreso de agua blanda al reservorio principal.

VB: Válvula de la bomba centrífuga que controla la salida de agua blanda al sistema de circuito cerrado.

C : Punto de conexión o alimentación de agua blanda al sistema de circuito cerrado.

VC: Válvula que controla el ingreso de agua dura a la matriz que alimenta a los serpentines.

I : Punto de captación de agua dura para enfriamiento en el intercambiador.

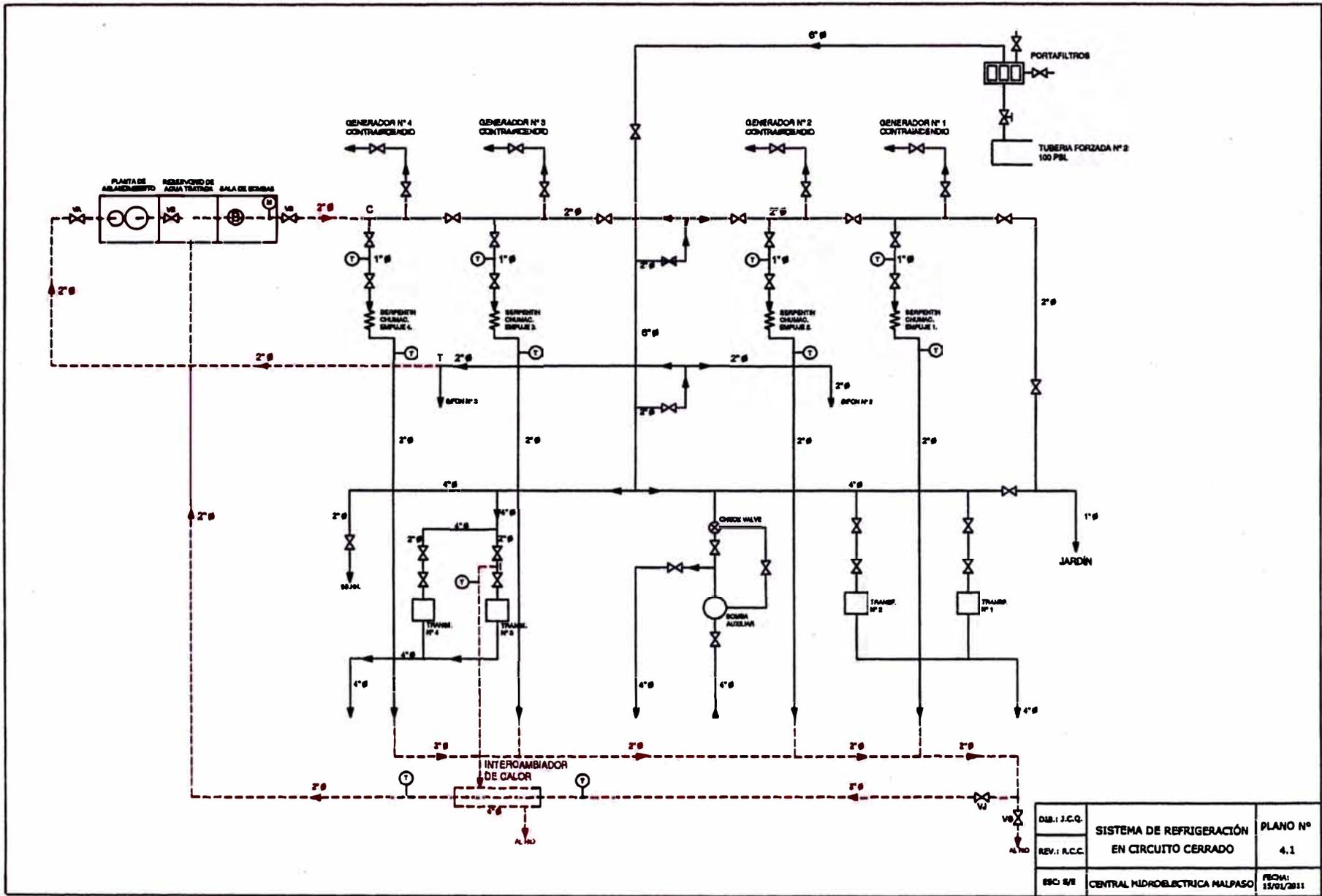
VI : Válvula que controla el ingreso de agua dura al intercambiador de calor.

VS: Válvula que permite la salida de agua dura del tubo colector al río.

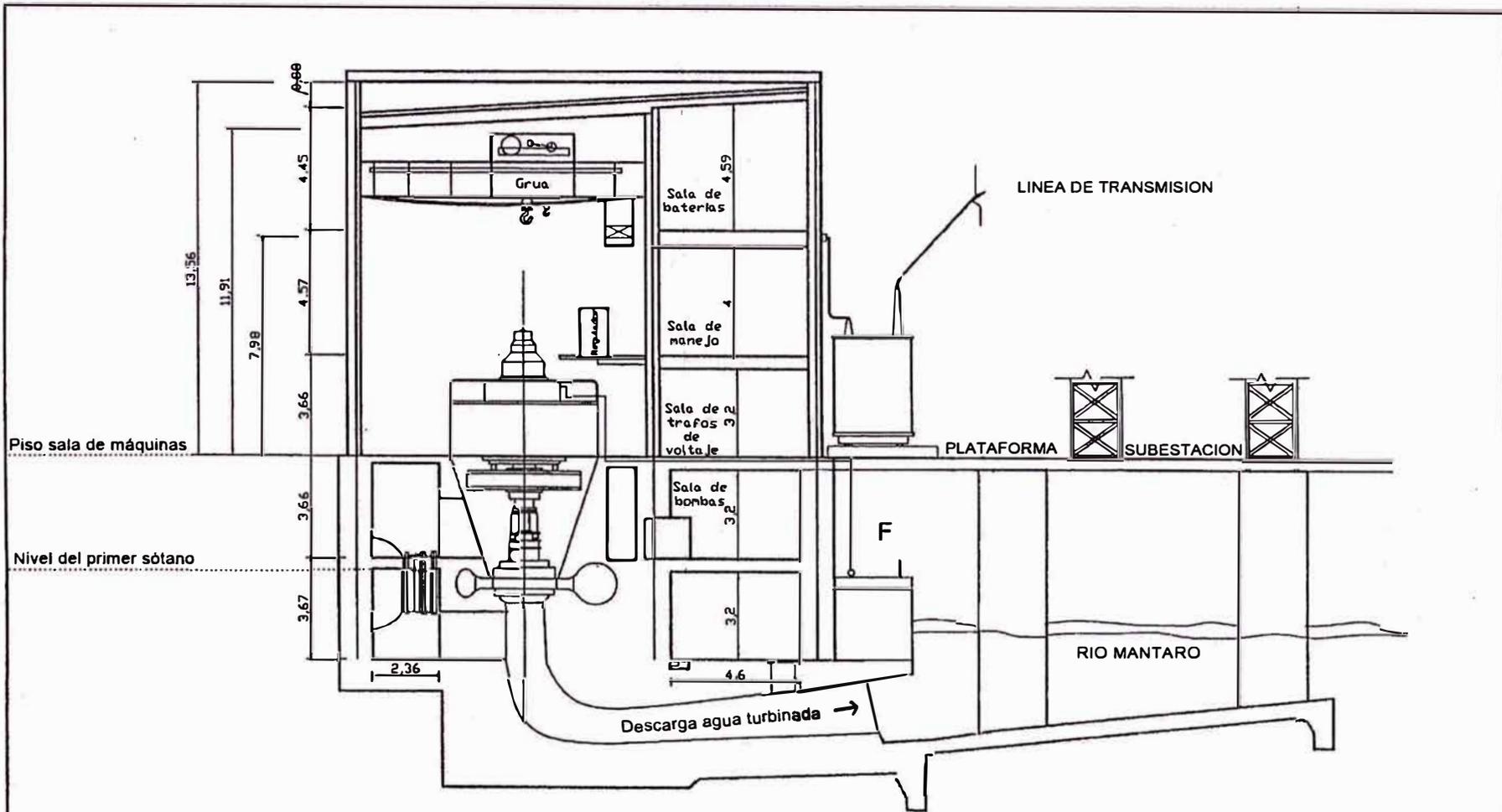
VJ : Válvula que controla el ingreso de agua caliente del tubo colector al intercambiador.

- (T) : Termómetro.

- (M) : Manómetro.



DIB.: J.C.Q.	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN CIRCUITO CERRADO	PLANO N°
REV.: R.C.C.		4.1
ESC: 5/8	CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO	FECHA: 15/01/2011

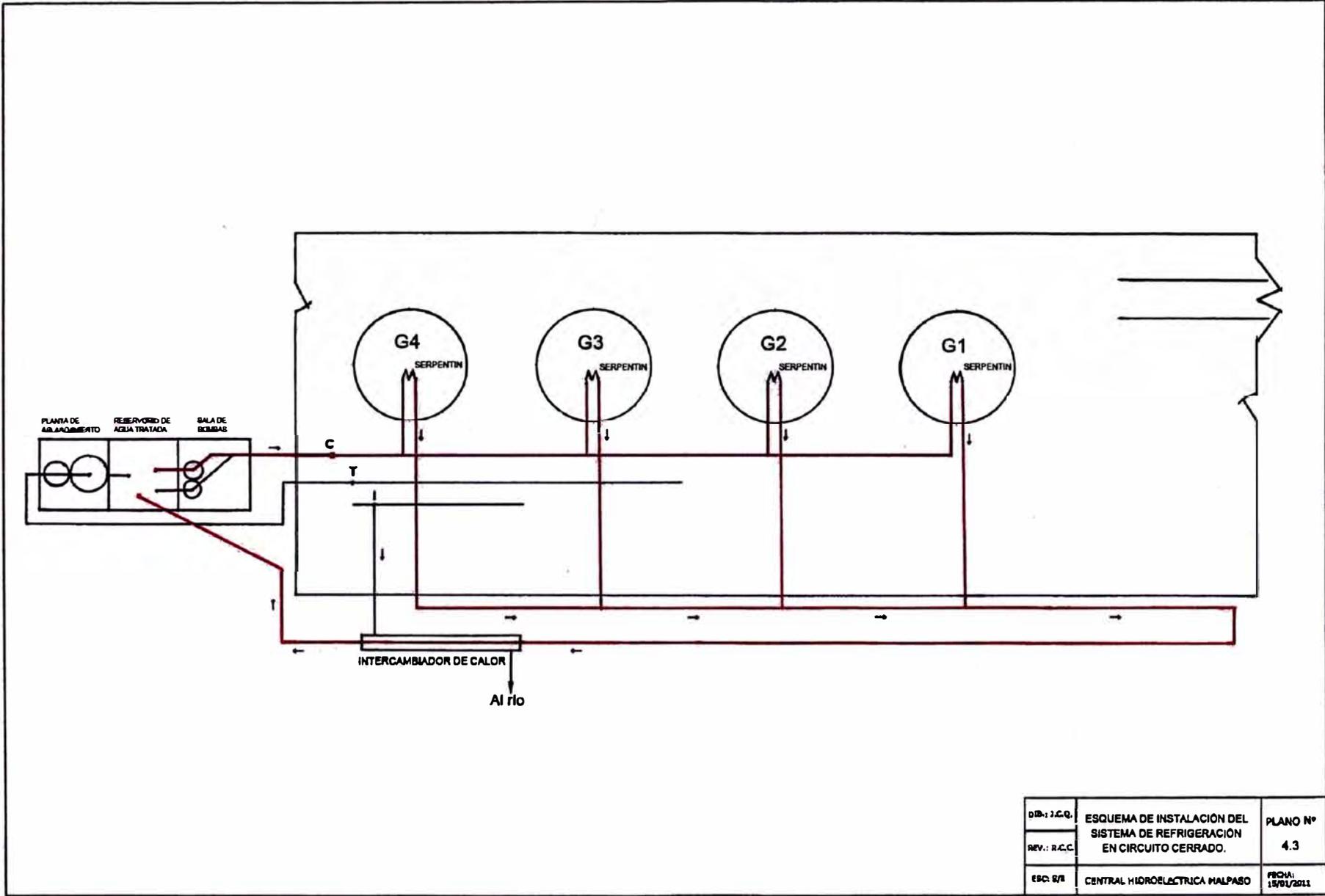


Piso sala de máquinas

Nivel del primer sótano

Dib.: C.J.Q.	VISTA DE PERFIL DE LA CASA DE MAQUINAS Y SUBESTACION	PLANO N° 4.2.
Rev: R.C.C.		FECHA: 15/01/2011
ESC.: S/N	CENTRAL HIDROELECTRICA MALPASO	

F: Zona de enfriamiento por convección libre y radiación



### 4.3 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Existen dos métodos usados en el análisis de los intercambiadores de calor, el de la diferencia de temperatura media logarítmica (DTML) es el más adecuado para determinar el tamaño de un intercambiador cuando se conocen todas las temperaturas de entrada y salida. El método de la efectividad (NTU) es el más adecuado para predecir las temperaturas de salida de las corrientes de los fluidos caliente y frío en un intercambiador específico.

