



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

**MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS
PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY**

Axel Vladimir Gonzalez Coy

Asesorado por el Ing. Huber Haroldo Rodríguez Lima

Guatemala, junio de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS
PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA CHIXOY**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

AXEL VLADIMIR GONZALEZ COY

ASESORADO POR EL ING. HUBER HAROLDO RODRÍGUEZ LIMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Zarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 02 de septiembre de 2008.

Axel Vladimir Gonzalez Coy

Guatemala, 11 de Marzo del 2011.

Ing. Julio Cesar Campos Paiz
Director de Escuela de Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Julio Cesar Campos Paiz:

Me permito presentarle por este medio el trabajo de graduación del estudiante **Axel Vladimir Gonzalez Coy**, el cual se titula: **MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY.**

En mi calidad de asesor he analizado el contenido, así como las conclusiones y recomendaciones expuestas. Considerando que dicho trabajo es de gran interés para la Facultad de Ingeniería, dejo constancia de mi aprobación al mismo y permito recomendar que dicho trabajo de graduación se someta a consideración del tribunal que sea designado para el examen público.

Basándome en la aprobación del protocolo del trabajo de graduación otorgado por la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Mecánica, me responsabilizo conjuntamente con el autor por el contenido, conclusiones y recomendaciones de dicho trabajo.

Sin otro particular, me suscribo de usted.


Atentamente,
Ing. Huber Haroldo Rodriguez Lima
Colegiado No. 2599
Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 31 de marzo de 2011
REF.EPS.DOC.533.03.11.

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

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

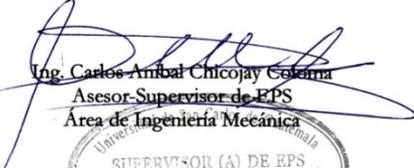
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Axel Vladimir González Coy** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **200216472**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY"**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojay Gotama
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
CACC/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 31 de marzo de 2011
REF.EPS.D.263.03.11

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

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

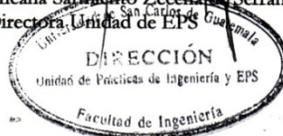
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Axel Vladimir González Coy** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zaccara de Serrano
Directora, Unidad de EPS



NISZ/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY del estudiante Axel Vladimir González Coy, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR

Guatemala, junio de 2011

JCCP/behdei

MA Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR
Esc. Ingeniería Mecánica

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.-215-2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY**, presentado por el estudiante universitario **Axel Vladimir González Coy**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz **Torres**
Decano



Guatemala, junio de 2010

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por guiarme y cuidarme siempre, en cada una de las etapas de mi vida.
Mis padres	Edgar Rubén Gonzalez Calat y Amalia Erundina Coy Pop de Gonzalez
Mis hermanos	Ludwig, Elmar, Celeste, Christian, Kevin, Marisol, Mariela y Eldin
Mi esposa	Elva Judith Tilóm Hernandez de Gonzalez
Mi angelito	Por motivarme a ser un buen ejemplo.
Mis seres queridos	Que aunque no escriba sus nombres los llevo muy presentes.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por haberme dado la vida e iluminarme con su sabiduría.
- Mis padres** Por todo su esfuerzo y apoyo incondicional que me han dado durante toda mi carrera, así también por ser el mejor ejemplo de estudiante a seguir. Siempre estaré agradecido por todo lo que han hecho por mí.
- Mis hermanos** Por estar conmigo en cada momento que los necesite, y porque hemos compartido tantas cosas juntos. Gracias a todos mis hermanos por su amor y buena compañía.
- Mi esposa** Por ser mi fuente de inspiración, paciencia y dedicación. Gracias por estar siempre a mi lado.
- Mi familia** Por instarme a culminar mis estudios.
- Mis compañeros** Por su amistad y buenos deseos en mi vida profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY DE LA EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE.....	01
1.1. Reseña histórica.....	01
1.2. Actividades a la que se dedica la Empresa de Generación de Energía Eléctrica.....	02
1.3. Visión y Misión de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica.....	02
1.3.1. Visión.....	02
1.3.2. Misión.....	03
1.4. Estructura organizacional.....	03
1.5. Definiciones de los sistemas de la Central Hidroeléctrica Chixoy de la Empresa de Generación del INDE.....	04
1.5.1. Embalse.....	04
1.5.2. Túnel de aducción.....	04
1.5.3. Cámara de válvula.....	04
1.5.4. Casa de máquinas.....	05
1.5.5. Sub estación.....	05

1.6.	Conceptos generales.....	06
1.6.1.	Mantenimiento correctivo.....	06
1.6.2.	Mantenimiento preventivo.....	07
1.6.3.	Mantenimiento predictivo.....	08
2.	DESARROLLO DEL MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	11
2.1.	Turbina.....	11
2.1.1.	Descripción general.....	11
2.1.2.	Rodete.....	13
2.1.3.	Acoplamiento de fricción.....	16
2.1.4.	Eje de la turbina.....	17
2.1.5.	Cojinetes de la turbina y su lubricación.....	18
2.1.6.	Sello del eje.....	21
2.1.7.	Tubería de descarga.....	22
2.1.8.	Revestimiento inferior y superior del eje.....	23
2.1.9.	Puntos de medición de velocidad.....	24
2.1.10.	Toberas.....	25
2.1.11.	Deflector.....	26
2.1.12.	Cámara del rodete.....	28
2.1.13.	Techo protector de la tobera.....	28
2.1.14.	Plataforma de servicio.....	29
2.1.15.	Compuertas.....	29
2.1.16.	Regulador de sobre velocidad.....	30
2.2.	Válvula esférica.....	39
2.2.1.	Descripción general.....	39
2.2.2.	Partes principales de la válvula esférica.....	40

2.3.	Gobernador.....	50
2.3.1.	Descripción general.....	50
2.3.2.	Regulador hidráulico.....	53
2.3.3.	Acumulador de aceite a presión.....	57
2.3.4.	Depósito de aceite de fugas.....	58
2.4.	Sistema de depresión de nivel por aire comprimido (TWD).....	66
2.4.1.	Descripción general.....	66
2.4.2.	Funcionamiento del sistema TWD.....	69
2.4.3.	Turbina TWD.....	71
2.4.4.	Engranaje de ruedas dentadas cilíndricas.....	73
2.4.5.	Acoplamientos del TWD.....	76
2.4.6.	Compresor de anillo líquido.....	76
2.4.7.	Grifo de bola.....	79
2.4.8.	Silenciador de aspiración.....	82
2.4.9.	Sistema de tuberías de aire comprimido.....	83
2.4.10.	Medición de nivel.....	83
2.5.	Sistema de aguas.....	89
2.5.1.	Descripción general.....	89
2.5.2.	Instalación de bombeo del agua de refrigeración.....	91
2.5.3.	Distribución del agua de refrigeración.....	94
2.5.4.	Instalación de bombeo del aguas industrial.....	94
2.5.5.	Suministro de agua de servicio al piso TWD.....	96
2.5.6.	Drenaje de la central.....	97
2.6.	Sistema de aire comprimido.....	103
2.6.1.	Descripción general.....	103

2.6.2.	Compresor.....	105
2.6.3.	Acumulador de aire comprimido.....	111
2.6.4.	Secador de aire.....	112
2.6.5.	Control eléctrico del equipo de aire comprimido.....	113
2.7.	Turbina auxiliar.....	120
2.7.1.	Turbina.....	120
2.7.2.	Grifo de bola.....	121
2.7.3.	Regulador de velocidad.....	122
2.7.4.	Sistemas auxiliares.....	123
2.7.5.	Generador.....	124
2.7.6.	Mantenimiento preventivo.....	125
3.	FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE.....	133
3.1.	Ambiente de trabajo.....	133
3.2.	Solicitud de nuevo usuario.....	136
3.3.	Ingreso y búsqueda de información técnica.....	136
	CONCLUSIONES.....	139
	RECOMENDACIONES.....	141
	BIBLIOGRAFÍA.....	143

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura organizacional de la Central Hidroeléctrica Chixoy..	03
2.	Rodete de la turbina.....	31
3.	Montaje del sello del eje.....	32
4.	Carro del rodete con dispositivo elevador.....	33
5.	Planta elevación 294.00 msnm.....	34
6.	Válvula esférica.....	46
7.	Disposición de la compuerta esférica.....	47
8.	Regulador hidráulico de velocidad.....	60
9.	Esquema de regulación.....	61
10.	Gabinete del gobernador.....	62
11.	Sistema de depresión del nivel por aire comprimido.....	84
12.	Dispositivo de depresión del nivel por aire comprimido.....	85
13.	Corte transversal turbina-compresor.....	86
14.	Sistema de agua de refrigeración primaria.....	98
15.	Sección transversal del sistema de agua de refrigeración.....	99
16.	Instalación bomba de agua de enfriamiento.....	100
17.	Sistema de aire comprimido.....	115
18.	Esquema de mando del aire comprimido.....	116
19.	Equipo de aire comprimido.....	117
20.	Turbina auxiliar.....	127
21.	Corte transversal turbina auxiliar.....	128
22.	Corte longitudinal turbina auxiliar.....	129
23.	Instalación de la turbina auxiliar.....	130

24.	Descripción general.....	134
25.	Especificaciones técnicas.....	134
26.	Planes de mantenimiento.....	135
27.	Anexos.....	135
28.	Solicitud de nuevo usuario.....	136
29.	Ingreso y búsqueda de información técnica.....	137
30.	Ampliar imagen de planos.....	138

TABLAS

I.	Datos generales de la turbina.....	11
II.	Datos técnicos del rodete Pelton.....	13
III.	Tipo de aceite para la parte hidráulica.....	14
IV.	Datos técnicos del eje de la turbina.....	17
V.	Características del aceite de lubricación.....	19
VI.	Niveles del aceite de lubricación.....	20
VII.	Protección anticorrosiva de la tubería de descarga.....	23
VIII.	Datos técnicos de la tobera.....	25
IX.	Material del deflector.....	26
X.	Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para la turbina.....	35
XI.	Datos técnicos de la válvula esférica.....	40
XII.	Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para la válvula esférica.....	48
XIII.	Datos técnicos del regulador hidráulico.....	53
XIV.	Datos técnicos de bomba de regulador hidráulico.....	55
XV.	Datos técnicos del acumulador de aceite a presión.....	57
XVI.	Datos técnicos del dispositivo de aceite de fugas.....	58

XVII.	Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el gobernador.....	63
XVIII.	Datos técnicos del TWD.....	67
XIX.	Datos técnicos de la turbina TWD.....	71
XX.	Datos técnicos del engranaje del TWD.....	73
XXI.	Tipo de aceite para la parte hidráulica del TWD.....	74
XXII.	Datos técnicos de los acoplamientos del TWD.....	78
XXIII.	Datos técnicos del compresor de anillo líquido	76
XXIV.	Características del aceite de lubricación para el compresor de anillo líquido.....	79
XXV.	Datos técnicos del grifo de bola.....	79
XXVI.	Datos técnicos del silenciador de aspiración.....	82
XXVII.	Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el sistema de depresión del nivel por aire comprimido.....	87
XXVIII.	Caudales nominales del sistema de aguas.....	90
XXIX.	Componentes del grupo de filtración y bombeo del agua de refrigeración.....	92
XXX.	Datos técnicos de la instalación de bombeo del agua industrial.....	95
XXXI.	Datos técnicos de la bomba sumergible del drenaje de la central.....	97
XXXII.	Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el sistema de aguas.....	101
XXXIII.	Datos técnicos del sistema de aire comprimido.....	104
XXXIV.	Aceites recomendados para el sistema de aire comprimido.....	105
XXXV.	Datos técnicos del secador de aire.....	112
XXXVI.	Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el sistema de aire comprimido.....	118

XXXVII.	Datos técnicos de la turbina auxiliar.....	120
XXXVIII.	Datos técnicos del grifo de bola de la turbina auxiliar.....	121
XXXIX.	Datos técnicos del generador de la turbina auxiliar.....	124
XL.	Mantenimiento rutinario de la turbina auxiliar.....	125
XLI.	Abreviaturas para el mantenimiento rutinario de la turbina auxiliar.....	125
XLII.	Agentes lubricantes para la turbina auxiliar.....	118
XLIII.	Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el sistema de la turbina auxiliar.....	118

GLOSARIO

Alabe	Se denomina álabe a cada una de las paletas curvas de una rueda hidráulica o de una turbina. En turbinas hidráulicas tipo Pelton se les llama cangilones.
Anticorrosivo	Propiedad que sirve para proteger una superficie de un proceso de degradación llamado corrosión.
Bonificado	Proceso térmico metalúrgico que incluye el temple y revenido.
Borne	Cada uno de los terminales de metal en que suelen terminar algunas máquinas y aparatos eléctricos, y que se emplean para su conexión a los hilos conductores.
Brida	Es el elemento que une dos componentes de un sistema de tuberías, permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión.
Cangilones	Cada una de las cucharas de que conforman un rodete de turbina hidráulica tipo Pelton.