Nosotros usaremos el primer método, ya que conocemos todas las temperaturas terminales, el objetivo es hallar el área superficial necesaria para transferir calor con una determinada rapidez, que finalmente determinará la longitud del intercambiador.

Esto se facilita con el empleo del Coeficiente de transferencia de calor total  $U$ , que puede expresarse en función de los coeficientes individuales relacionados con las distintas resistencias térmicas al paso del calor de un fluido a otro.

Este coeficiente es válido para superficies limpias y es necesario modificarla para tomar en cuenta los efectos de la incrustación o ensuciamiento sobre las superficies interior y exterior del tubo, en este caso usaremos el Coeficiente de Transferencia de Calor Total de diseño  $U_d$ , que considera tal efecto.

El rendimiento de los intercambiadores suele deteriorarse con el paso del tiempo como resultado de la acumulación de depósitos sobre las superficies de transferencia de calor. La capa de depósitos representa una resistencia adicional para esta transferencia y hace que disminuya la velocidad de la misma. El efecto neto de estas acumulaciones sobre la transferencia de calor se representa por un factor de

incrustación o de suciedad  $R_f$  el cual es una medida de la resistencia térmica introducida por la incrustación. La incrustación se incrementa al aumentar la temperatura y disminuir la velocidad.

Por otro lado, el diseño de intercambiadores de calor exige el análisis de factores tales como la naturaleza y las propiedades físicas de los fluidos, los caudales, los grados de recuperación del calor deseado, las condiciones de operación y de flujo, presión, temperatura y velocidad. También son de considerar el tamaño, el peso, la resistencia estructural y el costo

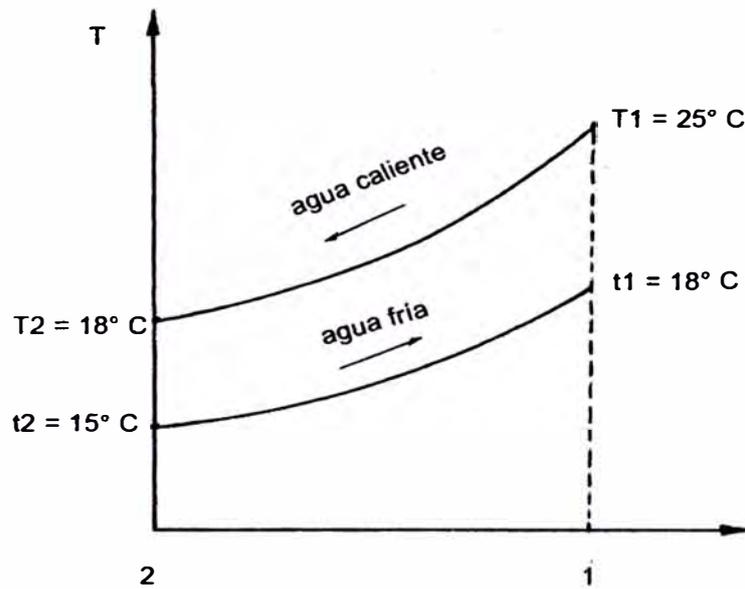
Los citados factores determinan el valor del Coeficiente de transferencia de calor total, la cantidad de calor a intercambiar por unidad de tiempo, el área de intercambio necesaria, el grado de ensuciamiento permisible, la pérdida de carga, pérdida de presión, la energía de bomba necesaria, entre otros. Como referencia, el apéndice A5 muestra valores representativos del coeficiente de transferencia de calor total  $U$ .

#### **4.3.1 Criterios de cálculo**

Se definen los siguientes parámetros:

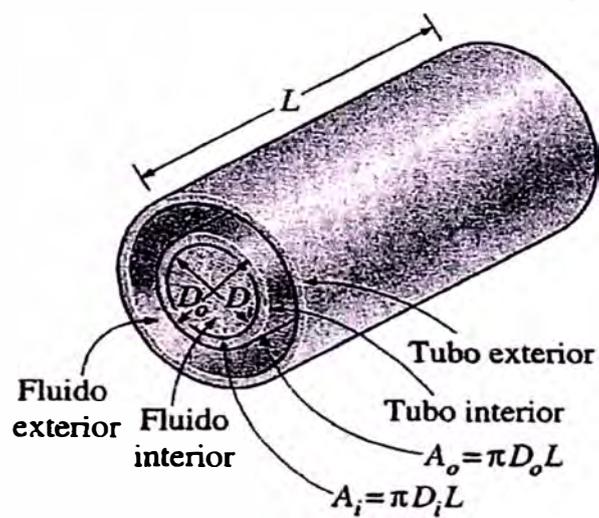
- $q_s$  : Calor cedido por el aceite del cojinete al agua del serpentín, W
- $\dot{m}_s$  : Flujo de masa de agua en el serpentín, kg/s
- $\dot{m}_r$  : Flujo de masa de agua para enfriamiento en el intercambiador, kg/s
- $C_p$  : Calor específico a presión constante, J/kg\*°C
- $T_i$  : Temperatura de ingreso de agua al serpentín en el circuito abierto, °C
- $T_s$  : Temperatura de salida de agua del serpentín en el circuito abierto, °C
- $T_a$  : Temperatura de la corriente libre del aire, °C
- $T_{st}$  : Temperatura de la superficie exterior del tubo, °C
- $k$  : Conductividad térmica, W/m\*°C

$\nu$	: Viscosidad cinemática, $m^2/s$
Pr	: Número de Prandtl
Ra	: Número de Rayleigh
g	: Aceleración de la gravedad, $m/s^2$
Nu	: Número de Nusselt
$h_e$	: Coeficiente externo de transferencia de calor por convección, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
$\varepsilon$	: Emisividad
$\sigma$	: Constante de Stefan-Boltzmann, $W/m^2 \cdot k^4$
Re	: Número de Reynolds
V	: Velocidad, $m/s$
D	: Diámetro, $m$
$h_i$	: Coeficiente interno de transferencia de calor por convección, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
$R_f$	: Factor de ensuciamiento
$h_{if}$	: Coeficiente interno afectado por el factor de ensuciamiento
$h_{ef}$	: Coeficiente externo afectado por el factor de ensuciamiento
$D_h$	: Diámetro hidráulico, $m$
$U_d$	: Coeficiente global de transferencia de calor de diseño, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
$T_1$	: Temperatura de ingreso del agua caliente al intercambiador, $^\circ C$
$T_2$	: Temperatura de salida del agua del intercambiador, $^\circ C$
$t_1$	: Temperatura de salida del agua fría del intercambiador, $^\circ C$
$t_2$	: Temperatura de ingreso del agua fría al intercambiador, $^\circ C$
$\rho$	: Densidad de masa, $kg/m^3$
$\mu$	: Viscosidad dinámica, $kg/s \cdot m$
A	: Área efectiva de transferencia de calor, $m^2$

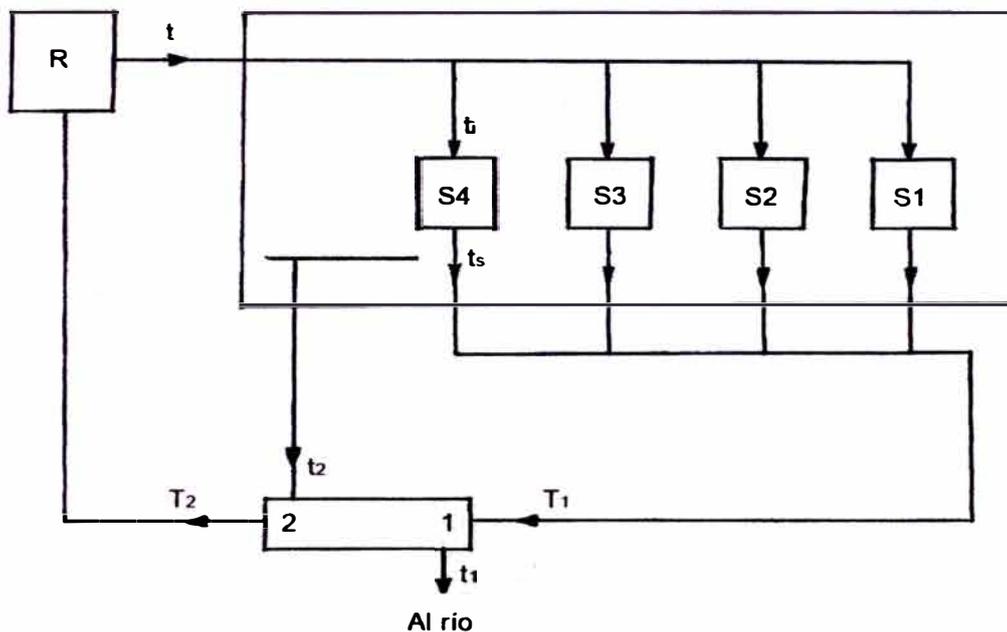


**Figura 4.4: Distribución de Temperaturas en el intercambiador**

Para tubos delgados  $D_i \approx D_o$ , en consecuencia  $A_i \approx A_o$



**Figura 4.5: Áreas superficiales del intercambiador de calor**



**Figura 4.6 Esquema de funcionamiento del circuito cerrado**

S4 : Serpentín del grupo N° 4

R : Reservorio de agua tratada

Temperaturas asumidas para el serpentín, operando en circuito cerrado:

$t_i = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura de ingreso de agua

$t_s = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura de salida de agua

Temperaturas en el intercambiador de calor para las condiciones más desfavorables de modo que aseguramos cumplir el máximo requerimiento

$T_1 = 25^{\circ}\text{C}$ , temperatura de ingreso de agua caliente

$T_2 = 18^{\circ}\text{C}$ , temperatura de salida de agua caliente

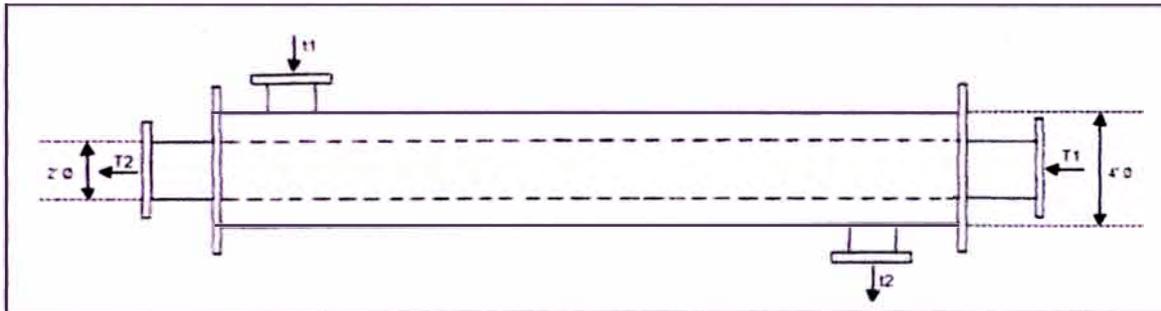
$t_2 = 15^{\circ}\text{C}$ , temperatura de ingreso de agua fría.

$t_1 = 18^{\circ}\text{C}$ , temperatura de salida de agua fría

Dimensiones de diámetros asumidos para el cálculo del intercambiador:

$D_i = 2'' = 0.0508 \text{ m}$ , diámetro del tubo interior

$D_e = 4'' = 0.1016 \text{ m}$ , diámetro del tubo exterior o coraza.



**Figura 4.7: Dimensiones del intercambiador de calor**

Además, por conveniencia para mejorar la eficiencia de enfriamiento se asumen las siguientes condiciones:

$V = 1.5 \text{ m/s}$ , velocidad del flujo de agua caliente por el intercambiador.

$\dot{m}_f = 3 \text{ kg/s}$ , flujo de masa del agua de enfriamiento.

$A =$  Área de transferencia del intercambiador de calor en  $\text{m}^2$

$L =$  Longitud del intercambiador en m, es lo que vamos hallar.

Teniendo en cuenta los datos anteriores, el procedimiento a seguir para la obtención de resultados es el siguiente:

(1) Balance de calor en el intercambiador de calor tipo serpentín:

Calcula el calor cedido por el aceite al agua de enfriamiento que circula por el serpentín de un grupo generador.

$$q_s = \dot{m}_s * C_p * (T_s - T_i)$$

Donde:  $\dot{m}_s$  es el flujo de masa de agua en el sistema de circuito abierto, sale con datos de caudal de operación, documento interno de planta. Asimismo,  $T_s$  y  $T_i$ , son temperaturas del actual sistema, éstas van a variar ligeramente, pues con el cambio de sistema a circuito cerrado, se dan otras condiciones para una operación mas eficiente. Con  $T_s$  y  $T_i$ , se calcula la temperatura media o de película  $T_f$ , con el cual se busca en la tabla de propiedades termofísicas del agua, apéndice A2, el valor de  $C_p$ .

(2) Calor total disipado por los cuatro serpentines de la central:

$$q_t = 4 * q_s$$

Para lograr una eficiencia en el tamaño del intercambiador, se restará a este valor de  $q_t$ , lo que el tubo colector pierde por convección natural y radiación en el curso de 75 metros, desde la salida de la casa de máquinas hasta llegar al intercambiador.

(3) Pérdida de calor en el tubo colector de los serpentines por convección natural, en el exterior de casa de máquinas  $q_c$ :

3.1 Temperatura media:

$$T_f = (T_{st} + T_a) / 2$$

Con  $T_f$ , sacamos de tabla de propiedades del aire, apéndice A3, los valores de:  $k$ ,  $\nu$  y  $Pr$ .

3.2 Número de Rayleigh:

$$Ra = g * (T_{st} - T_a) * D^3 * Pr / T_f * \nu^2$$

3.3 Número de Nusselt:

$$Nu = C * Ra^n$$

3.4 Coeficiente externo de transferencia de calor por convección:

$$h_e = Nu * k / D$$

3.5 Calor que pierde el tubo colector de los serpentines por convección natural:

$$q_c = h_e * A * (T_{st} - T_a)$$

(4) Pérdida de calor en el tubo colector de los serpentines, por radiación, en el exterior de casa de máquinas  $q_r$ :

$$q_r = \varepsilon * A_s * \sigma * (T_{st}^4 - T_a^4)$$

(5) Calor total perdido por el tubo colector por convección natural y radiación  $q_a$ :

$$q_a = q_c + q_r$$

(6) Calor neto que debe disipar el intercambiador de calor de tubos  $q_i$ :

$$q_i = q_t - q_a$$

(7) En el Intercambiador de calor de doble tubo:

### 7.1 Tubo Interior de 2"Ø

7.1.1 Temperatura media:

$$T_f = (T_1 + T_2) / 2$$

Con este valor vamos a la tabla de propiedades termofísicas del agua, apéndice A2, y sacamos los valores de:  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $k$ ,  $C_p$  y  $Pr$ .

7.1.2 Número de Reynolds:

$$Re = (\rho * V * D) / \mu$$

### 7.1.3 Número de Nusselt:

Utilizando la Relación de Dittus-Boelter, con  $n = 0.3$

$$Nu = 0.023 * (Re)^{0.8} * (Pr)^{0.3}$$

### 7.1.4 Coeficiente interno de transferencia de calor por convección:

$$h_i = (Nu * k) / D$$

### 7.1.5 Coeficiente interno afectado por el factor de ensuciamiento:

$$h_{if} = h_i / (R_f * h_i + 1)$$

$R_f$ : factor de ensuciamiento, sale de tabla, apéndice A6.

## 7.2 Tubo exterior, en la región anular:

### 7.2.1 Temperatura media del agua de enfriamiento

$$T_f = (t_1 + t_2) / 2$$

Las temperaturas  $t_1$  y  $t_2$  son del nuevo sistema,  $t_1$  se asume igual a 15°C similar al de circuito abierto, pues se toma agua de la tubería forzada,  $t_2$  se asume 18°C por una limitación legal al respecto, la Resolución Directoral N° 008-97-EM/DGEAA, en su artículo 5°, documento incluido en el apéndice A9, menciona que la descarga de efluentes a ríos no deberá incrementar en más de 3°C la temperatura del cuerpo receptor en las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

Con el valor de  $T_f$  valor vamos a la tabla de propiedades termofísicas del agua, apéndice A2, y sacamos los valores de:  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $k$ ,  $C_p$  y  $Pr$ .

7.2.2 Número de Reynolds:

$$Re = (\rho * V * D_h) / \mu$$

La velocidad será la correspondiente al flujo de masa del agua de enfriamiento de 3 kg/s, que la hallamos usamos la relación:

$$V = \dot{m}_f / (\rho * A)$$

- Diámetro hidráulico:  $D_h = (4A)/p$

-  $A$  es el área neta y  $p$  es perímetro mojado.

7.2.3 Número de Nusselt:

Utilizando la Relación de Dittus-Boelter, con  $n = 0.4$

$$Nu = 0,023 * (Re)^{0.8} * (Pr)^{0.4}$$

7.2.4 Coeficiente externo de transferencia de calor por convección:

$$h_e = (Nu * k) / D_h$$

Coeficiente externo afectado por el factor de ensuciamiento:

$$h_{ef} = h_e / (R_f * h_e + 1)$$

$R_f$ : factor de ensuciamiento, sale de tabla, apéndice A6.

(8) Coeficiente de Transferencia de calor total de diseño  $U_d$ :

Despreciando la resistencia térmica de la pared de tubería, por ser delgada y de conductividad grande, asimismo, considerando el factor de incrustación o ensuciamiento.

$$U_d = 1/((1/h_{if})+(1/h_{cf}))$$

(9) Diferencia de temperaturas media logarítmica en el intercambiador:

$$DTML = ((T_1-t_1)-(T_2-t_2))/Ln((T_1-t_1)/(T_2-t_2))$$

(10) Calor neto que debe disipar el intercambiador de calor de tubos:

$$q_i = q_t - q_a$$

$$q_i = U_d * A * DTML * F$$

F : factor de corrección, F = 1, para la disposición en contraflujo.

Esta relación nos permite conocer el área neta de transferencia de calor A, y por lo tanto la longitud de los tubos requeridos en el intercambiador, dado que:

$$A = \pi * D * L$$

#### 4.3.2 Resultados

El siguiente cuadro muestra los resultados de cálculo efectuados en el diseño del intercambiador. Los detalles se aprecian en el apéndice A1.

**Cuadro 4.1 RESULTADOS DE CÁLCULO EN EL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>VALOR</b>
Calor tomado en el serpentín de un grupo	$q_s$	1 463.35 W
Calor total tomado en los cuatro serpentines de la central	$q_t$	5 853.4 W
Calor perdido por convección natural		
Número de Rayleigh	$Ra$	248 972
Número de Nusselt	$Nu$	11.84
Coefficiente externo de transferencia de calor por convección natural	$h_e$	5.86 W/m <sup>2</sup> *°C
Calor perdido por convección natural	$q_c$	911.83 W
Calor perdido por radiación		
Calor perdido por radiación	$q_r$	699.65 W
Calor total perdido por convección natural y radiación	$q_a$	1 611.5 W
Calor neto a disipar por el intercambiador de calor	$q_i$	4 242 W
<b>En el tubo interior</b>		
Velocidad del fluido caliente	$V$	1.5 m/s
Número de Reynolds	$Re$	75 895
Número de Nusselt	$Nu$	330.84
Coefficiente interno de transferencia de calor.	$h_i$	3892.6 W/m <sup>2</sup> *°C
Coefficiente interno de transferencia de calor con factor de suciedad.	$h_{if}$	2802 W/m <sup>2</sup> *°C
<b>En la zona anular</b>		
Diámetro hidráulico	$D_h$	0.0508 m
Flujo másico del agua de enfriamiento	$\dot{m}_f$	3 kg/s
Velocidad del agua de enfriamiento	$V$	0.494 m/s
Número de Reynolds	$Re$	22 656.5
Número de Nusselt	$Nu$	160
Coefficiente externo de transferencia de calor.	$h_e$	1856 w/m <sup>2</sup> *°C
Coefficiente externo de transferencia de calor con factor de suciedad.	$h_{ef}$	1354 w/m <sup>2</sup> *°C
Coefficiente de transferencia de calor total por convección de diseño	$U_d$	913 W/m <sup>2</sup> *K
Diferencia de temperatura media logarítmica	$DTML$	4.72 °C
<b>Longitud de tubos del intercambiador</b>	<b>L</b>	<b>6.17 m</b>

### 4.3.3 Caída de presión

La caída de presión  $\Delta P$  es la presión estática del fluido que debe disiparse para mover el fluido a través del intercambiador. En el intercambiador de calor de tubos el fluido caliente tiene su sistema de impulsión mediante una bomba centrífuga, el fluido frío utiliza la gravedad como energía de impulso. Es costumbre permitir una caída de presión de 5 a 10 lb/pulg<sup>2</sup> ó psi para un intercambiador.

En nuestro caso, para calcular la caída de presión en el tubo interior de 2"Ø que conduce agua caliente, usamos la relación:

$$\Delta P = f * (L/D) * V^2/2g * \rho * g$$

donde:

f: factor de fricción del tubo = 0.025

L: longitud del tubo = 6.17 m

D: diámetro del tubo = 2" = 0.0508 m.

V: velocidad del fluido = 1.5 m/s

$\rho$  : densidad del fluido = 998 kg/m<sup>3</sup>

g : constante de aceleración de la gravedad = 9.8 m/s<sup>2</sup>

Reemplazando valores, resulta:

$\Delta P = 3409.26$  Pa, que convertidos al sistema inglés, se obtiene

$\Delta P = 0.5$  psi, valor mucho menor que 10 psi recomendado como límite.

El factor de fricción del tubo lo obtenemos en el Diagrama de Moody mediante el número de Reynolds del flujo, y de la rugosidad relativa del tubo que viene a ser el cociente de la rugosidad entre el diámetro.

La caída de presión del fluido enfriador que recorre el anulo del intercambiador es mucho menor e irrelevante, pues como se dijo, es un sistema aparte, el flujo no tiene sistema de impulsión, fluye por gravedad, ya que proviene de la tubería forzada que a su vez proviene de la represa, finalmente se descarga al río.

#### **4.4 ESPECIFICACIONES DE LA PLANTA DE ABLANDAMIENTO.**

La planta de ablandamiento estará ubicada a un costado de la casa de máquinas, en un área de 25 metros cuadrados debidamente habilitada, aquí se instalará la caseta metálica, con ventilación y puertas de acceso para una buena operación y mantenimiento a cargo del personal.

Tendrá tres ambientes, el del equipo ablandador, el reservorio y la sala de bombas. El ablandador de agua, mediante un proceso químico de intercambio iónico elimina los iones de calcio y magnesio que hacen a un agua ser dura, colecta los minerales que causan la dureza, los contiene en un tanque colector, para luego ser limpiado.

Utiliza resinas catiónicas de ciclo sodio como elemento de intercambio y sal como elemento regenerante, las demás características se muestran en el apéndice A10.

##### **4.4.1 Circuito de captación y almacenamiento**

El agua dura se capta de la segunda derivación del sistema refrigeración, de la tubería de 2"Ø para los sifones, dentro de la casa de máquinas, en el punto T punto de toma,

según se muestra en el plano 4.3 y se conduce al sistema de ablandamiento mediante otra tubería de 2"Ø.

El agua luego de pasar por el ablandador es almacenada en un reservorio principal adyacente, de 14 metros cúbicos de capacidad, para luego ser distribuido a los circuitos respectivos de los serpentines mediante la operación de una bomba centrífuga.

El reservorio de almacenamiento es un tanque metálico, de base cuadrada de 2.40 m. de lado y 2.44 m, de altura que no significa inversión ya que es nuevo y remanente del plan de tratamiento de aguas servidas de los demás campamentos, solo será adecuado para la función mencionada.

Éste se instalará enterrado, quedando solo libre una altura de 30 cm en la parte superior para instalar las tres tapas y un tubo de venteo. Las tapas servirán para ingreso del agua tratada, para la succión de las bombas y el tercero para permitir el retorno del agua circulante, todos con sus respectivas válvulas de control.

Tendrá control de nivel eléctrico y automático que pondrá en marcha la planta en cuanto baje al nivel mínimo y se requiera el agua por reposición debido a pérdidas por evaporación, arrastre, purgas o filtraciones si se presentara. Siempre el espejo de agua estará a presión atmosférica y temperatura ambiente.

Además como estará en contacto con el terreno frío y húmedo, por su cercanía al río, también existirá una transferencia de calor del reservorio al terreno si se presentara una diferencia de temperaturas, favoreciendo las condiciones de tener siempre agua a temperatura ambiente. Finalmente para monitorear en forma permanente y garantizar la calidad del agua tratada se dotará de un kit medidor de dureza.

#### **4.4.2 Selección de bombas**

La sala de bombas consta de dos bombas centrífugas, una en operación y la otra en reserva. Para seleccionar la bomba se ha considerando la altura dinámica total, el caudal requerido y un factor de rendimiento.

-Altura dinámica total:

$$H = z + h_f + h_s$$

Considera la altura geodésica ( $z$ ), más la altura de pérdidas por fricción en las tuberías ( $h_f$ ), y las pérdidas en todos los accesorios del circuito ( $h_s$ ).

$$z = \text{Altura geodésica} = 10 \text{ m}$$

$$h_f = f * (L/D) * V^2/2g$$

$$h_s = k * V^2/2g$$

De las mediciones y cálculos utilizando las respectivas relaciones, se obtiene el siguiente cuadro de pérdidas:

<b>ALTURA TOTAL DE PÉRDIDAS</b>					
Tramo	Longitud (m)	Diámetro (pulg.)	$h_f$ (m)	$h_s$ (m)	Subtotal (m)
Succión de bomba	2.2	2	0.124	0.42	0.544
Bomba - punto de Conexión C	11	2	0.62	0.43	1.05
Alimentación a Serpentin y descarga	15	1	1.7	1.78	3.48
Serpentin	105	1½	3.2	0	3.2
Descarga de serpentín - Intercambiador	80	2	4.52	1.47	5.99
Tubo interior del Intercambiador	6.4	2	0.362	0	0.362
Intercambiador - reservorio	16	2	0.9	1.43	2.33
Subtotales de $h_f$ y $h_s$			11.426	5.53	
<b>TOTAL</b>					<b>16.956</b>

Por lo tanto, la altura de pérdidas por fricción en las tuberías y accesorios suma 17 m lo que hace que la altura dinámica total H sea 27 m.