Cárter	Pieza fundamental de una máquina, especialmente un motor. Desde el punto de vista teórico, el cárter es una caja metálica que aloja los mecanismos operativos del motor y el aceite para su lubricación.
Caudal	Se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.
Chaveta	Pieza de sección rectangular o cuadrada que se inserta entre dos elementos que deben ser solidarios entre sí para evitar que se produzcan deslizamientos de una pieza sobre la otra.
Cinética	Es el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde el reposo hasta la velocidad que posee.
Cojinete	Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.
Conmutador	Un tipo de dispositivo eléctrico que permite modificar el camino que deben seguir los electrones.

Corrosión	Es un proceso electroquímico complejo y difícil de controlar también pasa por el tiempo ya que se descomponen las materias y es irreparable.
Cota	Es la distancia vertical de un punto de la tierra respecto al nivel del mar, llamado elevación sobre el nivel medio del mar.
Disparo	Se le conoce como disparo de unidad al evento que conlleva a la interrupción de la generación, ocasionado como medida de seguridad para la unidad generadora. Éste disparo puede ocasionarse al detectarse una señal de falla o provocarse manualmente con el fin reiniciar la secuencia de arranque y puesta en línea de la unidad generadora.
Electrodo	En soldadura de arco un electrodo es usado para conducir corriente a través de la pieza de trabajo y fusionar dos piezas juntas.
Electromagnetismo	Es una rama de la física que estudia y unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría.
Elongación	Es el alargamiento al aumento de longitud que tiene un material cuando se le somete a un esfuerzo de tracción antes de producirse su rotura.

Embalamiento	O velocidad de fuga, es la máxima velocidad adquirida por el eje del grupo generador, cuando, al pasar rápidamente de plena carga a valor cero (en vacío), el distribuidor permanece completamente abierto (caudal máximo), por fallo en la regulación; no funcionando, además, los elementos que cortan el paso de agua a la turbina.
Energía	Es la cantidad de trabajo que un sistema físico es capaz de producir. No puede ser creada ni destruida, solamente transformarla.
Forja	Es el arte y el lugar de trabajo del forjador o herrero, cuyo trabajo consiste en dar forma al metal por medio del fuego y del martillo.
Fricción	Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra.
Generador	Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica.
Holgura	Es la diferencia que existe entre las dimensiones de dos piezas en el lugar donde se acoplan.

Hormigón	Es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con áridos (grava, gravilla y arena) y agua.
Husillo	Tipo de tornillo, generalmente largo, y de gran diámetro, metálico o de madera, el material más utilizado es acero templado, utilizado para accionar los elementos de apriete tales como prensas o mordazas, así como para producir el desplazamiento lineal de los diferentes carros de fresadoras y tornos.
Impermeabilidad	Es la capacidad de un material para que un fluido no lo atraviese, o lo atraviese de forma despreciable.
Índice de viscosidad	Se entiende como índice de viscosidad, el valor que indica la variación de viscosidad del aceite con la temperatura.
Isotérmico	Cambio de temperatura reversible en un sistema termodinámico, siendo dicho cambio de temperatura constante en todo el sistema.
Latitud	Es la distancia angular entre el ecuador y un punto determinado del planeta medida a lo largo del meridiano que pasa por ese punto.

Longitud	En cartografía, expresa la distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano que se tome como 0°.
Martensita	Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado auténtico a altas temperaturas. Los aceros con micro estructura martensítica son los más duros y mecánicamente resistentes, pero también los más frágiles y menos dúctiles.
Mecanizado	Es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante remoción de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.
Muelle	También llamado resorte y es un operador elástico que es capaz de almacenar energía y desprenderse de ella sin sufrir deformación permanente cuando cesa el esfuerzo al que se le somete.
Obturación	Abertura o conducto tapado o cerrado por la introducción o aplicación de un cuerpo.
Pelton	Tipo más eficiente de turbina hidráulica. Consiste en una rueda (rodete o rotor) dotada de cangilones

en su periferia, los cuales están especialmente realizados para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre los cangilones.

Perbunan

Es un caucho de nitrilo especialmente utilizado para la construcción de los sellos de las válvulas industriales.

Perno

Pieza metálica, normalmente de acero o hierro, larga, cilíndrica, semejante a un tornillo pero de mayores dimensiones, con un extremo de cabeza redonda y otro extremo que suele ser roscado.

Potencia

Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.

Presión dinámica

Llamada también presión de estancamiento, es la presión medida contra el flujo del fluido.

Presostato

También es conocido como interruptor de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

Punto de inflamación

Es la temperatura mínima necesaria para que un material inflamable desprenda vapores que, mezclados con el aire, se inflamen en presencia de una fuente ígnea.

Punto de solidificación	Es la temperatura a partir de la cual el aceite pierde sus características de fluido para comportarse como una sustancia sólida.
Racor	Es una pieza metálica con dos roscas internas en sentido inverso, que sirve para unir tubos u otros perfiles cilíndricos.
Recocido	Es el tratamiento térmico que, en general, tiene como finalidad una temperatura que permita obtener plenamente la fase estable a falta de un enfriamiento lo suficientemente lento como para que se desarrollen todas las reacciones completas.
Revenido	Consiste en calentar el acero a temperaturas medias-bajas por un período determinado y luego enfriarlo lentamente.
Rodete	Consiste en un disco perpendicular al eje de giro, compuesto por álabes curvados en dirección contraria al movimiento.
Rotoide	Rotor de forma esférica, principal componente de una válvula de tipo esférica.
Rotor	El rotor está formado por un eje que soporta un juego de bobinas arrolladas sobre un núcleo magnético que puede girar dentro de un campo

magnético creado bien por un imán o por el paso por otro juego de bobinas, arrolladas sobre unas piezas polares, que permanecen estáticas y que constituyen lo que se denomina estator de una corriente continua o alterna, dependiendo del tipo de máquina de que se trate.

Saponificación

En el aspecto industrial consiste en hervir la grasa en grandes calderas, añadiendo lentamente sosa cáustica (NaOH), agitándose continuamente la mezcla hasta que comienza a ponerse pastosa.

Sensor

Es un aparato capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas.

Servomotor

También llamado motor hidráulico lineal y es un actuador mecánico que se usa para dar una fuerza a través de un recorrido lineal.

Temple

Consiste en calentar el acero a una temperatura muy alta, por un período determinado para luego enfriarlo rápidamente logrando así endurecer el acero a su máximo grado

Termostato

Es el componente de un sistema de control simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura.

Tobera

Es un dispositivo que convierte la energía potencial de un fluido en energía cinética, en la que se pretende acelerar un fluido para la aplicación que se necesite.

Turbina

Son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y éste le entrega su energía a través de un rodete con cangilones o álabes de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar.

TWD

Tailwater depressure system (sistema de depresión de aguas abajo). Es un dispositivo para generar depresión del nivel del desfogue por medio de aire comprimido. Su funcionamiento consiste en introducir un flujo de aire comprimido dentro de la cámara de la turbina para bajar el nivel del desfogue y mantenerlo dentro de los valores de operación, evitando crecidas que afecten a la unidad generadora.

Viscosidad

La viscosidad es la principal característica de la mayoría de los productos lubricantes y proporciona la medida de la fluidez a determinadas temperaturas.

Viscosidad cinemática Es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del líquido.

Viscosidad dinámica Es la viscosidad de un fluido que opone determinada fuerza al deslizamiento de una superficie sobre otra a velocidad y distancia determinadas.

RESUMEN

La Central Hidroeléctrica Chixoy es considerada la obra más grande de ingeniería en la historia de Guatemala, ya que tiene una capacidad de generación de 300 megavatios. Cuenta con varios sistemas de equipos para poder generar energía eléctrica, ubicados en, el embalse, cámara de válvulas y casa de máquinas; en esta última se centralizan los equipos de generación, siendo estos: turbina, gobernador, válvula esférica, sistema de aire comprimido, sistema TWD, generador, transformadores, bombas, motores.

Debido a la gran cantidad de equipos con que cuenta la planta es necesario crear un manual digital de especificaciones técnicas de los principales equipos y componentes; que contenga los datos más utilizados, además de tener la información como una herramienta de estudio-capacitación para el personal técnico de la planta, identificando cada uno de sus componentes para mejorar los conocimientos y ponerlos en práctica al momento de efectuar el mantenimiento. Al crear esta herramienta se mejora el acceso a los medios de información técnica de los equipos de la planta para el personal mecánico, eléctrico, electrónico, operaciones, obra civil y administración.

Éste trabajo es el comienzo para una nueva gestión del mantenimiento, ya que el mismo será fundamental para la creación de una base de datos, donde se llevará la planificación del mantenimiento, obteniendo historiales de trabajos realizados, análisis de causa raíz e índices de mantenimiento, haciendo más eficiente el trabajo de mantenimiento en la planta.

OBJETIVOS

General

Iniciar una gestión del mantenimiento mejorando la capacitación del personal técnico mecánico de la planta, mediante la elaboración del manual digital de especificaciones técnicas de los principales equipos y componentes mecánicos de la Central Hidroeléctrica Chixoy.

Específicos

1. Elaborar un listado general de las actividades de mantenimiento rutinario de los principales equipos mecánicos que conforman la planta, para organizar el mantenimiento, generar historiales y análisis de los trabajos realizados.
2. Administrar la información técnica como una herramienta digital, que genere informes de resultados para mejorar el mantenimiento.
3. Incentivar al personal técnico para conocer mejor los equipos componentes de la planta, mejorando su calidad profesional.
4. Capacitar al personal técnico encargado del mantenimiento mecánico para el uso de herramientas digitales como medio de estudio y consulta de los datos técnicos de la Central Hidroeléctrica Chixoy.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la Central Hidroeléctrica Chixoy aporta aproximadamente el 85% de la energía eléctrica generada por el INDE, por tal magnitud es necesario que se mantengan siempre sus equipos en sus mejores condiciones de operación. Para lograr esto es necesario que el mantenimiento preventivo y predictivo esté bien planificado.

Estos datos son los más importantes y necesarios para realizar los mantenimientos, fueron obtenidos por medio de entrevistas y documentos que se han generado con la experiencia y necesidades; han surgido del personal encargado del mantenimiento mecánico en la planta, así como las recomendaciones de los fabricantes que estuvieron a cargo de la puesta en marcha de la planta. Por lo cual considero que el proyecto lleve el nombre de:

Manual digital de especificaciones técnicas de los principales equipos y componentes mecánicos de la Central Hidroeléctrica Chixoy

Cada uno de los datos técnicos es descrito de forma precisa, de manera que al estudiar el informe se tenga conocimiento de las necesidades del mantenimiento en la planta. Además se presenta una propuesta de actividades rutinarias para el mantenimiento preventivo anual por equipo que servirá de base para gestionar el mantenimiento preventivo, minimizando los incidentes por mantenimientos correctivos.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY DE LA EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE

1.1. Reseña histórica

Su construcción se inició en abril de 1977, durante el gobierno del general Kjell Eugenio Laugerud García. Fue concluida el 27 de noviembre de 1983. La hidroeléctrica fue construida con el objetivo de generar energía barata utilizando los recursos naturales existentes, y para satisfacer la creciente demanda de electricidad.