Además, considerando que el sistema actual es muy lento y poco eficiente, se vio por conveniente mejorar la velocidad del fluido ya que con ello mejora la transferencia de calor, por lo tanto de tabla de velocidades recomendadas elegimos como nueva velocidad 1.5 m/s para el agua de enfriamiento, que fluye por los cuatro serpentines, en consecuencia, el caudal requerido es de 180 l/min.

Finalmente, la potencia requerida por el motor de la bomba denominada potencia al freno BHP, la obtenemos con la siguiente relación:

$$\text{BHP} = (\rho * g * Q * H) / (1000 * \eta)$$

Donde  $\eta$  es el factor de eficiencia de la bomba al que asignamos como 0.8, reemplazando valores obtenemos

$$\text{BHP} = 1.0 \text{ kW}, \text{ que convertidos a hp, resulta } \text{BHP} = 1.4 \text{ hp}$$

Asimismo, considerando la altura a la que va a trabajar, 3 798 msnm, esto implica que la potencia del motor se reduce en un 15% en las horas de mayor temperatura, y por lo tanto el requerimiento de BHP sube a 1.61 hp, valor con el que hacemos la selección más conveniente.

Usando catálogo del proveedor de bombas Pedrollo, se selecciona la bomba HF 70B, de 2 hp de potencia, que entrega 180 l/min, para una altura dinámica total de 27 m, la cual cumple los requerimientos. Las demás características de la bomba se muestran en el apéndice A11.

La implementación se efectúa en coordinación con el personal técnico de la central, definiéndose el recorrido del circuito de enfriamiento y la ubicación exacta de todos los equipos y accesorios, para su correcta instalación.

## **CAPÍTULO 5**

### **ESTRUCTURA DE COSTOS**

En este capítulo se muestran los costos de la pérdida total que se presenta cada año y también el costo de inversión requerido para ejecutar la implementación del diseño. Asimismo, la comparación básica de beneficio/costo mostrado en el cuadro final, muestra la viabilidad de su realización.

#### **5.1 COSTO DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

El trabajo de mantenimiento correctivo de reemplazo del serpentín de refrigeración obstruido en un Grupo Generador consta principalmente del retiro de la baranda, la excitatriz piloto, la excitatriz principal, las tapas, la chumacera guía N° 3, el cabezal, el cojinete de empuje, el serpentín de refrigeración, todo ello utilizando la grúa puente de 70 toneladas, el retiro total del volumen de aceite, además de los 186 resortes y la desconexión total de los mandos eléctricos de operación y control.

Asimismo, ejecutado el reemplazo, se realiza el montaje y las pruebas respectivas antes de ponerlas en servicio.

El trabajo está a cargo del Grupo de Mantenimiento compuesto por ocho personas, tal como figura en el cuadro siguiente y que debe desplazarse desde la ciudad de La Oroya, distante 25 kilómetros, hasta esta central, el tiempo promedio que demanda toda la labor es de 10 horas que incluye imprevistos, pruebas y puesta en servicio.

#### **COSTO DE MANO DE OBRA PARA UN TURNO DE 10 HORAS**

-01 Ingeniero Supervisor	S/.	300.00
-01 Técnico Sobrestante		200.00
-01 Técnico Electricista		150.00
-05 Técnicos Mecánicos		750.00
Subtotal	S/.	1400.00

#### **COSTO DE EQUIPO**

-02 Camioneta doble cabina 4x4	S/.	1000.00
-01 Camión para equipos y herramientas	S/.	600.00
Subtotal	S/.	1600.00

#### **COSTO DE REPARACION Y LIMPIEZA DEL SERPENTIN FUERA DE SERVICIO**

-02 Técnicos mecánicos, durante 02 días	S/.	600.00
-Equipo y materiales		400.00
Subtotal	S/.	1000.00

### **COSTO ANUAL DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

-Mano de obra	S/.	1 400.00
-Equipo		1 600.00
-Reparación		1 000.00
<b>Total por grupo</b>	<b>S/.</b>	<b>4 000.00</b>
Tipo de cambio USA \$ 1 = S/. 2 .70	<b>USA \$</b>	<b>1 481.48</b>
<b>Total Central anual (2 eventos)</b>	<b>USA \$</b>	<b>2 962.96</b>

### **5.2 COSTO DE PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN**

Como se mencionó, el tiempo total que demanda un mantenimiento correctivo es en promedio 10 horas, este es el tiempo que el Grupo Generador está fuera de servicio y deja de producir energía eléctrica.

Este evento en el caso más crítico es de una vez por año en dos de los grupos.

Efectuamos el cálculo que significa esta pérdida:

Potencia efectiva : 12 Megavatios

Tiempo fuera de servicio : 10 horas

Energía dejada de producir :  $E = \text{Potencia} \times \text{Tiempo} = 12 \text{ MW} \times 10 \text{ h} = 120 \text{ MWh}$

Costo de esta pérdida :  $\text{Precio} \times \text{Energía} = \text{USA} \$50/\text{MWh} \times 120 \text{ MWh}$   
 $= \text{USA} \$ 6 000$

Costo Anual para un grupo :  $\text{USA} \$ 6 000.00$

La central opera con 04 grupos generadores, los costos de los fallos son similares.

Costo Anual para la Central :  $2 \times \text{USA } \$ 6\,000.00 = \text{USA } \$ 12\,000.00$

### **COSTO ANUAL DE PÉRDIDAS**

-Por mantenimientos correctivos	<b>USA \$ 2 962.96</b>
-Por pérdida de producción	<b>12 000.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>USA \$ 14 962.96</b>

### **5.3 COSTO DE INVERSION**

-Planta de ablandamiento	<b>USA \$ 5 000.00</b>
-02 bombas centrifugas	<b>2 000.00</b>
-Reservorio de agua tratada, habilitación	<b>400.00</b>
-Equipo de ablandamiento	<b>2 000.00</b>
-Tuberías y accesorios	<b>4 000.00</b>
-Mano de obra	<b>3 000.00</b>
-Imprevistos	<b>1 100.00</b>
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>USA \$ 17 400.00</b>
-Costo anual de energía para operación de la bomba. -01 bomba de 2 hp $\cong$ 1.5 kW -Tiempo de operación, 01 año, 24 h/d= 8760 hrs. -Energía requerida=1.5kWx8760 h=13 140 kWh	

-Costo= precio x energía = USA \$ .15/Kwh x 13 140 kWh = USA \$ 1 971.00	<b>USA \$ 1 971.00</b>
--	------------------------

#### **5.4 RELACIÓN BENEFICIO / COSTO (B/C)**

Para calcular la relación beneficio/costo B/C, se establecen por separado el valor actual VA de los beneficios y de los costos, luego se divide la suma de los valores actuales de los beneficios y costos. El período de análisis es de 10 años, siendo el año cero el que corresponde a la inversión y 15% la tasa correspondiente al costo de oportunidad del capital.

Dentro de los costos, los más importantes son el costo de inversión y el costo de energía eléctrica para la bomba centrífuga. El beneficio es el ahorro en mantenimiento correctivo y los ingresos por generación de energía eléctrica que ahora se dejan de percibir cuando se presenta una falla en el sistema de refrigeración en circuito abierto de los cojinetes de empuje, ya descritos anteriormente.

En general, para proyectos de ingeniería con  $B/C \geq 1$  el proyecto debe aceptarse, si esta relación  $B/C < 1$ , el proyecto debe rechazarse.

**Cuadro 5.1 Evaluación del beneficio/costo del proyecto**

Año	BENEFICIOS		COSTOS		
	Mant. y Produc.	Beneficio total	Inversión	Energía	Costo total
0			17 400		17 400
1	14 963	14 963		1 971	1 971
2	14 963	14 963		1 971	1 971
3	14 963	14 963		1 971	1 971
4	14 963	14 963		1 971	1 971
5	14 963	14 963		1 971	1 971
6	14 963	14 963		1 971	1 971
7	14 963	14 963		1 971	1 971
8	14 963	14 963		1 971	1 971
9	14 963	14 963		1 971	1 971
10	14 963	14 963		1 971	1 971
<b>VA</b>		<b>USA \$. 75 282</b>			<b>USA \$.27 316</b>
<b>RELACION BENEFICIO/COSTO : 2.76</b>					

De acuerdo al resultado que arroja el cuadro anterior de evaluación, la relación beneficio/costo,  $B/C = 2.76$  indica que por cada dólar de inversión, se obtiene una ganancia de 1.76 dólares, por lo tanto, se concluye que el diseño e implementación de este proyecto es rentable.

## **CONCLUSIONES**

1. El diseño del circuito cerrado cumple con el objetivo de asegurar el funcionamiento permanente y sin fallas del serpentín, ya que se elimina la causa reemplazando el agua dura por agua blanda como líquido enfriador. Asimismo se mejoran los índices de operación de planta como la disponibilidad y la confiabilidad.
2. La mayor cantidad de calor que se quita al aceite en el tanque del cojinete de empuje, será disipado al medio ambiente mediante el intercambiador de tubos diseñado, este aparato será fabricado en los talleres de la central, dado que el modelo es simple y se cuenta con los elementos necesarios como materiales, herramientas, equipos y mano de obra, significando un factor de economía para la empresa.
3. Para las operaciones de toda planta, la calidad del agua es de suma importancia, tanto para equipos de calentamiento como de enfriamiento, su tratamiento y

monitoreo incidirá en la reducción de costos, ahorro de energía y que los mantenimientos alarguen su frecuencia.

4. El diseño y el criterio empleado es para la solución específica de un problema de esta central, que emplea un recurso afectado por la contaminación ambiental.
5. El sistema de refrigeración de los cojinetes de empuje en circuito abierto, no sale de servicio definitivamente, queda de reserva, mientras que el nuevo sistema en circuito cerrado entra en servicio; para mantenimiento de este último, se regresaría temporalmente al sistema anterior de circuito abierto mediante un procedimiento simple de maniobra de válvulas.

## **RECOMENDACIONES**

1. Ante un problema, sea de operación o mantenimiento en una planta, es preciso dialogar con el personal operativo y técnico que conocen mejor las características y particularidades de los equipos por la experiencia adquirida a lo largo de los años, esto ayuda a realizar un buen diagnóstico y encontrar la solución adecuada.
2. Capacitar a los operadores y mecánicos de planta en el funcionamiento del nuevo sistema de refrigeración en circuito cerrado, resaltando sus características y la ventaja en la estabilidad del funcionamiento de la central.
3. Actualizar el Manual de Operaciones del mecánico de turno para incluir en sus tareas la operación de la planta de ablandamiento, la bomba y las válvulas del circuito cerrado.
4. Es importante contar con todos los instrumentos de medida de caudal, presión y temperatura en buen estado, para llevar un registro y monitorear el normal funcionamiento de los principales equipos de la planta o también detectar la tendencia a una falla futura.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Centrales Hidroeléctricas, Grupo Formación de Empresas Eléctricas, Editorial Paraninfo, Madrid 1994.
- 2.- Centrales Hidroeléctricas, Gaudencio Zoppeti Júdez, Editorial Gustavo Pili S.A., Barcelona.
- 3.- Fundamentos de Transferencia de calor, Frank P. Incropera, David P. De Witt, Editorial Prentice Hall, México 2009
- 4.- Hidráulica Práctica, Andrew L. Simon, Editorial Limusa, México 1986.
- 5.- Transferencia de calor, J.P. Holman. Editorial McGraw-Hill, Madrid 1998.
- 6.- Transferencia de calor, Yunus Cengel. Editorial McGraw-Hill, México 2005.

## APÉNDICE

### A1. Cálculo detallado de diseño del intercambiador de calor.

(1) Balance de calor en el intercambiador tipo serpentín de un grupo generador:

$$\dot{m}_s = 0.05 \text{ kg/s}$$

$$T_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_s = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 21.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C_p = 4181 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$q_s = \dot{m}_s * C_p * (T_s - T_i)$$

$$q_s = 0.05 * 4181 * (25 - 18)$$

$$q_s = 1463.35 \text{ W}$$

(2) Calor total disipado por los cuatro serpentines de la central:

$$q_t = 4 * q_s$$

$$q_t = 5853.4 \text{ W}$$

(3) Pérdida de calor en el tubo colector de los serpentines por convección natural, en el exterior de casa de máquinas  $q_c$ :

### 3.1 Temperatura media

$$T_f = (T_{st} + T_a) / 2$$

$$T_f = (25^\circ\text{C} + 12^\circ\text{C}) / 2 = 18.5^\circ\text{C} = 292\text{ K}$$

Con  $T_f$ , sacamos de la tabla de propiedades del aire, apéndice A3, el valor de las propiedades:

$$k = 0.02514\text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\nu = 1.516 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0.7309$$

### 3.2 Número de Rayleigh:

$$\text{Ra} = g \cdot (T_{st} - T_a) \cdot D^3 \cdot \text{Pr} / T_f \cdot \nu^2$$

$$\text{Ra} = 9.81 \cdot (25 - 12) \cdot (0.0508)^3 / 292 \cdot (1.516 \cdot 10^{-5})^2 = 248\,972\text{ flujo laminar}$$

### 3.3 Número de Nusselt: Usando la relación de McAdams

$$\text{Nu} = C \cdot \text{Ra}^n$$

Dado que el flujo es laminar,  $C = 0.53$  y  $n = 1/4$

$$\text{Nu} = 0.53 \cdot (248\,972)^{1/4} = 11.84$$

### 3.4 Coeficiente externo de transferencia de calor por convección:

$$h_e = Nu * k/D$$

$$h_e = 11.84 * 0.02514 / 0.0508 = 5.86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

3.5 Calor que pierde el tubo colector por convección natural en el curso de 75 m al exterior de la casa de máquinas, antes de ingresar al intercambiador de calor:

$$q_c = h_e * A * (T_{st} - T_a)$$

$$q_c = 5.86 * \pi * D * L * (25 - 12)$$

$$q_c = 5.86 * \pi * 0.0508 * 75 * 13$$

$$q_c = 911.83 \text{ W}$$

(4) Pérdida de calor en el tubo colector de los serpentines por radiación, en el exterior de casa de máquinas  $q_r$ :

$$q_r = \varepsilon * A_s * \sigma * (T_{st}^4 - T_a^4)$$

$\varepsilon = 0.8$  , emisividad de la tubería de acero

$\sigma = 5.67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  , constante de Stefan-Boltzmann

$T_{st} = 25 + 273 = 298 \text{ K}$ , temperatura de superficie exterior del tubo

$T_a = 12 + 273 = 285 \text{ K}$ , temperatura de flujo libre

$A_s = \pi * D * L$ , área de superficie del tubo de 75 m

$$q_r = 0.8 * \pi * 0.0508 * 75 * 5.67 * 10^{-8} * (298^4 - 285^4)$$

$$q_r = 699.65 \text{ W}$$

(5) Calor total perdido por el tubo colector por convección natural y radiación  $q_a$ :

$$q_a = q_c + q_r$$

$$q_a = 911.83 \text{ W} + 699.65 \text{ W}$$

$$q_a = 1\,611.5 \text{ W}$$

(6) Calor neto que debe disipar el intercambiador de calor de tubos  $q_i$ :

$$q_i = q_t - q_a$$

$$q_i = 5\,853.4 \text{ W} - 1\,611.5 \text{ W}$$

$$q_i = 4\,242 \text{ W}$$

(7) En el Intercambiador de calor de doble tubo.

### 7.1- En el Tubo interior de 2"Ø

#### 7.1.1 Temperatura media

$$T_f = \frac{1}{2} (T_1 + T_2) = \frac{1}{2} (25 + 18)$$

$$T_f = 21.5 \text{ °C}$$

Con esta temperatura vamos a la tabla de propiedades termofísicas del agua,

Apéndice A2 y sacamos los siguientes valores:

$$\rho = 998.23 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1002.24 \times 10^{-6} \text{ kg/s}\cdot\text{m}$$

$$k = 0.5977 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$$

$$C_p = 4.181 \text{ kJ/kg °C}$$

$$Pr = 7.01$$

### 7.1.2 Número de Reynolds

$$Re = (\rho * V * D) / \mu$$

$$Re = 998.23 * 1.5 * 0.0508 / 1002.24 * 10^{-6} = 75\ 895$$

$$\text{como } \frac{L}{D} > 60$$

### 7.1.3 Número de Nusselt, usando la relación de Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^n$$

$$n = 0.3 \text{ para enfriamiento}$$

$$Nu = 0.023 * (75\ 895)^{0.8} * (7.01)^{0.3}$$

$$Nu = 330.84$$

### 7.1.4 Coeficiente interno de transferencia de calor por convección

$$h_i = \frac{Nu * k}{D}$$

$$h_i = \frac{330.84 * 0.5977}{0.0508}$$

$$h_i = 3\ 892.6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 7.1.5 Coeficiente interno afectado por el factor de ensuciamiento

$$h_{if} = h_i / (R_f * h_i + 1)$$

$R_f$ : factor de ensuciamiento, sale de tabla, apéndice A6.

$$R_f = 0.0001 \text{ para agua tratada}$$

$$h_{if} = 3\ 892.6 / (0.0001 * 3\ 892.6 + 1)$$

$$h_{if} = 2\ 802 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 7.2 Tubo exterior, en la región anular:

Diámetro hidráulico en la zona anular

$$D_h = \frac{4A}{p}$$

$$D_h = D_e - D_i = 4'' - 2'' = 2'' = 0.0508 \text{ m}$$

El flujo másico asumido para mejorar la eficiencia en la refrigeración es:

$$\dot{m}_3 = 3 \text{ kg/s}$$

Calculando la velocidad

$$\dot{m}_3 = \rho * V * A$$

$$3 = 998.23 * V * \frac{\pi}{4} * 7.7426 * 10^{-3}$$

$$V = 0.494 \text{ m/s}$$

### 7.2.1 Temperatura media del agua de enfriamiento

$$T_f = \frac{1}{2} (t_1 + t_2)$$

$$T_f = \frac{1}{2} (15 + 18)$$

$$T_f = 16.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con esta temperatura vamos a la tabla de propiedades termofísicas del agua, apéndice A2 y sacamos el valor de las propiedades:

$$\rho = 998.93 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1007.17 \times 10^{-6} \text{ kg/s}\cdot\text{m}$$

$$k = 0.590 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Pr = 7.84$$

### 7.2.2 Número de Reynolds

$$Re = (\rho * V * D) / \mu$$

$$Re = 998.97 * 0.494 * 0.0508 / 1107 * 10^{-6} = 22\ 656.5$$

### 7.2.3 Número de Nusselt, usando la relación de Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^n$$

$$n = 0.4 \text{ para calentamiento}$$

$$Nu = 0.023 * (22\ 656.5)^{0.8} * (7.84)^{0.4}$$

$$Nu = 160$$

### 7.2.4 Coeficiente externo de transferencia de calor por convección

$$h_e = \frac{Nu * k}{D_h}$$

$$h_e = 160 * 0.59 / 0.0508$$

$$h_e = 1\ 856 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 7.2.5 Coeficiente externo afectado por el factor de ensuciamiento

$$h_{ef} = h_e / (R_f * h_e + 1)$$

$R_f$ : factor de ensuciamiento, sale de tabla, apéndice A6.

$R_f = 0.0002$  para líquido refrigerante

$$h_{ef} = 1\ 856 / (0.0002 * 1\ 856 + 1)$$

$$h_{ef} = 1\ 354 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(8) Coeficiente de transferencia de calor total de diseño  $U_d$ .

$$U_d = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{if}}\right) + \left(\frac{1}{h_{ef}}\right)}$$

$$U_d = 1/\left(\frac{1}{2802} + \frac{1}{354}\right)$$

$$U_d = 913 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(9) La diferencia de temperatura media logarítmica

$$DTML = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}}$$

$$DTML = \frac{7 - 3}{\ln \frac{7}{3}}$$

$$DTML = 4.72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(10) Finalmente, del calor neto que debe disipar el intercambiador de calor en función del coeficiente total de diseño

$$q_i = U_d * A * DTML * F$$

$F=1$  : Factor de corrección para el intercambiador de calor en contraflujo

Esta relación permite conocer el área de transferencia de calor  $A$ , y en consecuencia la longitud de los tubos del intercambiador.

$$4242 = 913 * \pi * 0.0508 * L * 4.72 * 1$$

$$L = 6.17 \text{ m}$$

## A2. Tabla de propiedades termofísicas del agua

<b>PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DEL AGUA</b>						
<b>Líquido Subenfriado</b>						
<b>Presión : 1.01325 Bar Abs.</b>						
<b>VDI Wärmeatlas 1953</b>						
T °C	ρ kg/m <sup>3</sup>	c <sub>p</sub> kJ/kg°C	μ × 10 <sup>6</sup> N-s/m <sup>2</sup>	k × 10 <sup>4</sup> kW/m°C	β × 10 <sup>3</sup> 1/°C	Pr —
0	999.87	4.217823	1791.675	5.52430	-0.070	13.6795
1	999.92	4.214055	1730.874	5.55251	-0.050	13.1364
2	999.97	4.210914	1674.485	5.58013	-0.031	12.6361
3	999.99	4.207984	1621.039	5.60746	-0.012	12.1647
4	1000.00	4.205262	1569.064	5.63456	0.002	11.7105
5	999.99	4.202541	1521.502	5.66101	0.019	11.2951
6	999.97	4.200238	1473.939	5.68712	0.033	10.8855
7	999.93	4.197935	1428.829	5.71213	0.048	10.5007
8	999.88	4.195884	1384.699	5.73551	0.061	10.1295
9	999.81	4.193958	1343.511	5.75807	0.075	9.7856
10	999.73	4.192283	1307.226	5.78017	0.088	9.4812
12	999.52	4.189227	1227.793	5.82320	0.113	8.8328
14	999.27	4.186714	1165.030	5.86431	0.136	8.3175
16	998.97	4.184663	1107.171	5.90385	0.160	7.8477
18	998.62	4.183072	1053.234	5.94182	0.183	7.4148
20	998.23	4.181816	1002.240	5.97788	0.206	7.0112
22	997.79	4.180769	955.168	6.01280	0.228	6.6414
24	997.33	4.180036	909.076	6.04665	0.248	6.2844
26	996.81	4.179387	867.889	6.07957	0.266	5.9663
28	996.26	4.178801	830.623	6.11065	0.284	5.6803
30	995.67	4.178466	797.281	6.14070	0.303	5.4251
32	995.05	4.178152	764.919	6.17006	0.320	5.1798
34	994.40	4.178048	735.499	6.19850	0.336	4.9576
36	993.72	4.178048	707.059	6.22621	0.354	4.7447
38	992.99	4.178152	679.601	6.25338	0.370	4.5407
40	992.24	4.178466	653.123	6.28026	0.385	4.3454
42	991.46	4.178676	629.587	6.30846	0.401	4.1703
44	990.66	4.178969	607.032	6.33521	0.416	4.0042
46	989.82	4.179408	586.438	6.36080	0.432	3.8532
48	988.96	4.179932	566.334	6.38493	0.445	3.7075
50	988.04	4.180560	547.917	6.40819	0.457	3.5745
55	985.70	4.182234	505.042	6.46221	0.490	3.2685
60	983.19	4.184328	466.797	6.51286	0.523	2.9990
65	980.60	4.186631	433.454	6.56072	0.554	2.7660
70	977.80	4.189771	403.889	6.60590	0.585	2.5617
75	974.80	4.192702	377.556	6.64806	0.614	2.3811
80	971.80	4.196470	354.861	6.68731	0.643	2.2269
85	968.60	4.200447	333.426	6.72366	0.671	2.0830
90	965.30	4.205262	314.634	6.75709	0.698	1.9581
95	961.90	4.210433	296.651	6.78751	0.725	1.8402
100	958.40	4.216148	282.432	6.81525	0.752	1.7472

### A3. Tabla de propiedades del aire

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $C_p, \text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades  $C_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ , a la temperatura dada, por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Kryes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

## A4. Análisis químico del agua dura



ANDRES CORCINO ROJAS QUINTO  
Ing QUÍMICO CIP N° 21526  
TELEFONO 064-9684753

# INFORME

### I. INFORMACIÓN GENERAL

SOLICITANTE : Sr. Roy Cayetano Colqui  
EMPRESA: : Electroandes  
UBICACIÓN : Distrito de Paccha- provincia de Yauli La Oroya  
MUESTRA N°: : 01  
MUESTREADO POR : Sr. Roy Cayetano Colqui  
FECHA DE MUESTREO : 06 de Febrero del 2006  
FECHA DE ANÁLISIS : 20 de Febrero del 2006

### II. RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

ANÁLISIS POR	
Dureza total (ppM)	403,59
Dureza Cálcica (ppM)	293,52
Dureza de magnesio (ppM)	110,07
Alcalinidad por $\text{CO}_3^{2-}$ (ppM)	4,8
Alcalinidad por $\text{HCO}_3^-$ (ppM)	4,88

### III. OBSERVACIONES DE LOS RESULTADOS DEL INFORME 01-2006

- Del análisis físico-químico de dureza y alcalinidad cuyos resultados se indica en la tabla anterior, el agua presenta alto contenido de carbonatos de calcio y magnesio expresado en como dureza total, principales causas del encostramiento de todo sistema de tuberías metálicas.