Esta construcción, considerada la obra más grande de ingeniería en la historia de Guatemala. La presa se ubica en la confluencia de los ríos Chicruz, Salamá y Negro, entre Cubulco; Baja Verapaz, Chicaman; Quiche y San Cristóbal Verapaz; Alta Verapaz. La central hidroeléctrica tiene una capacidad de generación de 300 megavatios. Provee cerca del 26% de la producción nacional de electricidad, que cubre principalmente la denominada Tarifa Social.

Cuenta con cinco unidades generadoras, con una capacidad máxima de 60 MW cada una. Posee un embalse de regulación anual, con una capacidad de 460 millones de m³ de agua que a través de un tramo de túnel de aducción de 26 Km lleva el agua para su turbinamiento a la casa de máquinas. Esta central utiliza una caída neta de diseño de 510 metros y un caudal de diseño de 13.4 m³/seg.

La Central Hidroeléctrica Chixoy así como el resto de las centrales de generación del estado, están administradas por la Empresa de Generación de Energía Eléctrica – EGEE, del Instituto Nacional de Electrificación – INDE.

1.2. Actividades a la que se dedica la Empresa de Generación de Energía Eléctrica

- Administrar, operar y mantener en óptimas condiciones, los activos de generación de electricidad, velando por su conservación e incremento de la capacidad de generación
- Vender su producción de energía eléctrica, la potencia disponible y otros servicios auxiliares, de conformidad con la operación del Mercado Mayorista
- Participar en el mercado eléctrico regional, de conformidad con las políticas comerciales que defina el INDE.
- Coordinar sus programas y actividades con otros agentes del mercado eléctrico relacionados, y las dependencias del estado relacionadas al sector
- Planificar, diseñar, financiar, construir y supervisar las obras de infraestructura necesaria

1.3. Visión y Misión de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica

1.3.1. Visión

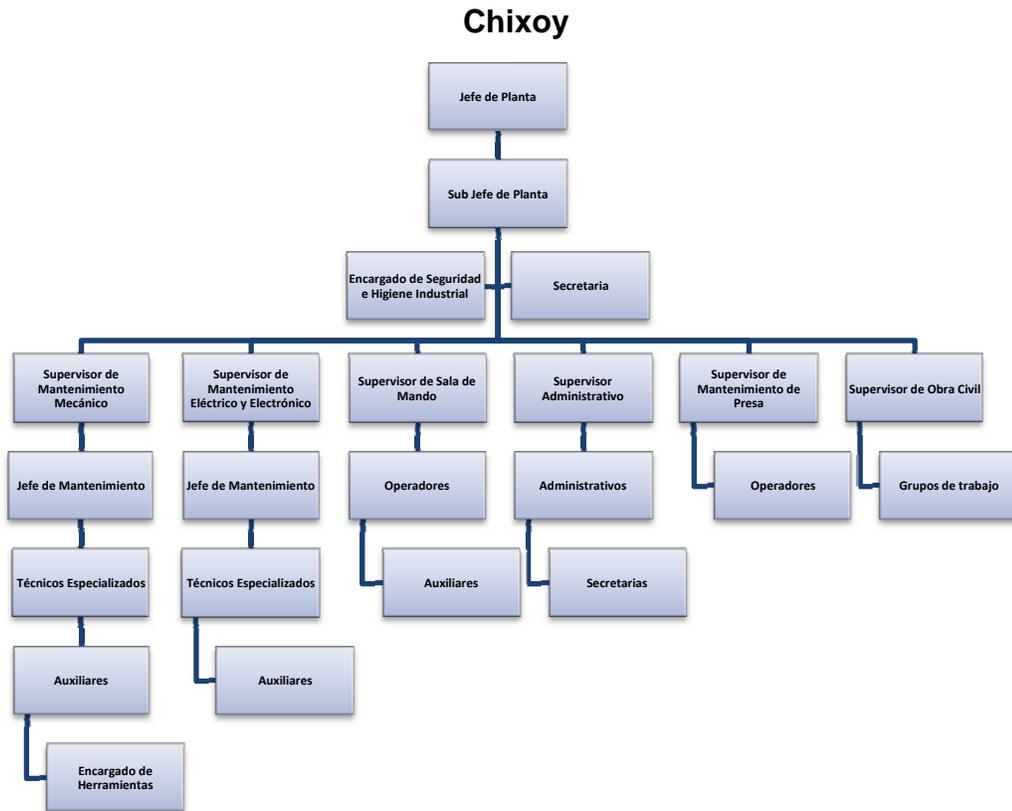
Ser la Empresa Eléctrica Nacional líder e impulsora del desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional, cumpliendo con estándares de calidad mundial, a través de la actualización tecnológica y excelencia de su recurso humano.

1.3.2. Misión

Contribuir al desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional, a través de la producción, transporte y comercialización de electricidad, permitiendo como empresa nacional cumplir con su función social, incrementar la electrificación rural, suministrar un servicio eficiente y de calidad, desarrollar su recurso humano y procurar la disponibilidad de electricidad para el progreso de Guatemala.

1.4. Estructura organizacional de la Central Hidroeléctrica Chixoy

Figura 1. Estructura organizacional de la Central Hidroeléctrica



Fuente: elaboración propia.

1.5. Definiciones de los sistemas de la Central Hidroeléctrica Chixoy de la Empresa de Generación del INDE

1.5.1. Embalse

El embalse ocupa principalmente el valle del río Chixoy, en una longitud de 50 Km con un ancho máximo de 1.4 Km.

- Volumen total de 460 millones de m³
- Volumen útil de 315 millones de m³

El vertedero con compuertas de regulación se ubica en el lado izquierdo de la presa. Con un canal de descarga revestido de hormigón armado lleva el agua hacia aguas abajo del pie de la presa, donde regresa al cauce original del río.

1.5.2. Túnel de aducción

El túnel de aducción comprende el tramo entre la toma de agua (ubicado a unos 600 m. al Suroeste de la presa) y la cámara de válvulas mariposa, se subdivide en tres tramos principales:

- Túnel de aducción parte sur con 7.9 Km de longitud
- Puente para la tubería de Agua Blanca 185 metros de longitud (Diámetro 4.35 m)
- Parte Norte del túnel de aducción con 18.1 Km de longitud

1.5.3. Cámara de válvula

La válvula mariposa es un órgano de cierre de seguridad que protege la tubería cerrando automáticamente siempre que el caudal nominal sea excedido indebidamente, como sea el caso de una rotura de la tubería. Además la válvula mariposa permite el acceso al sistema de tubería de presión y distribuidor sin que haya que vaciar el túnel de aducción y la chimenea de equilibrio.

En condiciones normales de operación la válvula se abrirá y cerrará a una presión aproximadamente equilibrada cuando las válvulas esféricas de protección de las turbinas están cerradas.

El dispositivo de disparo por diferencial de presión está regulado para que el disparo se efectúe cuando la diferencia de presión sea 0,05 bar de la presión máxima de trabajo, lo que corresponde a un caudal de 80 m³/seg, La válvula tiene todavía capacidad para cerrar bajo el caudal máximo de 200 m³/seg.

1.5.4. Casa de máquinas

La Casa de Máquinas se ubica a unos 900 metros de la confluencia del Río Quixal, el cual es afluente del Río Chixoy por su lado derecho.

1.5.5. Sub estación

Se cuenta con una Subestación de alto voltaje, ubicada en la vecindad de la Casa de Máquinas en Quixal, equipada con 5 campos para las unidades generadoras y 2 campos para líneas, de 230 KV:

- 1 Campo para la unidad No. 1

- 1 Campo para la unidad No. 2
- 1 Campo para la unidad No. 3
- 1 Campo para la unidad No. 4
- 1 Campo para la unidad No. 5
- 1 Campo para el circuito 1, línea 230 Kv., Quixal – Guatemala Norte
- 1 Campo para el circuito 2, línea 230 Kv., Quixal – Guatemala Norte

1.6. Conceptos generales

1.6.1. Mantenimiento correctivo

Es aquel que se ejecuta en los equipos para corregir una falla cuando ésta se presenta, los equipos requieren de una reparación para continuar con su buen funcionamiento, y se realiza en forma urgente o planificada.

Características:

- Nace con la industria con la finalidad de corregir fallas y continuar en operación o funcionamiento
- La filosofía de esta técnica es la corrección de la falla en el momento que ocurra
- Con esta filosofía el departamento de mantenimiento genera egresos considerables para la empresa, que deben cargarse al costo final de la generación
- En la actualidad se supone que a nadie le gustaría caer en éste estado de mantenimiento
- Se le llama de apaga fuegos
- No tiene ninguna ventaja
- Requiere de alta disponibilidad del personal de mantenimiento
- Genera alta indisponibilidad no programada

1.6.2. Mantenimiento preventivo

Es aquel que es realizado a los equipos con el fin de conservarlos en condiciones de operación. Aplicando éste mantenimiento se puede detectar posibles fallas y defectos, realizando una programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario.

Características:

- Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos
- La característica principal de éste tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno
- Con un buen mantenimiento preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones y máquinas
- Nace como técnica ante la idea e intención de prevenir fallas súbitas de las máquinas en producción
- Se estima la vida útil de una parte o máquina mediante el esquema de evaluar el tiempo de operación promedio bajo ciertas condiciones operativas y de medio ambiente
- Su filosofía es mantener los equipos en operación aplicando mantenimiento y cambio de partes antes de que la vida útil de estas llegue a su fin

Criterios de programación:

- Lo recomendado por el fabricante
- Intervalos de tiempo predefinidos tratando de anticipar las fallas
- De acuerdo con el número de horas de operación
- Por la estimación de vida útil de las partes
- Se mejora la disponibilidad y confiabilidad
- Los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento
- Disminuyen los tiempos muertos, tiempo de parada de equipos
- Se puede uniformizar mejor la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a que permite la programación de actividades
- Las salidas de los equipos son programadas
- En general se reducen los costos del mantenimiento

Desventajas:

- Se puede caer en un exceso de mantenimiento
- El uso de recursos aun no es muy eficiente

1.6.3. Mantenimiento predictivo

Es el mantenimiento programado y planificado con base en el análisis, muestreo y registro de variables que determinan el estado de la máquina y que se monitorean para predecir la falla, tales variables pueden ser niveles de vibraciones, ruido, temperatura, presión y análisis de aceite.

Características:

- Para esta filosofía de mantenimiento es necesario usar equipos de medición y diagnóstico, como análisis de lubricantes, comprobaciones de temperatura de equipos eléctricos, medición de ruido y vibración

- Se basa en la aplicación de tecnologías que permiten detectar e identificar problemas en las máquinas mediante el monitoreo de señales sin interferir la operación de la unidad
- La mayoría de las mediciones se pueden hacer en línea y algunas otras requieren períodos cortos de indisponibilidad
- Depende en gran medida de los avances en la tecnología
- Con el análisis de las mediciones efectuadas se puede predecir el momento justo económico de la aplicación del mantenimiento
- Aprovecha el antecedente de que la mayoría de los componentes de las máquinas dan alguna señal de alarma antes de fallar

Ventajas:

- Reduce los tiempos de parada
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto
- Toma de decisiones sobre la parada de un equipo en momentos críticos
- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para realizar el mantenimiento
- Facilita el análisis de las averías
- Disminuye al mínimo el costo y control de inventarios
- Permite la planeación anticipada de las actividades previendo condiciones de seguridad

- Incrementa la disponibilidad de las unidades

Desventajas:

- No se cuenta aun con tecnología disponible para la detección de algunas fallas
- En algunos casos requiere algún grado de especialización del personal que opera las herramientas de diagnóstico
- Requiere de una inversión alta. Al tratarse de tecnología de vanguardia normalmente los equipos no son baratos

2. DESARROLLO DEL MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY

2.1. Turbina

2.1.1. Descripción general

Tabla I. **Datos generales de la turbina**

Datos técnicos		
Número de turbinas	5	
Fabricante	SULZER ESCHER-WYSS (Suiza)	
Tipo	Pelton - Eje vertical	
Tipo de máquina	V 1 R6 NA	
No. de máquina	11850 - 11854	
Sentido de giro	Agujas del reloj visto desde arriba	
Cojinetes	2	
Tipo de cojinete	Cojinete del generador es al mismo tiempo cojinete guía y de empuje	
Número de chorros	6 Choros normales	
Chorro de freno hidráulico	1	
Datos técnicos con una máquina en operación		
Salto bruto (máximo)	H stat.	510 m

Continúa Tabla I.