El contenido de alcalinidad que representan a iones carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y oxidrilos ( $\text{OH}^-$ ) son factores que causan deterioros por corrosión en los sistemas mencionados.

Se recomienda el agua de las siguientes características: -

Dureza total : 0-50 ppM

Alcalinidad : 0,0 ppM

pH : neutro

Referencias de las empresas de tratamiento de agua: -

Rovic, Quimidival, etc.

Huancayo, 29 de Marzo del 2006.

.....  
Andrés Corcino Rojas Quinto  
Ing. Qco CIP N° 21526.

### A5. Valores representativos de los coeficientes totales de transferencia de calor en los intercambiadores de calor

Tipo de intercambiador de calor	$U$ , $W/m^2 \cdot ^\circ C^*$
Agua hacia agua	850-1 700
Agua hacia aceite	100-350
Agua hacia gasolina o queroseno	300-1 000
Calentadores de agua de alimentación	1 000-8 500
Vapor de agua hacia combustóleo ligero	200-400
Vapor de agua hacia combustóleo pesado	50-200
Condensador de vapor de agua	1 000-6 000
Condensador de freón (agua enfriada)	300-1 000
Condensador de amoniaco (agua enfriada)	800-1 400
Condensadores de alcohol (agua enfriada)	250-700
Gas hacia gas	10-40
Agua hacia aire en tubos con aletas (agua en los tubos)	30-60 <sup>†</sup> 400-850 <sup>†</sup>
Vapor de agua hacia aire en tubos con aletas (vapor de agua en los tubos)	30-300 <sup>†</sup> 400-4 000 <sup>‡</sup>

\* Multiplíquense los valores de la lista por 0.176 para convertirlos en  $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$ .

<sup>†</sup> Con base en el área superficial del lado del agua.

<sup>‡</sup> Con base en el área superficial del lado del agua o del vapor de agua.

### A6. Factores de incrustación representativos (resistencia térmica debida a la incrustación para una unidad de área superficial).

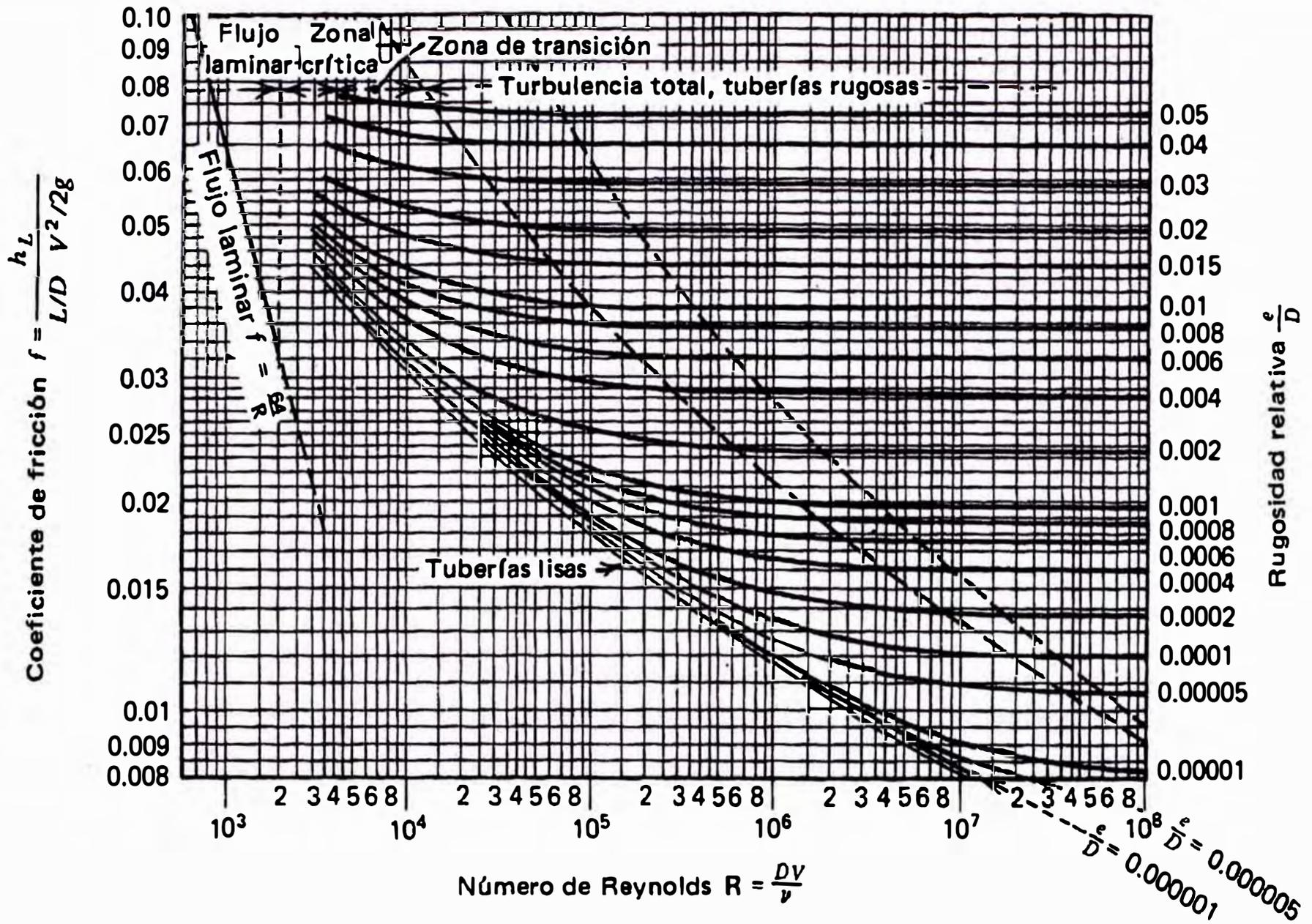
(Fuente: Tubular Exchange Manufacturers Association.)

Fluido	$R_f$ , $m^2 \cdot ^\circ C/W$
Agua destilada, agua de mar, agua de río, agua de alimentación para calderas:	
Por debajo de 50°C	0.0001
Arriba de 50°C	0.0002
Combustóleo	0.0009
Vapor de agua (libre de aceite)	0.0001
Refrigerantes (líquido)	0.0002
Refrigerantes (vapor)	0.0004
Vapores de alcohol	0.0001
Aire	0.0004

### A7. Rugosidad equivalente en tubos.

Rugosidad equivalente de la arena para los materiales de los tubos

<i>Superficie del tubo comercial, nuevo</i>	<i>Rugosidad equivalente del grano de la arena, e,</i>	
	<i>En pies</i>	<i>En m</i>
Vidrio, latón extruido, cobre, plomo	Liso	
Hierro forjado, acero	$1.5 \times 10^{-4}$	$0.46 \times 10^{-4}$
Hierro colado, asfaltado	$4.0 \times 10^{-4}$	$1.22 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$5.0 \times 10^{-4}$	$1.52 \times 10^{-4}$
Hierro colado	$8.5 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$
Concreto	$10-100 \times 10^{-4}$	$3-30 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$30-300 \times 10^{-4}$	$9-90 \times 10^{-4}$



A8. Diagrama de Moody

## A9. Resolución Directoral N° 008-97-EM/DGAA

Pág. 147702

**El Peruano** **NORMAS LEGALES**

Lima, lunes 17 de marzo de 1997

tado por Empresa de Generación Eléctrica CAHUA S.A., persona jurídica inscrita en el asiento 1 de la Ficha N° 0263 del Registro Mercantil de Huacho;

**CONSIDERANDO:**

Que, el peticionario ha solicitado, conforme a las normas sobre la materia, se le otorgue Concesión Temporal para realizar estudios sobre generación de energía eléctrica, en las zonas comprendidas dentro de las coordenadas que figuran en la presente Resolución, utilizando los recursos hídricos del río Llamac;

Que, la Dirección General de Electricidad, luego de haber verificado y evaluado que la peticionaria ha cumplido con los requisitos estipulados en el Decreto Ley N° 25844 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 009-93-EM, ha emitido el Informe favorable N° 280-97-EM/DGE;

Estando a lo dispuesto por el Artículo 23° del Decreto Ley N° 25844;

Con la opinión favorable del Director General de Electricidad y del Viceministro de Energía;

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.-** Otorgar Concesión Temporal a Empresa de Generación Eléctrica CAHUA S.A., que se identificará con Código N° 21068496 para desarrollar estudios relacionados con las actividades de generación de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica Llamac, aprovechando los recursos hídricos del río Llamac, por un plazo de dos (2) años a partir de la vigencia de la presente Resolución.

**Artículo 2°.-** La Concesión Temporal que se otorga conforme al artículo anterior, estará ubicada en el distrito Huasta, provincia Bolognesi, departamento de Ancash, identificada de acuerdo con el plano s/n°, a escala 1/100 000, delimitada por las siguientes coordenadas UTM:

VERTICE	NORTE	ESTE
1	8 888 140	265 850
2	8 881 050	274 520
3	8 875 000	275 400
4	8 872 950	271 450
5	8 871 280	271 470
6	8 872 300	281 870
7	8 873 380	282 700
8	8 876 420	278 300
9	8 882 900	276 150
10	8 889 100	266 520

**Artículo 3°.-** El Concesionario está obligado a operar respetando las normas técnicas y de seguridad; preservando el medio ambiente y salvaguardando el Patrimonio Cultural de la Nación; así como al cumplimiento de las obligaciones establecidas en el Decreto Ley N° 25844, su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 009-93-EM y otras normas legales pertinentes.

Regístrese, comuníquese y publíquese

ALBERTO PANDOLFI ARBULU  
Ministro de Energía y Minas

2941

**RESOLUCION MINISTERIAL  
N° 069-97-EM/DGE**

Lima, 11 de marzo de 1997

Visto el Expediente N° 21068596 que incluye los documentos con Registros N°s. 1082459, 1084927 y 1095870, sobre otorgamiento de Concesión Temporal, para desarrollar estudios relacionados con la generación de energía eléctrica, de acuerdo con la Ley de Concesiones Eléctricas - Decreto Ley N° 25844, presentado por Empresa de Generación Eléctrica CAHUA

S.A., persona jurídica inscrita en el asiento 1 de la Ficha N° 0263 del Registro Mercantil de Huacho;

**CONSIDERANDO:**

Que, el peticionario ha solicitado, conforme a las normas sobre la materia, se le otorgue Concesión Temporal para realizar estudios sobre generación de energía eléctrica, en las zonas comprendidas dentro de las coordenadas que figuran en la presente Resolución, utilizando los recursos hídricos del río Rapay;

Que, la Dirección General de Electricidad, luego de haber verificado y evaluado que la peticionaria ha cumplido con los requisitos estipulados en el Decreto Ley N° 25844 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 009-93-EM, ha emitido el Informe favorable N° 279-97-EM/DGE;

Estando a lo dispuesto por el Artículo 23° del Decreto Ley N° 25844;

Con la opinión favorable del Director General de Electricidad y del Viceministro de Energía;

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.-** Otorgar Concesión Temporal a Empresa de Generación Eléctrica CAHUA S.A., que se identificará con Código N° 21068596 para desarrollar estudios relacionados con las actividades de generación de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica Puquián, aprovechando los recursos hídricos del río Rapay, por un plazo de dos (2) años a partir de la vigencia de la presente Resolución.

**Artículo 2°.-** La Concesión Temporal que se otorga conforme al artículo anterior, estará ubicada en el distrito de Copa, provincia Cajatambo, departamento de Lima, identificada de acuerdo con el plano N° 01, a escala 1/100 000, delimitada por las siguientes coordenadas UTM:

VERTICE	NORTE	ESTE
1	8 851 800	278 000
2	8 847 550	272 450
3	8 846 780	274 000
4	8 860 650	278 950

**Artículo 3°.-** El Concesionario está obligado a operar respetando las normas técnicas y de seguridad; preservando el medio ambiente y salvaguardando el Patrimonio Cultural de la Nación; así como al cumplimiento de las obligaciones establecidas en el Decreto Ley N° 25844, su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 009-93-EM y otras normas legales pertinentes.

Regístrese, comuníquese y publíquese

ALBERTO PANDOLFI ARBULU  
Ministro de Energía y Minas

2942

**Aprueban niveles máximos permisibles para efluentes líquidos producto de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica**

**RESOLUCION DIRECTORAL  
N° 008-97-EM/DGAA**

Lima, 13 de marzo de 1997

**CONSIDERANDO:**

Que, el Artículo 9° del Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas, señala que el Estado previene la conservación del medio ambiente y del Patrimonio Cultural de la Nación, así como el uso racional de los

recursos naturales en el desarrollo de las actividades relacionadas con la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica;

Que, en tal virtud, mediante Decreto Supremo N° 029-94-EM, se aprobó el Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas;

Que, los Estudios de Impacto Ambiental correspondientes a las actividades eléctricas deben estar formulados en base a los Niveles Máximos Permisibles que el Ministerio de Energía y Minas apruebe;

Que, los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental tienen como objetivo que los titulares de las actividades eléctricas logren reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta alcanzar los Niveles Máximos Permisibles;

Que, es necesario establecer los Niveles Máximos Permisibles correspondientes a los elementos compuestos presentes en los efluentes líquidos provenientes de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y contribuir efectivamente a la protección ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el Artículo 12° del Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas, aprobado por Decreto Supremo N° 029-94-EM;

Con la opinión favorable del Director General de Electricidad;

#### SE RESUELVE:

**Artículo 1°.-** Aprobar los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos producto de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

**Artículo 2°.-** Los Niveles Máximos Permisibles a los cuales se sujetarán las actividades mencionadas en el artículo anterior, están señalados en el Anexo 1 que se adjunta a la presente Resolución Directoral y forma parte de la misma.