Salto neto	H	507.5 m
Caudal	Q	13.4 m ³ /s
Potencia sin TWD	P	60 MW
Datos técnicos con cinco máquinas en operación		
Salto bruto (máximo)	H stat	510 m
Salto neto	H	445 m
Caudal	Q	13.64 m ³ /s
Potencia sin TWD	P	54 MW
Velocidad de la turbina		
Velocidad nominal	360 rpm	
Velocidad de embalamiento	718 rpm	
Medidas geométricas del rodete		
Diámetro nominal	2320 mm	
Ancho de cangilones	600 mm	
Número de cangilones	21	
Medidas geométricas de la tobera		
Diámetro del chorro	194.4 mm	
Diámetro de la tobera	247 mm	
Carrera de la aguja	154 mm	
Cotas de montaje		
Suelo de galería de restitución	288.500 m	
Eje rodete, entrada	294.000 m	

Continúa Tabla I.

Centro cojinete guía turbina	295.700 m
Acoplamiento turbina/generador	297.200 m

Fuente: datos de placa del equipo.

2.1.2. Rodete

Tabla II. **Datos técnicos del rodete Pelton**

Datos técnicos	
Número de cangilones	21
Peso	9800 Kg
Pernos	16 pretensados hidráulicamente
Material del rodete	
Aleación	Acero altamente aleado
Nombre ASTM	CA - 6NM
Nombre DIN	G-X 5 Cr Ni 13 4
Composición química	Cr =12 - 13.5%, Ni =3.5 - 5%, Mo = max. 0.7%, C = max. 0.07%
Estructura cristalina	Martensita
Fundición	Fundido en una sola pieza y esmerilado exacto según plantillas
Balanceado	Balanceado dinámico exacto

Fuente: datos de placa del equipo.

- Controles:
 - Controlar visualmente el rodete cuando existan desperfectos que ocasionen ruidos o vibraciones

- Origen de desperfectos:
 - Cuerpos extraños en el agua motriz (piedras, arena)
 - Sobrecarga por manipulación errónea (repetida frenada, velocidad demasiada alta)
 - Operación continua por debajo de la velocidad de nominal

- Medidas de precaución (durante la elevación-descenso)
 - Prestar atención a los tubos hidráulicos flexibles par que no se rompan o doblen demasiado
 - El rodete no debe de rozar en ningún lado
 - El carro del rodete debe de estar centrado exactamente debajo del eje

- Mantenimiento al carro del rodete:
 - Engrasar antes de utilizar el carro
 - El cilindro del elevador debe de estar lleno de aceite por ambos lados y sin aire
 - Controlar si hay pérdidas en el sistema hidráulico
 - Buscar desperfectos en los tubos flexibles y cambiarlos
 - Cambiar totalmente el aceite a más tardar después de 5 años de uso
 - Vaciar el tanque en estado caliente
 - Después del cambio de aceite en el tanque realizar una purga

Tabla III. **Tipo de aceite para la parte hidráulica**

Datos técnicos	
Nombre del aceite	ASEOL 16-710 de A. Schmind's Erben, Suiza
Viscosidad	de 25 cSt a 50°C y 7 cSt a 100°
Índice de viscosidad	175

Continúa Tabla III.

Punto de inflamación	190°C
Punto de solidificación	-45°C

Fuente: datos de placa del equipo.

- Reparaciones:
 - Partes sometidas a grandes esfuerzos
 - Partes o secciones del rodete con golpes, cavitación o desgaste
 - Preparación:
 - Examen con líquidos penetrantes;
 - Esmerilado de las partes dañadas;
 - Limpiar las áreas que se vayan a soldar.
 - Fabricación:
 - Soldaduras manuales con electrodos de \varnothing 2.5 - 4mm
 - Material de los electrodos:
 - Electrodo Citochrom 13.4 de Cr=12 - 13.5%
 - Ni=3.5 - 5%, Mo=max. 0.7, C=max. 0.07%
 - Tratamiento de los electrodos:
 - Secados a 300 -350oC durante un mínimo de 4 horas
 - Deberán ser soldados dentro del espacio de tiempo de 2 horas
 - Temperatura de precalentamiento 180 a 230oC
 - En áreas de esfuerzo o grandes áreas, después de la soldadura el rodete debe de ser sometido a un recocido de estabilización
 - Mecanizado tras el recocido

2.1.3. Acoplamiento de fricción

- Descripción:
 - 16 pernos de acoplamiento pretensado que transmiten fuerza mediante fricción
 - Para control de la elongación del perno está instalada una varilla indicadora en cada uno
 - Se mide el diferencial entre el perno de acoplamiento sin tensar y pretensado

- Rodete - eje turbina:
 - El diferencial debe de medir 1.09 -1.2mm:
 - Al final del régimen de prueba
 - Antes de cada cambio de rodete, pero a lo más tardar después de cada 10,000 horas de servicio
 - El alargamiento permanente de un perno de acoplamiento no debe sobrepasar 1.5mm
 - Si el alargamiento permanente sobrepasa 1.5mm el perno de acoplamiento debe de ser sustituido por uno nuevo
 - Pretensado, aflojado:
 - Las superficies de fricción en la brida del eje y en el rodete deben de estar limpias y secas
 - Todos los pernos y tuercas deben de estar numerados (identificados)
 - Las bridas del eje, el rodete y rotor del generador deben de estar también identificadas

- Eje turbina-generador:
 - El diferencial debe de medir 0.68 -0.75mm:
 - Al final del régimen de prueba
 - Antes de cada desmontaje del acoplamiento, pero a lo más tardar después de cada 30,000 horas de servicio
 - El alargamiento permanente de un perno de acoplamiento no debe sobrepasar 0.95mm
 - Si el alargamiento permanente sobrepasa 0.95mm el perno de acoplamiento debe de ser sustituido por uno nuevo
 - Pretensado, aflojado:
 - Las superficies de fricción en la brida del eje y en el rodete deben de estar limpias y secas
 - Todos los pernos y tuercas deben de estar numerados (identificados)
 - Las bridas del eje, el rodete y rotor del generador deben de estar también identificadas

2.1.4. Eje de la turbina

Tabla IV. Datos técnicos del eje de la turbina

Datos técnicos	
Peso	11800 kg forjado en una sola pieza
Longitud	3062 mm
Diámetro	638 mm
Pernos	16 pretensados

Fuente: datos de placa del equipo.

- Preparativos para el montaje:
 - Colgar verticalmente del dispositivo de elevación;

- Montar cubeta de aceite con especificaciones;
 - Engrasar ligeramente el eje en los diámetros 640 y 660mm;
 - Atornillar provisionalmente la cubeta de aceite completa sin las chavetas al eje.
- Montar los pernos del acoplamiento.
- Desmontaje:
 - Bajar el eje con las tuercas de acoplamiento sobre el apoyo del eje
 - Como precaución no apoyar el eje sobre los pernos de acoplamiento
- Revisiones después de una avería:
 - Se debe de controlar el eje de la turbina en los puntos críticos
 - Se debe de retirar el material que haya quedado eventualmente adherido
 - En caso necesario se debe de pulir la parte afectada
 - Para una avería grande del cojinete se debe de rectificar de nuevo

2.1.5. Cojinete de la turbina y su lubricación

- Descripción:
 - Cojinete auto lubricante de circulación forzada
 - Cojinete de concha en 2 mitades
 - De acero revestido con metal blanco antifricción
 - Sostenido por el soporte y asegurado con tornillos
 - El aceite capturado sube por los tubos hasta el refrigerador de aceite
 - El aceite proveniente del refrigerador se introduce en el cojinete entre el eje y su revestimiento interno
 - Una derivación del retorno llena un depósito que permite la pre-lubricación

- Tiene detectores de agua por si llegase a penetrar esta
 - El nivel del aceite puede ser controlado con la varilla con la turbina en reposo
 - El termómetro y sensor indican la temperatura del cojinete
 - El termostato acciona la alarma en 2 etapas, alarma y alarma de cierre rápido
 - Para asegurar la compensación de la presión sin ensuciamiento están instalados los filtros
- Preparativos para el montaje:
 - Junta del eje montada completamente inclusive tomas de agua
 - La carcasa de la cubeta de aceite debe estar colgada de la brida del eje correspondiente al lado del generador
 - Sujetar el ángulo de montaje a la tapa de la turbina
 - Limpiar las superficies de ajuste y las roscas de todas las piezas a montar y rociarlas con *Anti-Seize* (Antiadherente)
- Relleno del aceite:

Tabla V. **Características del aceite de lubricación**

Datos técnicos	
Viscosidad cinemática	68 cSt a 40°C
Índice de viscosidad	97
Punto de Inflamación	223°C
Punto de escurrimiento	-24°C

Fuente: datos de placa del equipo.

- Limpiar la varilla indicadora de nivel e introducirla en el taladro
- Deben de permanecer talladas las marcas en la varilla de medición de nivel

Tabla VI. **Niveles del aceite de lubricación**

Niveles	
Mínimo	62 litros
Nivel Normal	100 litros
Máximo	110 litros

Fuente: datos de placa del equipo.

- Vaciado del aceite del cojinete:
 - Vaciar el contenido del recipiente de reserva para arranque de la cubeta abriendo la válvula solenoide;
 - Succionar el aceite de la cubeta a través del orificio para la varilla indicadora de nivel;
 - Vaciar el refrigerador de aceite por medio del grifo de vaciado.
- Reparaciones:
 - Ejecución, medidas, tolerancias y superficies deben corresponder exactamente a los datos de los planos
- Graduaciones y puesta en marcha:
 - Prueba para la impermeabilidad:
 - Arrancar hasta por lo menos la velocidad mínima permitida;
 - Esperar 5 minutos después del paro de la turbina y medir el nivel de aceite;
 - Arrancar hasta por lo menos 180rpm y dejar funcionar por una hora.

- Medir nivel de aceite:
 - Después de una primera puesta en servicio de 1 hora con velocidad nominal de 360rpm, volver a medir

2.1.6. Sello del eje

- Partes principales de la estructura:
 - Casquillo protector
 - Pasadores
 - Anillos de plástico de 8 piezas
 - Anillo intermedio
 - Anillo de sujeción superior
 - Anillo de sujeción inferior
 - Muelle
 - Tubos flexibles
 - Cámara anular de distribución del anillo intermedio

- Funcionamiento:
 - La turbina puede ser accionada siempre y cuando:
 - La presión y el caudal del agua de obturación esté dentro de los parámetros de operación
 - La temperatura en la cámara de obturación no sobrepase el valor máximo prefijado
 - No se puede perder aire a presión a través de la junta durante el régimen de TWD
 - Estando parada la turbina no debe de pasar ni agua ni aceite a través de la junta

- **Controles:**
 - El desgaste de los anillos se da según el grado de suciedad del agua de obturación
 - Es posible controlar el desgaste haciendo mediciones por medio de unas mirillas que tiene previsto
 - Los valores efectivos de presión y caudal de agua de obturación determinan el buen funcionamiento de la junta

- **Control visual:**
 - Solo se puede observar si todas las conexiones bajo presión de agua de obturación son impermeables
 - El agua de obturación debe de salir igual a lo largo de todo el perímetro de la junta

- **Preparativos para el montaje:**
 - La junta del eje es el primer grupo de componentes que se monta después del acoplamiento del eje el generador
 - La carcasa de la cubeta del aceite debe estar colgada
 - El interior de la cubierta de la turbina debe de estar limpio

2.1.7. Tubería de descarga

- **Material:**
 - Tubería fabricada de acero inoxidable
- **Funcionamiento:**
 - Dirige el agua de eventuales crecidas que pudieran ingresar la turbina y cojinete guía hacia el pozo de desfogue

Tabla VII. **Protección anticorrosiva de la tubería de descarga**

Protección anticorrosiva interna	
Código del producto	IPXTFA, IPXTFB
Nombre del producto	Inertol Poxitar F Part A y B
Manufacturación	Sika Limitada
Descripción	Química de 2 componentes de revestimiento resistente de acero y concreto basado en en la resina de epóxica
Protección anticorrosiva externa	
Código del producto	IC553
Nombre del producto	Icosit 5530, Azul RAL 5012
Manufacturación	Sika Limitada
Descripción	Decorativos de alto espesor de recubrimiento para el acero sobre la base de PVC y resina

Fuente: www.sika.ie

2.1.8. **Revestimiento inferior y superior del eje**

- **Peso:**
 - 410 kg
- **Funcionamiento:**
 - Protege la parte inferior del eje de la turbina así como las partes superiores del acoplamiento eje/rodete del agua motriz
 - Cuenta con 3 aberturas de inspección de \varnothing 120mm para el control visual de la junta del eje

- El manto de la guía del agua está atornillada con 24 barras roscadas M20 a la tapa de la turbina
- Los tornillos se deben de desatornillar con cuidado y nunca totalmente
- Controles:
 - En el ajuste de los tornillos y tuercas de sujeción del manto se debe controlar:
 - Al final del régimen de prueba
 - En cada control del rodete
 - La protección anticorrosiva del manto debe de ser controlada anualmente.
- Revestimiento inferior del eje:
 - Impide a las personas tocar el eje rotante
 - Dirige y reparte el aceite que vuelve del refrigerador al cojinete guía
- Revestimiento superior del eje:
 - Impide a las personas tocar el eje rotante

2.1.9. Puntos de medición de velocidad

- Ubicación:
 - Los puntos de medición de velocidad de rotación se encuentran en el revestimiento del eje
 - Los puntos de medición de vibraciones se encuentran sobre el apoyo del cojinete
- Elementos principales del equipo de medición:
 - Captador de vibración (punto de medición)

- Amplificador de vibración con detector de valor limite
- Cables
- Bornes

2.1.10. Toberas

Tabla VIII. **Datos técnicos de la tobera**

Datos técnicos		
Cantidad	6 por turbina	
Diámetro	247 mm	
Longitud de la aguja:	154 mm	
Presión de diseño (presión cinética)		
Lado del agua motriz:	5.74 N/mm ²	58.5 K/cm ²
Lado del aceite a presión:	4 N/mm ²	40.8 K/cm ²

Fuente: datos de placa del equipo.

- Anillos:
 - Anillo de asiento
 - Anillos de retención
 - Anillos de ajuste

- Dispositivo de retroceso:
 - Varilla de retroceso
 - Palanca
 - Cono

- Servomotor:
 - Accionado por aceite
 - La carrera se transmite como señal eléctrica

- Graduaciones:
 - Las graduaciones deben de ser efectuadas en las curvas de mando del anillo de regulación

- Condiciones de montaje
 - Todas las superficies deben de estar limpias y engrasadas ligeramente
 - Prestar estricta atención a que no se deteriore ninguna junta
 - Se le debe de asegurar con pegamento sellador los tapones roscados

2.1.11. Deflector

Tabla IX. **Material del deflector**

Datos técnicos	
Aleación	Acero altamente aleado
Nombre ASTM	CA - 6NM
Nombre DIN	G-X 5 Cr Ni 13 4
Composición química	Cr =12 - 13.5%, Ni =3.5 - 5%, Mo = max. 0.7%, C = max. 0.07%
Estructura cristalina	Martensita

Fuente: datos de placa del equipo.

- Cantidad:
 - 6 por unidad

- Controles:
 - En servicio normal no requiere asistencia ni mantenimiento
 - Los controles han de efectuarse el mismo tiempo que en los rodets y de las toberas
 - Partes que se deben de controlar regularmente:
 - Unión sin holgura con el accionador
 - Asiento fijo de todos los tornillos y pasadores

- Reparaciones:
 - Partes sometidas a grandes esfuerzos
 - Preparación:
 - Esmerilado de las partes dañadas;
 - Limpiar las áreas que se vayan a soldar.
 - Fabricación:
 - Soldaduras manuales con electrodos de \varnothing 2.5 - 4mm
 - Material de los electrodos:
 - Electrodo Citochrom 13.4 de Cr=12 - 13.5%
 - Ni=3.5 - 5%, Mo=max. 0.7, C=max. 0.07%
 - Tratamiento de los electrodos:
 - Secados a 300 -350oC durante un mínimo de 4 horas
 - Deberán ser soldados dentro del espacio de tiempo de 2 horas
 - Temperatura de precalentamiento 180 a 230oC

2.1.12. Cámara del rodete

- Componentes principales:
 - Tapa de la turbina
 - Carcasa de la turbina
 - Puerta derecha
 - Puerta izquierda
 - Tapa del agujero de inspección
 - Consola

- Observaciones:
 - El agujero de inspección no debe de ser abierto, excepto condiciones requeridas
 - Durante un servicio las puertas y la tapa deben de estar fuertemente atornilladas
 - Las roscas de los tornillos de sujeción deben de ser engrasadas antes de atornillarlas
 - Las bisagras deben de ser engrasadas una vez al año
 - Levantar las puertas 10mm en posición semi-abierta y restregar la grasa sobre las superficies deslizantes
 - Controlar la protección anticorrosiva de la parte interna de la carcasa

2.1.13. Techo protector de la tobera

- Componentes principales:
 - Techos protectores
 - Tubería de la tobera de freno
 - Anillo de tobera

- Control:
 - Después de servicio de un deflector por largo tiempo se deben de controlar los tornillos de sujeción

- Montaje y desmontaje:
 - Poner atención a la conexión de la tubería de la tobera de freno y su junta
 - Después de cada desmontaje se deben de engrasar las tuercas de los tornillos de sujeción

2.1.14. Plataforma de servicio

- Componentes principales:
 - Plataforma de servicio
 - Soporte
 - Reja de Servicio
 - Soporte

- Observaciones:
 - En caso de que no se utilicen los soportes, los agujeros deben de ser tapados
 - Los pernos roscados que sobresalen de las placas deben de ser protegidos contra desperfectos
 - No necesita mantenimiento solo protección anticorrosiva

2.1.15. Compuertas

- Componentes principales:
 - Compuertas

- Viga de enganche
- Guías
- Listones de obturación

- Condiciones de funcionamiento:
 - Las guías de las compuertas deben de estar limpias y libres de cuerpos extraños
 - En los listones de obturación no se deben de encontrar cuerpos extraños
 - Las compuertas deben de resbalar fácilmente sobre las guías.
 - Antes y después de cada utilización se debe de engrasar las ruedas de la viga de enganche

- Condiciones para colocar compuertas:
 - Colocar solo cuando la bomba del agua de refrigeración del pozo de la turbina correspondiente esté parada y asegurada contra un arranque involuntario
 - Debe de estar desconectada la alimentación con aire a presión del sistema TWD
 - No se deben de arrancar ninguna turbina estando colocando parcialmente o totalmente las compuertas

2.1.16. Regulador de sobre velocidad

- Componentes principales:
 - Péndulo centrifugo
 - Ballesta
 - Trinquete de embrague
 - Válvula oleo-hidráulica

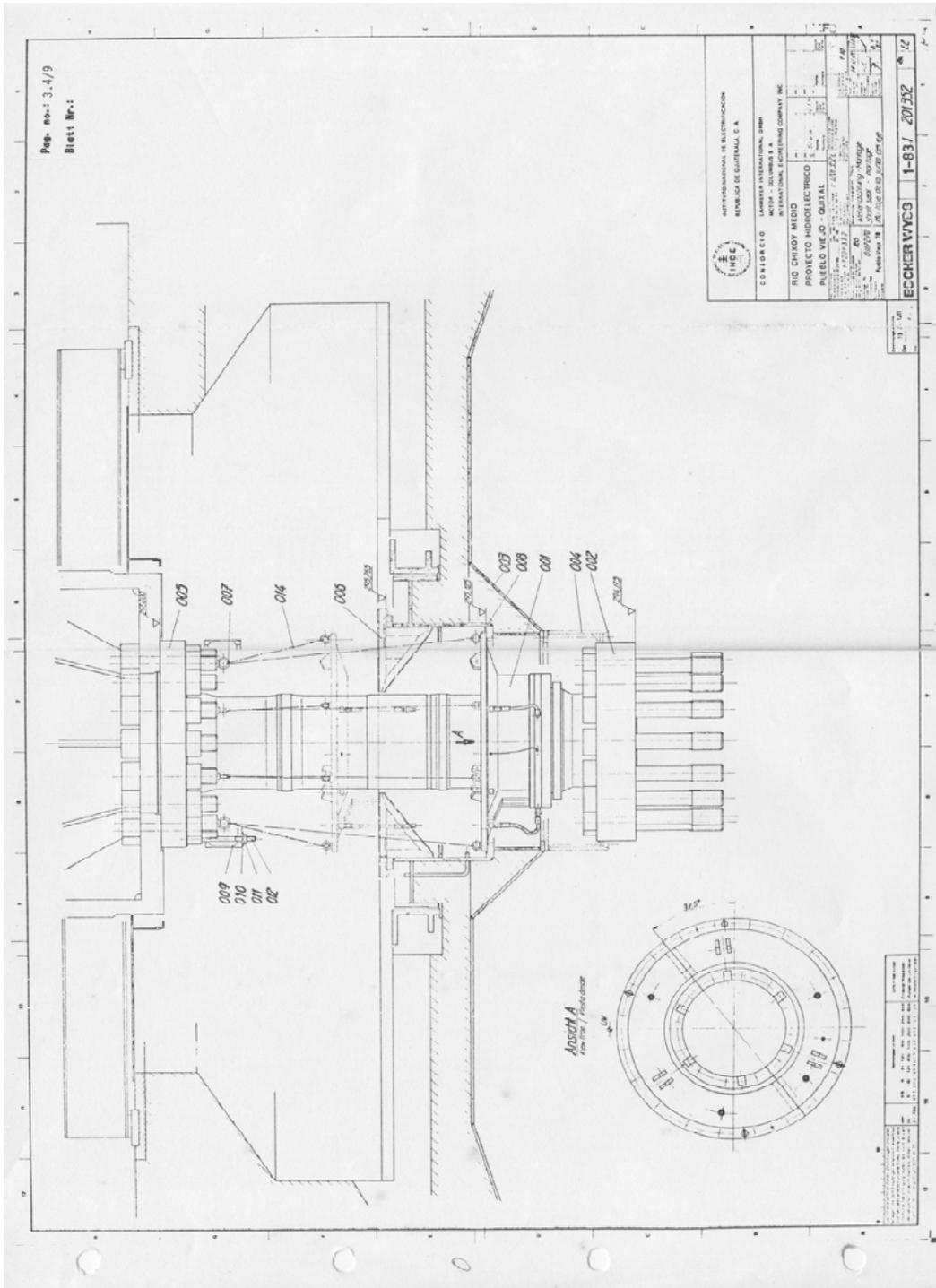
- Graduado sobre una sobre velocidad de 468 rpm
- Control:
 - Un nuevo control de funcionamiento debe ser efectuado cada tres años
 - Después de cada desmontaje y montaje del aparato también necesita un nuevo control