**Artículo 3°.-** Los resultados analíticos obtenidos para cada parámetro regulado, según sea el caso, a partir de la muestra escogida del efluente respectivo, no excederán en ninguna oportunidad los niveles establecidos en la columna "Valor en cualquier momento" del Anexo 1.

**Artículo 4°.-** Las concentraciones promedio anuales para cada parámetro regulado no excederán los niveles establecidos en la columna "Valor promedio anual" del Anexo 1.

**Artículo 5°.-** La descarga del efluente a ríos no deberá incrementar en más de 3°C la temperatura del Cuerpo Receptor, considerándose este valor a partir de un radio igual a 5 (cinco) veces el ancho de su cauce en torno al punto de descarga. En el caso de descargas al mar o lagos, la temperatura del efluente no deberá superar en ningún momento 50°C en su punto de descarga. El punto de medición será establecido conforme a lo indicado en los Protocolos de Monitoreo de Calidad de Agua del Sector Minero-Energético publicados por la Dirección General de Asuntos Ambientales.

**Artículo 6°.-** Los responsables de las actividades de electricidad, deberán asegurar que las concentraciones de los parámetros no regulados en la presente Resolución Directoral, cumplan con las disposiciones legales vigentes en el país o demostrar técnicamente ante la autoridad competente que su vertimiento al Cuerpo Receptor no ocasionará efectos negativos a la salud humana y al ambiente.

**Artículo 7°.-** Los responsables de las actividades de electricidad están obligados a establecer en el EIA y/o PAMA un Punto de Control en cada efluente líquido, a fin de determinar la concentración de cada uno de los parámetros regulados y el volumen de descarga en metros cúbicos por día, que será medido al momento de efectuar la toma de la muestra. Dicho Punto de Control deberá ser identificado de acuerdo a la ficha del Anexo 2 que se adjunta a la presente Resolución Directoral y forma parte de la misma.

**Artículo 8°.-** Los responsables de las actividades de electricidad podrán eliminar o cambiar la ubicación de uno o más puntos de control, con la aprobación de la Dirección General de Electricidad y la opinión favorable

de la Dirección General de Asuntos Ambientales, para lo cual será necesario presentar la documentación sustentatoria.

**Artículo 9°.-** Los responsables de las actividades de electricidad están obligados a efectuar el muestreo de los efluentes y sus análisis químicos con una frecuencia mensual. Los reportes corresponderán a los trimestres que concluyen en los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre y serán presentados el último día hábil del mes siguiente al trimestre vencido a la Dirección General de Electricidad. Los reportes se presentarán por duplicado en forma impresa y en medio magnético.

**Artículo 10°.-** Los responsables de las actividades de electricidad llevarán un registro según el formato especificado en el Anexo 3 de la presente Resolución Directoral, el mismo que deberá ser presentado al Auditor Ambiental, cuando éste lo requiera.

**Artículo 11°.-** Para efectos de la presente Resolución Directoral, además de las definiciones contenidas en el Reglamento de Medio Ambiente para las Actividades de Electricidad, aprobado por Decreto Supremo N° 029-94-EM, se tomará en consideración las siguientes definiciones:

**Concentración Promedio Anual.-** Es la medida Aritmética de por lo menos ocho (8) resultados analíticos mensuales obtenidos durante un año calendario.

**Cuerpo Receptor.-** Cualquier corriente natural o cuerpo de agua receptor de efluentes líquidos, proveniente de actividades de electricidad, a ser controlado mediante el establecimiento de Puntos de Control.

**Efluentes Líquidos de la Actividad de Electricidad.-** Son los flujos descargados al ambiente, que provienen de las operaciones de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

**Parámetro Regulado.-** Son aquellos parámetros que se encuentran definidos en el Artículo 5° y en el Anexo 1 de la presente Resolución Directoral.

**Punto de Control.-** Ubicación aprobada por la Dirección General de Electricidad, descrita de acuerdo a la ficha del Anexo 2.

**Punto de Emisión.-** Lugar de descarga de los efluentes líquidos de las actividades de electricidad, en el Cuerpo Receptor.

#### DISPOSICION TRANSITORIA UNICA

Los responsables de las actividades de Electricidad cuyos niveles de emisión de efluentes líquidos se encuentren por encima de los establecidos para cumplir con el Artículo 5° y el Anexo 1 de la presente Resolución Directoral y cuyo PAMA no sea suficiente para alcanzar dicho cumplimiento, deberán presentar a la Dirección General de Electricidad un programa complementario de acciones e inversiones a fin de adecuar sus instalaciones para cumplir con los niveles señalados en los citados Artículo 5° y Anexo 1; dicho programa complementario no deberá exceder del plazo de ejecución del PAMA correspondiente.

Con la opinión previa de la Dirección General de Asuntos Ambientales, la Dirección General de Electricidad mediante Resolución aceptará, rechazará o aceptará condicionadamente el referido cronograma.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

JOSE MOGROVEJO CASTILLO  
Director General  
Asuntos Ambientales

#### ANEXO 1

#### NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE EFLUENTES LIQUIDOS PARA LAS ACTIVIDADES DE ELECTRICIDAD

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
pH	Mayor que 6 y Menor que 9	Mayor que 6 y Menor que 9

Aceites y Grasas (mg/l)	20	10
Sólidos Suspendidos (mg/l)	50	25

**ANEXO 2****FICHA DE IDENTIFICACION****PUNTO DE CONTROL**

Nombre de la Empresa/Unidad:

Nombre:

Coordenadas UTM ( ± 100 m):

Descripción (Ubicación):

Equipo(s) utilizado(s):

**ANEXO 3****A. RESULTADOS ANALITICOS EN PUNTO DE EMISION**

Nombre de la Empresa/Unidad :  
 Tipo de muestreo : (puntual o automático)  
 Punto de muestreo :  
 Cuerpo de agua receptor : (nombre)  
 Fecha y hora de muestreo :  
 Código de la muestra :  
 Nombre del Laboratorio :  
 Flujo en el punto de muestreo : (m<sup>3</sup>/día)

**PARAMETROS RESULTADOS ANALITICOS**

pH (unidades estándar)

Aceites y Grasas (mg/l)

Sólidos Suspendidos (mg/l)

**B. RESULTADOS ANALITICOS EN CUERPO RECEPTOR**

Nombre de la Empresa/Unidad :  
 Tipo de muestreo : (puntual o automático)  
 Punto de muestreo :  
 Cuerpo de agua receptor : (nombre)  
 Fecha y hora de muestreo :  
 Código de la muestra :  
 Nombre del Laboratorio :  
 Flujo en el punto de muestreo : (m<sup>3</sup>/día)

**PARAMETROS RESULTADOS ANALITICOS**

pH (unidades estándar)

Temperatura (°C)

Aceites y Grasas (mg/l)

Sólidos Suspendidos (mg/l)

## A10. Características del equipo ablandador de agua seleccionado



**CIENCIA Y TECNOLOGIA EN AGUAS**  
25 AÑOS DE EXPERIENCIA EN EL MERCADO



Lima, 17 de Abril del 2012

**Cotización N° 7331RL-12**

Señores  
**SR. ROY CAYETANO COLQUI**  
Presente.-

**Ref.** : Cotización de Ablandador de Agua  
**e-mail** : [roy\\_rocal@hotmail.com](mailto:roy_rocal@hotmail.com)

Estimados señores:

Es muy grato enviarles un cordial saludo y agradeciendo su gentil invitación, les presentamos nuestra **PROPUESTA TÉCNICO ECONOMICA** por los siguientes Equipos de Tratamiento de Agua, los cuales describimos a continuación:

### **Item # 1**

#### **UN (1) ABLANDADOR DE AGUA DE TIPO AUTOMATICO**

Un (1) Equipo Ablandador de operación automática de Marca Aquafil, Modelo AFG1354, para el ablandamiento de agua con un caudal de hasta 13 GPM. Fabricado en material de Polyglass, Marca Structural -USA Viene con un lecho filtrante de Resinas Catiónicas de Ciclo Sodio, regenerables con sal. Tiene una Válvula Automática para programar la producción, el servicio y el retrolavado.

#### **Especificaciones Técnicas:**

- Marca : AQUAFIL
- Procedencia : USA
- Modelo : AFG1354 – Automático
- Material del Reactor : Polyglass
- Caudal de Servicio : 5 -13 GPM (Galones por Minuto)
- Presiones de Trabajo : 30 PSI (Mínima) – 80 PSI (Maxima)
- Cap. Intercambio : 67,500 Granos
- Producción Agua blanda: 20 m3 x regeneración @ 200 ppm de Dureza Total
- Consumo de Sal : 14 Kg Sal Industrial por regeneración
- Energía : 220 Voltios / 60 Hz / 6 Watts

#### **Características**

- Un (1) Tanque Polyglass de 13" de Diámetro x 54" de altura, internamente de polietileno, marca Structural North America, USA.
- Dos. Siete (2.7) p3 de Resina Catiónica fuertemente ácida ciclo sodio para ablandador
- Marca DOSHION Mod. CSA 121 - India
- Un (1) Cabezal de control automático GE OSMONICS – USA
- Un (1) Tanque de Salmuera de Polietileno Cap. 72 Lts, incluye Válvula de salmuera
- Difusores inferiores y superiores importados (Toberas)
- Manual de Instrucciones de Instalación y Operación

**VALOR VENTA TOTAL U.S\$ 1,250.00 + I.G.V.**

\* Los Montos no incluyen el Servicio de Instalación y Puesta en Marcha de los equipos.

Jr. Juan Chávez Tueros 1235 Urb. Chacra Ríos Sur (altura: cuadra 12 de Av. Tingo María) - Cercado de Lima  
Teléfonos (511) 337.6190 / 337.6145 Fax: (511) 638 1072 Móvil: (99) 814\*3914 Rem: #823772  
emails: [ventas@aquafil.com.pe](mailto:ventas@aquafil.com.pe) / [sales@aquafil.com.pe](mailto:sales@aquafil.com.pe) Página Web: [www.aquafil.com.pe](http://www.aquafil.com.pe)  
LIMA - PERU



**CIENCIA Y TECNOLOGIA EN AGUAS**  
25 AÑOS DE EXPERIENCIA EN EL MERCADO



**Item # 2**

**UN (1) PRE-FILTRO PULIDOR DE SEDIMENTOS DE 10u**

Los Filtros pulidores de sedimentos tiene como finalidad la remoción de turbidez, partículas en suspensión y sedimentos finos que vienen en el agua, *previenen la saturación prematura de las resinas lo cual influye en su capacidad de ablandamiento.*

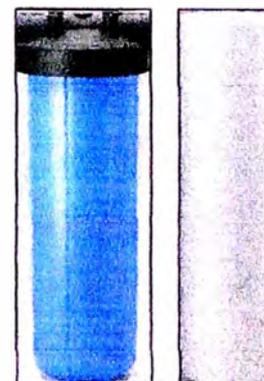
**Características Técnicas:**

**Carcaza Filtrante**

- Marca : PENTEK - USA
- Modelo : PF20-3/4"
- Material : Casco opaco de polipropileno reforzado
- Color : Azul
- Medidas : 2,5" x 20"
- Conexión : 3/4"

**Elemento Filtrante**

- Marca : PENTEK
- Procedencia : USA
- Material : Fibra de Polipropileno
- Medidas : 2,5" x 20" x 10 u
- Filtración : Diez (10) Micras



**VALOR VENTA TOTAL U.S.\$ 95 + I.G.V.**

**Item # 3**

**UN (1) KIT MEDIDOR DE DUREZA**

- Marca : HANNA
- Modelo : HI 3812
- Procedencia : USA
- Rango : 1 - 50 mg/L y 1 - 300 mg/L
- N° de Pruebas : 100



**VALOR VENTA U.S.\$ 85.00 + I.G.V.**

**Requerimientos para Instalación: (Los valores no incluyen la Instalación)**

- Un Punto de Agua presurizada (Mínimo 30 PSI), con válvula de esfera para regulación de caudal y un manómetro de presión de 0 - 100 PSI
- Un Punto de Desagüe (Flujo 6 GPM)
- Energía Eléctrica de 220 / 60 Hz Voltios monofásica
- Personal Operario disponible para Operación (Frecuencia de trabajo de 5 a 15 minutos al día)
- Sal Industrial granulada (Stock mínimo 100 Kg)