Figura 2. **Rodete de la turbina**



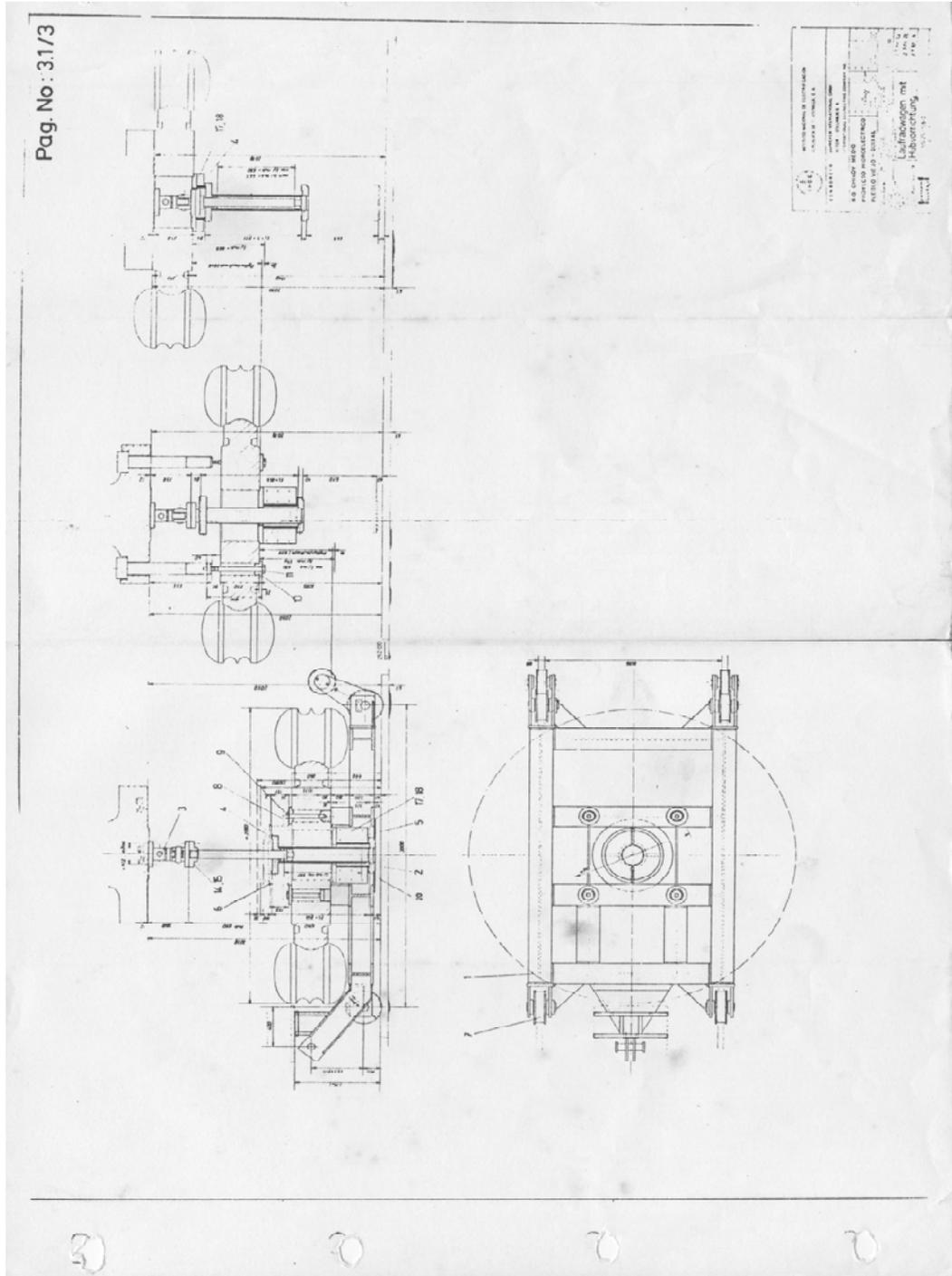
Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta.

Figura 3. Montaje del sello del eje



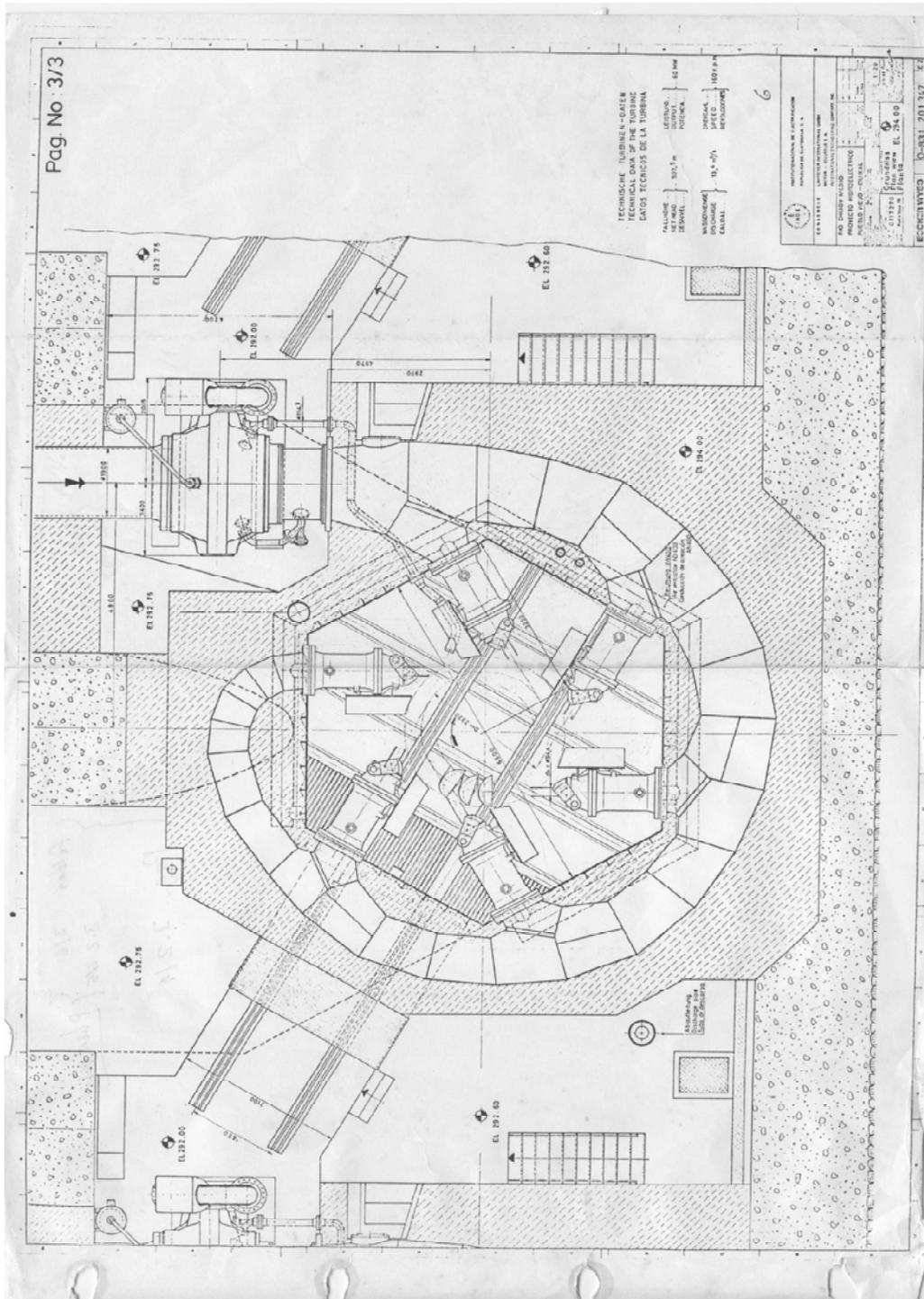
Fuente: Escher Wyss. Tomo 1.1 Turbina. Página 3.4/9.

Figura 4. Carro del rodete con dispositivo elevador



Fuente: Escher Wyss. Tomo 1.1 Turbina. Página 3.1/3.

Figura 5. Planta elevación 294.00 msnm



Fuente: Escher Wyss. Tomo 1.1 Turbina. Página 3/3.

Tabla X. **Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para la turbina**

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración
\ CARCAZA	Inspección de pintura y corrección de daños	1 Año(s)	12 h 00 m
\ COJINETE SERVICIO	Calibración de instrumentos de supervisión	1 Año(s)	8 h 00 m
\ COJINETE SERVICIO	Comprobación nivel de aceite	1 Mes(s)	0 h 10 m
\ COJINETE SERVICIO	Control de holgura nominal (luz)	1 Año(s)	32 h 00 m
\ COJINETE SERVICIO	Control de temperatura de agua de enfriamiento salida	1 Hora(s)	0 h 10 m
\ COJINETE SERVICIO	Control de temperatura del aceite	1 Hora(s)	0 h 10 m
\ COJINETE SERVICIO	Control de presión de aceite	1 Hora(s)	0 h 10 m
\ COJINETE SERVICIO	Control flujo de aceite	1 Hora(s)	0 h 10 m
\ COJINETE SERVICIO	Control flujo de agua de enfriamiento	1 Hora(s)	0 h 10 m
\ COJINETE SERVICIO	Limpieza a todos los tubos y cámaras del intercambiador	1 Año(s)	20 h 00 m
\ COJINETE SERVICIO	Limpieza de filtros de aceite de cojinetes	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ COJINETE SERVICIO	Revisión de fugas de bancada de cojinete	1 Día(s)	0 h 10 m

Continúa Tabla X.

\ COJINETE SERVICIO	Revisión de tanque y sistema de lubricación	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COJINETE SERVICIO	Revisión visual de anillos lubricadores	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ COJINETE SERVICIO	Someter a presión hidrostática el intercambiador	1 Año(s)	8 h 00 m
\ ENFRIADORES	Limpieza a todos los tubos y cámaras	1 Año(s)	84 h 00 m
\ ENFRIADORES	Reapriete de tornillería	1 Año(s)	24 h 00 m
\ ENFRIADORES	Someter a presión hidrostática el intercambiador	1 Año(s)	12 h 00 m
\ TURBINA	Purgado de codos inferiores de entrada	1 Año(s)	3 h 00 m
\ TURBINA	Revisión de disparo por sobre velocidad	1 Año(s)	1 h 00 m
\ CÁMARA DE ACOPLAMIENTO TURBINA-GENERADOR	Limpieza cámara de acoplamiento	1 Semana(s)	2 h 00 m
\ CÁMARA DE ACOPLAMIENTO TURBINA-GENERADOR	Limpieza de los pozos de agujas	1 Semana(s)	2 h 00 m
\ CÁMARA DE ACOPLAMIENTO TURBINA-GENERADOR	Revisión y apriete de tubería de válvulas de regulación	1 Año(s)	3 h 00 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Calibración de instrumentos de supervisión	1 Año(s)	8 h 00 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Comprobación nivel de aceite	1 Mes(s)	0 h 10 m

Continúa Tabla X.

\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Control de holgura nominal (luz)	1 Año(s)	32 h 00 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Control de temperatura de agua de enfriamiento salida	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Control de temperatura del aceite	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Control flujo de aceite	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Control flujo de agua de enfriamiento	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Limpieza a todos los tubos y cámaras del intercambiador	1 Año(s)	24 h 00 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Limpieza de filtros de aceite de cojinetes	1 Año(s)	1 h 00 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Revisión de fugas de bancada de cojinete	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Revisión de tanque y sistema de lubricación	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Revisión visual de anillos lubricadores	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ COJINETE DE ACCIONAMIENTO	Someter a presión hidrostática el intercambiador	1 Año(s)	8 h 00 m
\ DEFLECTORES	Limpieza y lubricación de mecanismo de operación	1 Año(s)	12 h 00 m
\ DEFLECTORES	Revisión de deflectores	1 Año(s)	12 h 00 m

Continúa Tabla X.

\ DEFLECTORES	Revisión pintura anticorrosiva	1 Año(s)	12 h 00 m
\ RODETE	Control de daños	1 Año(s)	60 h 00 m
\ RODETE	Inspección visual	1 Año(s)	12 h 00 m
\ TOBERAS	Cambio de agujas y asiento	4 Año(s)	36 h 00 m
\ TOBERAS	Cambio de anillos de retención	4 Año(s)	12 h 00 m
\ TOBERAS	Comprobación de ausencia de fugas	1 Año(s)	12 h 00 m
\ TOBERAS	Control de posición aguja-deflector	1 Año(s)	12 h 00 m
\ TOBERAS	Inspección asiento de agujas	1 Año(s)	12 h 00 m
\ TOBERAS	Inspección de agujas	1 Año(s)	12 h 00 m
\ TOBERAS	Revisión de mecanismo de operación, limpieza y lubricación	1 Año(s)	12 h 00 m
\ TOBERAS	Revisión pintura anticorrosiva	1 Año(s)	12 h 00 m

Fuente: personal supervisor y técnico de la planta.

2.2. Válvula esférica

2.2.1. Descripción general

- **Función:**
 - Garantizar el cierre seguro del agua hacia la turbina en condiciones normales y en cualquier deficiencia o disparo

- **Instalación:**
 - Alojadas en espacios separados
 - Sujetas en arrastre de fuerza en la tubería de presión de la parte de agua arriba
 - Atornilladas elásticamente con una brida móvil
 - Puestas en cimiento de hormigón y aseguradas por pernos de fundición

- **Características:**
 - 5 compuertas esféricas, una por unidad generadora
 - 13.64 m³/s es el caudal nominal hacia las turbinas
 - Las compuertas se abren o cierran entre lado arriba y lado abajo cuando hay más o menos compensación de presión
 - El tipo de unión en la base permite un movimiento axial en el campo de dilatación elástica
 - Equipadas de doble cierre de junta
 - El cierre de servicio es gobernado automáticamente
 - Para abrir y cerrar la compuerta, se gira el rotoide redondo cada vez de 90⁰ grados

Tabla XI. **Datos técnicos de la válvula esférica**

Datos técnicos	
Diámetro nominal	1,300 mm
Presión de construcción	57.40 bar
Presión de prueba	86.10 bar
Caudal nominal	17 m ³ /seg
Presión del aceite reguladora	27-40 bar
Tiempo de apertura	30-120 seg
Tiempo de cerradura regulable	30-120 seg
Peso total de todas las 5 compuertas esféricas con accesorios	280 toneladas

Fuente: datos de placa del equipo.

2.2.2. Partes principales de la válvula esférica

- Caja de la compuerta esférica:
 - Ejecutada con electro acero moldeado aleado
 - Forma esférica (con refuerzos de los nervios)
 - Bipartida con separación de la caja mediante los cojinetes giratorios
 - Bridas para el empalme con el tubo a presión y tubo de desmontaje
 - Partes soldadas en la caja:
 - Carcasa soldada para el alojamiento del rotoide
 - Bridas para la línea de envase
 - Tobera de frenado
 - Toma del agua de mando y ventilación

- Rotoide:
 - Ejecutado en electrodo moldeado aleado
 - Contorno esférico sin nervios
 - Pasada de agua absolutamente lisa
 - Espigas fundidas con soldadura de recargue inoxidable en zona especial
 - Las juntas están equipadas con anillos recambiables desenroscados en acero inoxidable

- Cojinete giratorio principal:
 - Envueltas de cojinete recambiables estaño-plomo-bronce
 - Hechas para cargas altas
 - Óptimas propiedades de resbalamiento de emergencia
 - Resistentes a la corrosión
 - Engrasado automático
 - Juego exterior de las faldas garantiza el estancamiento total del cojinete giratorio
 - Faldas recambiables con tubo a presión
 - Disco de leva acciona la bomba de engrase central
 - Bomba abastece a los dos cojinetes giratorios con la grasa correspondiente

- Junta de servicio:
 - Ejecutada con acero inoxidable
 - Sirve de obturación completa de la compuerta esférica cerrada
 - Anillo de la junta movable está formado como pistón a doble efecto
 - Anillo de la junta montada sólidamente y está atornillado en el rotoide
 - Partes de guía en la caja y las del anillo de soporte de la junta recargadas en acero inoxidable

- Cámara a presión los anillos de junta se acercan cerrando herméticamente
- Cámara descargada los anillos de junta se separan
- Anillos de junta presenta diferentes durezas

- Junta de revisión:
 - Ejecutada en acero inoxidable
 - Funciona como dispositivo de obturación de la compuerta cuando se hacen revisiones o paradas por tiempos prolongados
 - Anillo de la junta movable está formado como pistón a doble efecto
 - Anillo de la junta montada sólidamente y está atornillado en el rotoide
 - Partes de guía en la caja y las del anillo de soporte de la junta recargadas en acero inoxidable
 - Cámara a presión los anillos de junta se acercan cerrando herméticamente
 - Cámara descargada los anillos de junta se separan
 - Anillos de junta presenta diferentes durezas

- Pistón anular:
 - Diseñado para que ninguna de las partes impulsoras metálicas puedan resbalar unas sobre otras
 - El atornillamiento permite que ninguna de las fuerzas de reacción sean transmitidas a la base
 - Forma circular de los segmentos permite una transmisión directa sin articulaciones
 - Abertura y cierre es accionado con agua a presión
 - Inmediatamente después del abrir la compuerta ambos lados del pistón son puestos bajo presión

- Accionamiento del pistón anular:
 - Caja del pistón anular:
 - Fabricado con electro acero moldeado
 - Provista con las acometidas a presión necesarias para el mando y los enjuagues
 - Palanca del pistón anular:
 - Ejecutado con electro acero moldeado aleado
 - Con chapa cobertura en la parte circular
 - Con tapa final en la parte del cojinete
 - Palanca montada en el pivote de rotoide, enclavijada resistente a la torsión
 - Segmentos del pistón:
 - Ejecutado en acero bonificado
 - Superficie de rodadura cromada dura y pulida
 - Tapas del pistón anular:
 - Fabricado con electro acero moldeado
 - Cierran ambas caras a presión de la caja del pistón anular
 - Alojadas las guarniciones obturadoras, recambiables
- Tubo de desmontaje:
 - Ejecutado con acero de grano fino soldado y recocido sin tensión
 - Elemento de desmontaje durante las revisiones en la junta de servicio
 - Equipada con racores
- Instalación envasora:
 - Envasa el tubo de desmontaje y las entradas de la turbina
 - Sirve para obtener una compensación de presión equivalente en ambos lados de la compuerta

- Componentes principales:
 - Compuerta de revisión
 - Caja
 - Cuña en acero bonificado y acero de construcción
 - Partes de junta
 - Husillo de compuerta en acero inoxidable
 - Tubo arqueado de envase
 - Compuerta envasora
 - Caja y servomotor
 - Aguja de la válvula y el asiento de la válvula
 - Tubo de envase recto

- Instalación a la tobera de freno:
 - Compuerta de revisión, caja y cuña
 - Compuerta de la tobera de freno, caja y servomotor, accionada por presión de aceite
 - Aguja y asiento de la válvula
 - Limitador de desplazamiento mecánico

- Tapa ciega:
 - Hecha en acero de construcción de grano fino
 - Emplea tornillos prisioneros, tuercas, justas de goma

- Instalación de filtración del agua a presión lado arriba:
 - Toma del agua de mando por encima de dos compuertas de cierre superior de la caja de la compuerta esférica hasta el recipiente de arena
 - El recipiente contiene todos los enlaces para el agua de mando, enjuague y ventilación

- Desde cada recipiente de arena hay una línea separada al mando hidráulico de la compuerta esférica y sus instalaciones auxiliares
 - Caja y cuna de las compuertas de toma de agua de mando están en acero bonificado y acero de construcción
 - Partes de juntas y husillo están ejecutados en acero inoxidable
 - El agua de mando lado arriba sirve al cerrar de la compuerta esférica
- Instalación de filtración del agua a presión lado abajo:
 - Se efectúa la toma de agua de mando por encima de una válvula de cierre desde el tubo envasor y el racor del tubo de desmontaje al filtro lado abajo
 - El filtro está ejecutado con acero de construcción con suplemento filtrador grueso y fino en acero inoxidable
 - Contiene todos los enlaces para el agua de mando, enjuague y ventilación
 - Cada filtro conduce una línea de mando separada al mando hidráulico de la compuerta esférica y sus instalaciones auxiliares
 - La válvula de toma de agua de mando está hecha totalmente de acero inoxidable
 - El agua de mando lado abajo sirve al abrir de la compuerta esférica y al mando de la válvula de enclavamiento

Figura 6. **Válvula esférica**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta.

Tabla XII. **Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para la válvula esférica**

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Comprobar operación de los mandos electro hidráulicos	1 Día(s)	0 h 10 m
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Control de funcionamiento de instrumentos de supervisión	1 Día(s)	0 h 10 m
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Revisión de depósito de grasa	6 Mes(es)	1 h 00 m
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Purgado de tanque de agua de mando	2 Semana(s)	1 h 00 m
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Purgado de interior de carcasa	2 Semana(s)	1 h 00 m
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Limpieza y conmutación de filtro de agua de mando	2 Semana(s)	1 h 00 m
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Limpieza, protección y pintura	1 Año(s)	36 h 00 m
\ DESARENADOR	limpieza interna por drenaje (purga)	1 Año(s)	24 h 00 m
\ DESARENADOR	Limpieza del filtro	1 Año(s)	12 h 00 m
\ JUNTAS DE LA VÁLVULA ESFÉRICA	Comprobar estado de los empaques	1 Año(s)	12 h 00 m
\ MANDO HIDRÁULICO	Limpieza interior del panel	1 Mes(s)	4 h 00 m
\ MANDO HIDRÁULICO	Engrase de pistones de servomotor y articulaciones	1 Año(s)	0 h 30 m

Continúa Tabla XII.

\ SERVOMOTORES DE CIERRE Y APERTURA	Purgar cámara pistón de apertura	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ SERVOMOTORES DE CIERRE Y APERTURA	Purgar cámara pistón de cierre	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ SERVOMOTORES DE CIERRE Y APERTURA	Limpiar pistones cromados	1 Año(s)	1 h 00 m
\ VÁLVULA DE DESVIACIÓN (BY-PASS)	Purga válvula de desviación	1 Año(s)	12 h 00 m
\ VÁLVULA DE DESVIACIÓN (BY-PASS)	Limpiar y engrasar eje del pistón	1 Año(s)	12 h 00 m
\ VÁLVULA DE DESVIACIÓN (BY-PASS)	Cambio de los empaques (<i>o'rings</i>)	1 Año(s)	1 h 00 m
\ VÁLVULA DE DESVIACIÓN (BY-PASS)	Inspección de flujos de aceite de tubería	1 Día(s)	0 h 10 m
\ VÁLVULAS DE COMPUERTAS PRINCIPALES	Engrase de eje con rosca	1 Año(s)	2 h 00 m
\ VÁLVULAS DE COMPUERTAS PRINCIPALES	Engrase de turca principal	1 Año(s)	2 h 00 m

Fuente: personal supervisor y técnico de la planta.

2.3. Gobernador

2.3.1. Descripción general

- Regulador:
 - Genera fuerza en los servomotores de los deflectores y la agujas para posicionarlos
 - El grupo de bombas introduce aceite al acumulador del aceite a presión
 - El acumulador de aceite a presión mantiene la presión de trabajo entre 34-37 bar
 - Dispositivo manual que permite la apertura de los deflectores y agujas a un valor máximo permitido

- Servomotores:
 - Servomotor del deflector accionado por una válvula de distribución
 - Servomotores de de las agujas son accionados por las válvulas de mando
 - Servomotores de las agujas cierran si se quedan si aceite a presión
 - Servomotor del deflector dotado con cilindro de cierre accionado por agua
 - En caso de pérdida de presión de aceite el agua empuja a las agujas en posición de cierre
 - Diafragmas instalados de manera que los servomotores no cierren demasiado rápido

- Circuito de regulación:
 - Medición de la velocidad de la turbina por medio del sensor digital de velocidad y rueda dentada

- El sensor transmite impulsos electromagnéticos (1 Diente = 1 impulso) al Regulador Electrónico
- La platina de medición transforma la señal digital en señal analógica
- A un cambio de velocidad hay un cambio en la señal eléctrica a la servo válvula
- La servo válvula transforma la señal eléctrica en señal hidráulica proporcional
- La señal hidráulica acciona la válvula de distribución del deflector a través del servomotor
 - Apertura:
 - La válvula de distribución dirige el aceite a presión del acumulador de aceite al servomotor del deflector
 - El cilindro de apertura y el émbolo del servomotor son impulsados en dirección de apertura
 - Cierre:
 - La válvula de distribución dirige el aceite a presión del cilindro de apertura al tanque
 - La presión del agua en el cilindro de cierre empuja el émbolo del servomotor a dirección de cierre
- Posición del émbolo:
 - Eléctricamente a través del transmisor de la señal de remoto
 - Mecánicamente por medio de un vástago de sujeción al dispositivo manual de mando
- Accionamiento del servomotor del deflector:
 - Directo a los 6 deflectores:
 - La posición de los deflectores se retransmite directamente al Regulador Electrónico