Jr. Juan Chávez Tueros 1235 Urb. Chacra Ríos Sur (altura: cuadra 12 de Av. Tingo María) - Cercado de Lima  
Teléfonos (511) 337.6190 / 337.6145 Fax: (511) 638 1072 Móvil: (99) 814\*3914 Rem: #823772  
emails: ventas@aquafil.com.pe / servicio@aquafil.com.pe Página Web: www.aquafil.com.pe  
LIMA - PERU



**CIENCIA Y TECNOLOGIA EN AGUAS**  
25 AÑOS DE EXPERIENCIA EN EL MERCADO



**Condiciones de Venta:**

- Valores Venta : Dólares Americanos USA
- I.G.V. : Agregar el 18%
- Tipo de Cambio : S/. 3.00
- **Forma de Pago** : **Contado Contraentrega**
- **Plazo de Entrega** : **Inmediato de Stock**
- Lugar de Entrega : En nuestros Almacenes AQUAFIL de Lima
- Garantía : Un (1) Año, no cubre por malas condiciones de operación
- Validez : Treinta (30) Días

**BBVA CONTINENTAL**

Cta Cte. Dólares : 0 1 1 - 0 3 8 2 - 0 1 0 0 0 5 4 2 3

**BANCO SCOTIABANK DEL PERÚ**

Cta Cte. Dólares : 0 0 0 - 3 6 7 5 - 1 9 1

Sin otro particular, quedamos de ustedes a sus gratas órdenes,  
Atentamente;



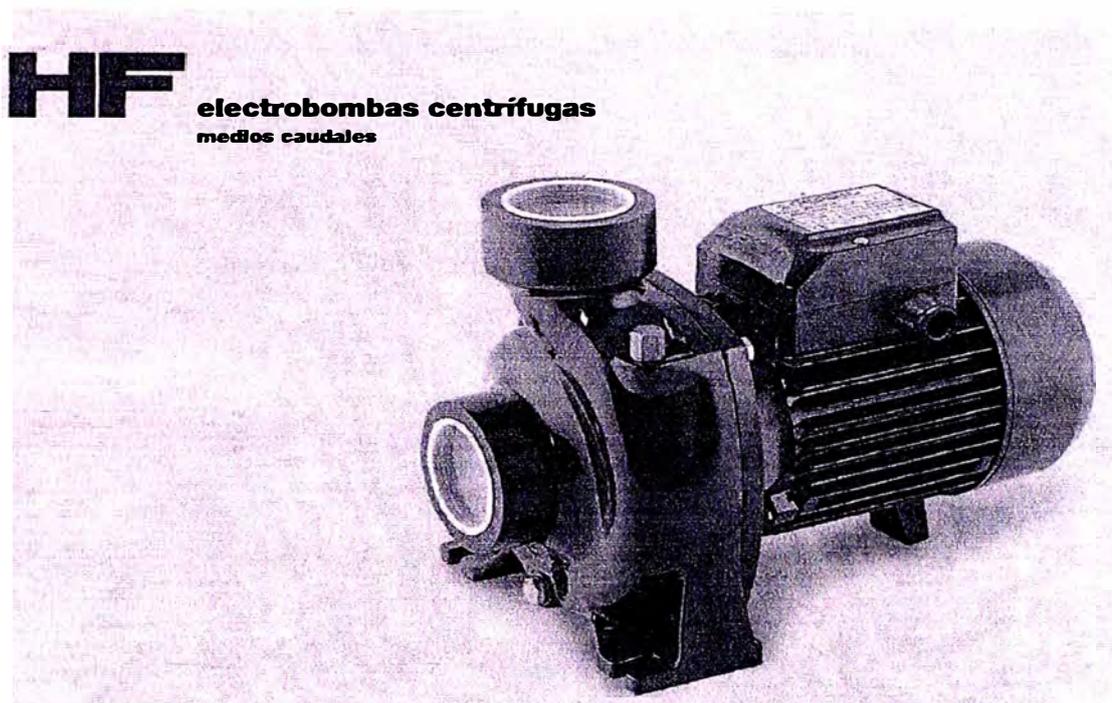
**ROSA LUNA H.**  
Dpto. Ventas y Proyectos  
**AQUAFIL SAC**  
Telfs: (01) 337 6145 Anexo: 104  
(01) 337 6190 Anexo: 104  
Fax: (01) 638 1072  
Nextel: (99) 418\*1847  
Rpm: # 823772  
e-mail: [rluna@aquafil.com.pe](mailto:rluna@aquafil.com.pe)  
Site: [www.aquafil.com.pe](http://www.aquafil.com.pe)

**FOTO REFERENCIAL**



Jr. Juan Chávez Tueros 1235 Urb. Chacra Ríos Sur (altura cuadra 12 de Av. Tingo María) - Cercado de Lima  
Teléfonos (511) 337.6190 / 337.6145 Fax: (511) 638 1072 Nextel: (99) 814\*3914 Rpm: #823772  
emails: [ventas@aquafil.com.pe](mailto:ventas@aquafil.com.pe) / [soporte@aquafil.com.pe](mailto:soporte@aquafil.com.pe) Página Web: [www.aquafil.com.pe](http://www.aquafil.com.pe)  
LIMA - PERU

## A11. Características de la bomba centrífuga seleccionada



### **HF** electrobombas centrífugas medios caudales

**CAMPO DE PRESTACIONES**  
Caudal hasta 600 l/min (36 m<sup>3</sup>/h)  
Altura manométrica hasta 39 m

**LIMITES DE USO**  
Altura de aspiración manométrica hasta 7 m  
Temperatura del líquido hasta + 90°C  
Máxima temperatura ambiente + 40°C

#### **EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD**

EN 60034-1  
IEC 34-1  
CEI 2-3



#### **EMPLEOS E INSTALACIONES**

LA SERIE HF ES ACONSEJADA PARA SER USADA EN EL AMBIENTE DOMESTICO, AGRICOLA E INDUSTRIAL. LOS ALTOS RENDIMIENTOS ALCANZABLES Y LA POSIBILIDAD DE UN USO CONTINUO, HACEN VENTAJOSO EN EMPLEO PARA RIEGOS POR ESCURRIMIENTOS Y POR LLUVIA, PARA TOMA DE AGUA DE LAGOS, RIOS, POZOS O PARA LOS DIFERENTES EMPLEOS INDUSTRIALES CARACTERIZADOS POR LA NECESIDAD DE ALCANZAR CAUDALES CONSIDERABLES EN RELACION A ALTURAS MANOMETRICAS MEDIO-BAJAS

La instalación se debe efectuar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

**GARANTIA 2 AÑOS** según nuestras condiciones generales de venta.

#### **CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION**

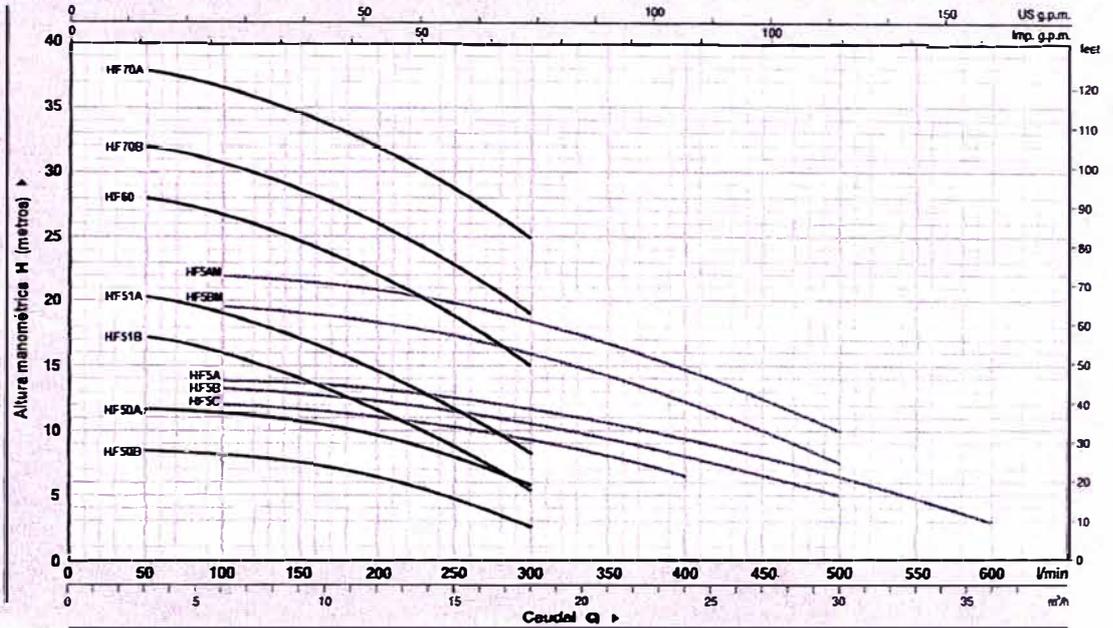
- **CUERPO BOMBA:** hierro fundido, con bocas de succión y descarga roscadas ISO 228/1.
- **RODETE:** en latón, del tipo a flujo radial centrífugo.
- **EJE MOTOR:** acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104.
- **SELLO MECANICO:** cerámica - grafito - NBR.
- **MOTOR ELECTRICO:** las bombas están acopiadas a un motor eléctrico PEDROLLO expresamente dimensionado, silencioso, cerrado, con ventilación externa y apto para servicio continuo.  
HFm: monofásico 230 V - 60 Hz con condensador y salvamotor térmico incorporado.  
HF: trifásico 230/460 V - 60 Hz.
- **AISLAMIENTO:** clase F. ■ **PROTECCION:** IP 44.

#### **EJECUCION BAJO PEDIDO**

- ⇒ sello mecánico especial
- ⇒ otras tensiones o frecuencias

 **PEDROLLO**  
... the spring of life

**CURVAS Y DATOS DE PRESTACION A n= 3450 1/min**

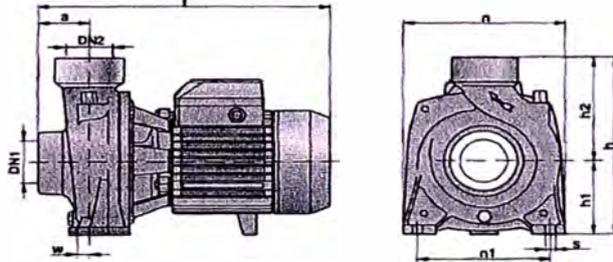


TIPO	Monofásica	Trifásica	POTENCIA		Q	H m												
			kW	HP		0	3	6	9	12	15	18	21	24	30	36		
HFm 50B	HF 50B		0.37	0.50	0	9	8.5	8.2	7.5	6.3	4.9							
HFm 50A	HF 50A		0.55	0.75	3	12	11.5	11.2	10.6	9.6	8							
HFm 51B	HF 51B		0.60	0.85	6	18.2	17.2	16	14	11.5	9	5.4						
HFm 51A	HF 51A		0.75	1	9	21.2	20.2	19	17	14.5	11.8	8.4						
HFm 60	HF 60		1.1	1.5	12	29	28	26.5	24.5	22	18.5	15						
HFm 70B	HF 70B		1.5	2	15	33	32	30.5	28.5	26	22.5	19						
	HF 70A		2.2	3	18	39	38	36.5	34.5	32	28.5	25						
HFm SC	HF 5C		0.60	0.85	21	12.5	-	12	11.7	11	10.2	9.2	8	6.5				
HFm SB	HF 5B		0.75	1	24	13.7	-	13.2	13	12.5	11.6	10.5	9.2	8	5			
HFm SA	HF 5A		1.1	1.5	30	14.5	-	13.8	13.5	13.2	12.6	11.8	10.5	9.2	6.5	3		
HFm SBM	HF 5BM		1.1	1.5	36	20.2	-	19.2	19	18	17	16	14	12	7.5			
HFm SAM	HF 5AM		1.5	2	60	22.5	-	22	21.5	21	20	18.5	16.6	14.5	10			

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 App. A.

**TABLA DE DIMENSIONES Y PESOS**



TIPO	Monofásica	Trifásica	BOCA		DIMENSIONES mm										kg	
			DN1	DN2	a	l	h	n1	n2	n	n1	w	s	1-	3-	
HFm 50B	HF 50B		1 1/2"	1 1/2"	45	276	200	82	118	165	135	1	10	8.3	8.2	
HFm 50A	HF 50A	283/276				8.9								8.4		
HFm 51B	HF 51B	300				15.5								15.1		
HFm 51A	HF 51A	300				13.0								12.1		
HFm 60	HF 60		2"	2"	48.5	373	269	114	155	216	171	12	12	20.0	18.3	
HFm 70B	HF 70B	22.2												21.6		
HFm 70A	HF 70A	22.2												21.6		
HFm SC	HF 5C		2"	2"	60	332	238	97	141	196	160	14	11	15.3	14.2	
HFm SB	HF 5B	15.1												14.3		
HFm SA	HF 5A	15.5												15.2		
HFm SBM	HF 5BM	20.3												19.5		
HFm SAM	HF 5AM	22.2	21.8													