- Indirecto a las 6 agujas:
 - Accionamiento de las válvulas de mando
 - Posicionan los servomotores de las agujas
 - Posición de la aguja se transmite mecánicamente a la válvula de mando
 - Comparación de valor nominal/valor efectivo se da en la válvula de distribución
- Parte hidráulica:
 - 1 Depósito de aceite de regulación, dentro están instalados:
 - Abastecimiento de aceite a presión
 - Grupos motor-bomba
 - Regulador de presión
 - Válvula de presión mínima
 - Acumulador de aire
 - Presostatos
 - Filtros de presión
 - Tuberías
 - Válvulas de mando:
 - Válvula de distribución
 - Válvula de cierre de emergencia
 - Válvula de cierre rápido
 - Válvula manual de emergencia
 - Varias válvulas de mando auxiliares
 - Dispositivo manual de mando
 - Tablero de mando con instrumentos
 - Colector de aceite
 - Diversos elementos de supervisión para:
 - Nivel de aceite

- Temperatura del aceite
 - Grupo bomba aceite de refrigeración
 - Caja de bornes
- 1 Acumulador de aceite a presión completo con:
 - Indicador y supervisor de nivel
 - Válvula de nivel mínimo
 - Manómetro
 - Válvulas de cierre
- 1 Servomotor del deflector:
 - Anillo de regulación con curva de mando
 - Deflector de aguja
- 6 Válvulas de mando de la aguja (válvulas de escalón):
 - Servomotor de la aguja
 - 1 depósito de aceite de fugas
 - 1 Armario de bornes de turbina
 - 1 Lote de tuberías externas

2.3.2. Regulador hidráulico

Tabla XIII. **Datos técnicos del regulador hidráulico**

Datos técnicos	
Tipo	P1-6/WO
Trabajo de regulación del deflector	26000 Nm
Trabajo de regulación de las agujas	6 x 15000 Nm
Presión de servicio	37 a 34 bar

Continúa Tabla XIII.

Presión final	27 bar
No. de serie	1348
No de regulador	5528/5529/5530/5531/5532
Año de construcción	1980
Dimensiones	
Largo	2400 mm
Alto	1814 mm
Ancho	3080 mm
Peso sin aceite	Aproximadamente 5400 kg
Peso con aceite	Aproximadamente 7400 kg
Volumen máximo de aceite	Aproximadamente 2500 L

Fuente: datos de placa del equipo.

- Bomba de aceite a presión:
 - Accionada por un motor trifásico
 - Montadas verticalmente
 - Transportan el aceite al acumulador del aceite a presión
 - Al arrancar la turbina se arranca solo la bomba principal
 - Se detiene cuando la turbina ya está otra vez parada
 - Si la presión de servicio es 34 bar el regulador de presión conmuta para dirigir el aceite al acumulador
 - El regulador maniobra tan pronto alcanza la presión superior
 - Si desciende la presión durante el servicio, el presostato arranca la bomba de reserva
 - La bomba de reserva mantiene la presión mientras la turbina está parada, esta arranca a 32 bar y para los 36.5 bar

- Las válvulas de retención permiten flujo libre desde la bomba a el acumulador
- Las válvulas de retención impiden el vaciado del acumulador
- El aceite a presión de la bomba pasa durante el proceso de relleno del acumulador
- La válvula manual se encuentra en servicio siempre abierta
- Válvula manual solo se puede cerrar durante revisiones

- **Tabla XIV. Datos técnicos de bomba de regulador hidráulico**

Datos técnicos	
Cantidad	2
Tipo	ALLWEILER De husillo helicoidal
Presión de servicio	37 – 47 bar

Fuente: datos de placa del equipo.

- Dispositivo regulador de presión, compuesto por 3 válvulas:
 - Regulador de presión
 - Válvula de mando preliminar
 - Mide la presión del aceite en el acumulador del aceite a presión
 - Válvula de mando para arranque sin presión de la bomba:
 - Válvula conmutadora entre la válvula de mando preliminar y el regulador de presión

- Acumulador de aire:
 - Se encuentra en un volumen de aceite
 - Aceite mantenido bajo presión por medio de una capa de aire
 - El volumen de gas que difunde en el aceite debe de ser repuesto
 - Pérdida de aire se nota pues el nivel del acumulador de aceite se eleva cada vez más

- Supervisión de la presión del aceite:
 - Por medio de presostatos
 - Por medio de una válvula limitadora de presión
 - Por medio de una válvula de presión mínima
 - Visualmente

- Supervisor del nivel de aceite en el depósito de aceite
 - Eléctrico por medio de contacto de nivel
 - Mecánico por medio del flotador
 - Temperatura del aceite
 - Eléctrica por medio de un termostato
 - Óptica por medio de un termómetro

- Tablero indicador y de mando:
 - Ubicado en la parte frontal del regulador hidráulico
 - Instrumentos:
 - 6 Indicadores de posición de la aguja
 - 1 indicador de temperatura del aceite de regulación
 - 1 Indicador de presión del aceite de regulación
 - 1 Indicador doble
 - Valor efectivo posición del deflector, aguja negra
 - Posición dispositivo manual de mando, aguja roja
 - 1 indicador de velocidad de rotación
 - 3 contadores de horas de servicio del motor
 - Aparatos de mando:
 - 1 Válvula manual
 - 1 Válvula selectora de presión
 - 1 Volante manual para el dispositivo manual de mando
 - 1 Válvula de pre-mando manual

- Sistema de refrigeración del aceite:
 - Sistema para mantener la temperatura del aceite de regulación en un valor óptimo
 - Permite una filtración permanente del aceite en la derivación
 - Refrigeración del aceite con agua

2.3.3. Acumulador del aceite a presión

Tabla XV. Datos técnicos del acumulador de aceite a presión

Datos técnicos	
Contenido	1.6 m ³
Presión de servicio	4.0 N/mm ² (=40.8 kp/cm ²)
Presión de diseño	4.5 N/mm ² (=45.9 kp/cm ²)
Presión de prueba	6.75 N/mm ² (=68.8 kp/cm ²)
Acumulador No.	7159/7160/7161/7162/7163
Año de construcción	1980
Altura máxima	3012 mm
Diámetro interior	961 mm
Peso aproximado	1850 kg

Fuente: datos de placa del equipo.

- Descripciones:
 - Mantiene el aceite a la presión requerida
 - Pone a disposición del aceite a presión en caso de movimientos de regulación
 - En operación normal la parte superior está llena de aire
 - En operación normal la parte inferior se encuentra el aceite de regulación
 - En operación normal la válvula manual siempre se mantiene abierta

- En caso de reparación la válvula manual se debe de cerrar
- Contactos conectados a la caja de bornes al pie del acumulador
- Supervisión:
 - Presión:
 - Por medio de presostatos que se encuentran en el regulador
 - Nivel:
 - Por medio del indicador de nivel y dispositivo supervisor de nivel
 - Por medio de la válvula de nivel mínimo

2.3.4. Dispositivo de aceite de fugas

- Descripción:
 - Dos depósitos reúnen el aceite de las fugas de los servomotores y válvulas
 - Transportan éste aceite de retorno al depósito de aceite del regulador
 - El depósito consta de una parte hidráulica (depósito, bomba e interruptor) y un mando eléctrico autónomo
 - La bomba enciende y apaga según el nivel que presente

Tabla XVI. **Datos técnicos del dispositivo de aceite de fugas**

Parte hidráulica	
Volumen máximo de aceite	60 litros
Peso aproximado	40 kg
Dimensiones máximas del armario de la parte hidráulica	
Longitud	530 mm

Continúa Tabla XVI.

Anchura	400 mm
Altura	410 mm 730 mm con motor
Dimensiones máximas del armario eléctrico de mando	
Longitud	600 mm
Anchura	350 mm
Altura	600 mm

Fuente: datos de placa del equipo.

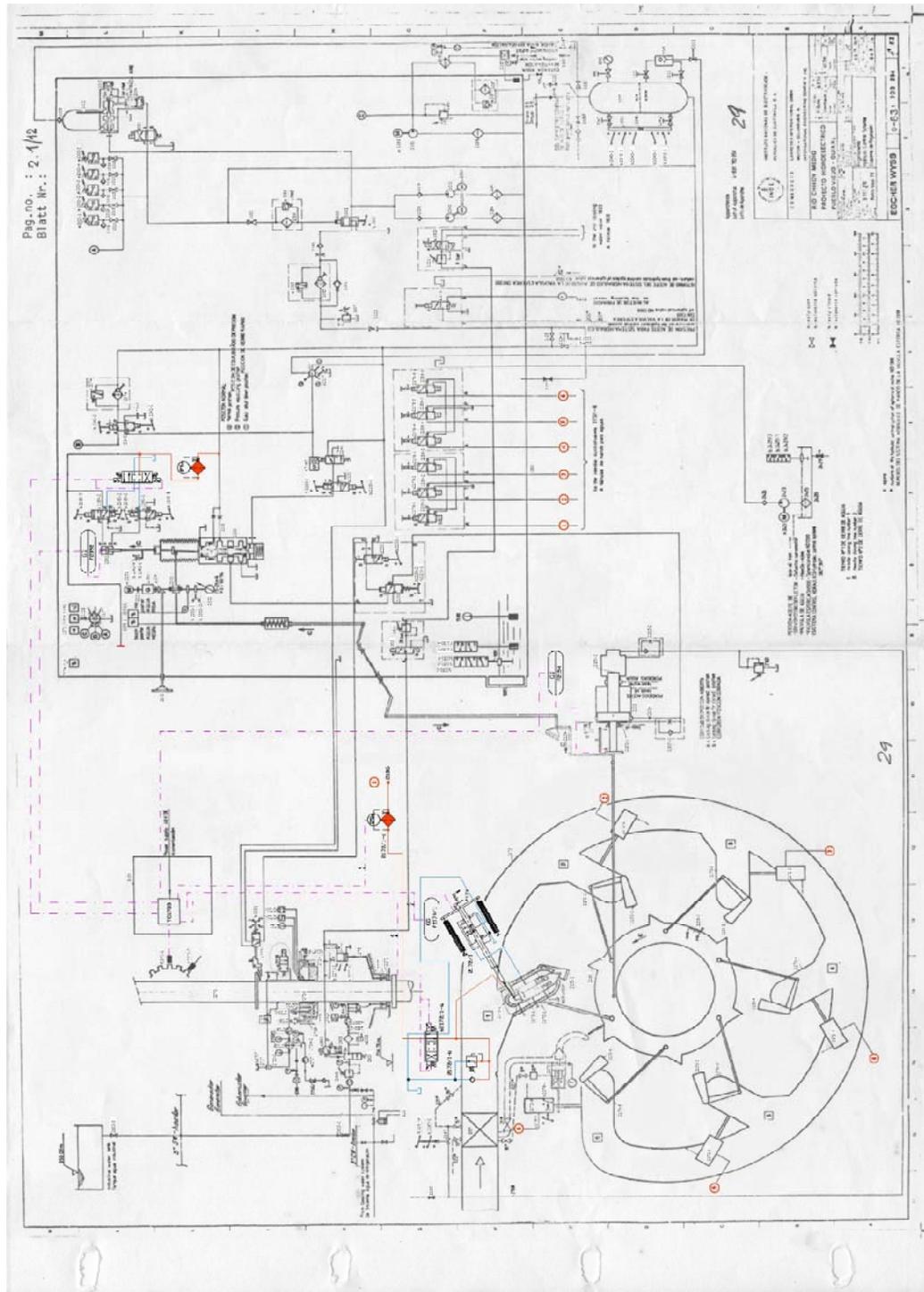
- Mando de la bomba :
 - 1 contador de horas de servicio
 - 1 conmutador manual-automático
 - 2 pulsadores bombas parada-marcha
 - 1 lámpara de señalización servicio
 - 1 lámpara de señalización perturbación
 - 1 conmutador de indicación 0-marcha-control de lámparas
 - 1 cinta calefactora

Figura 8. **Regulador hidráulico de velocidad**



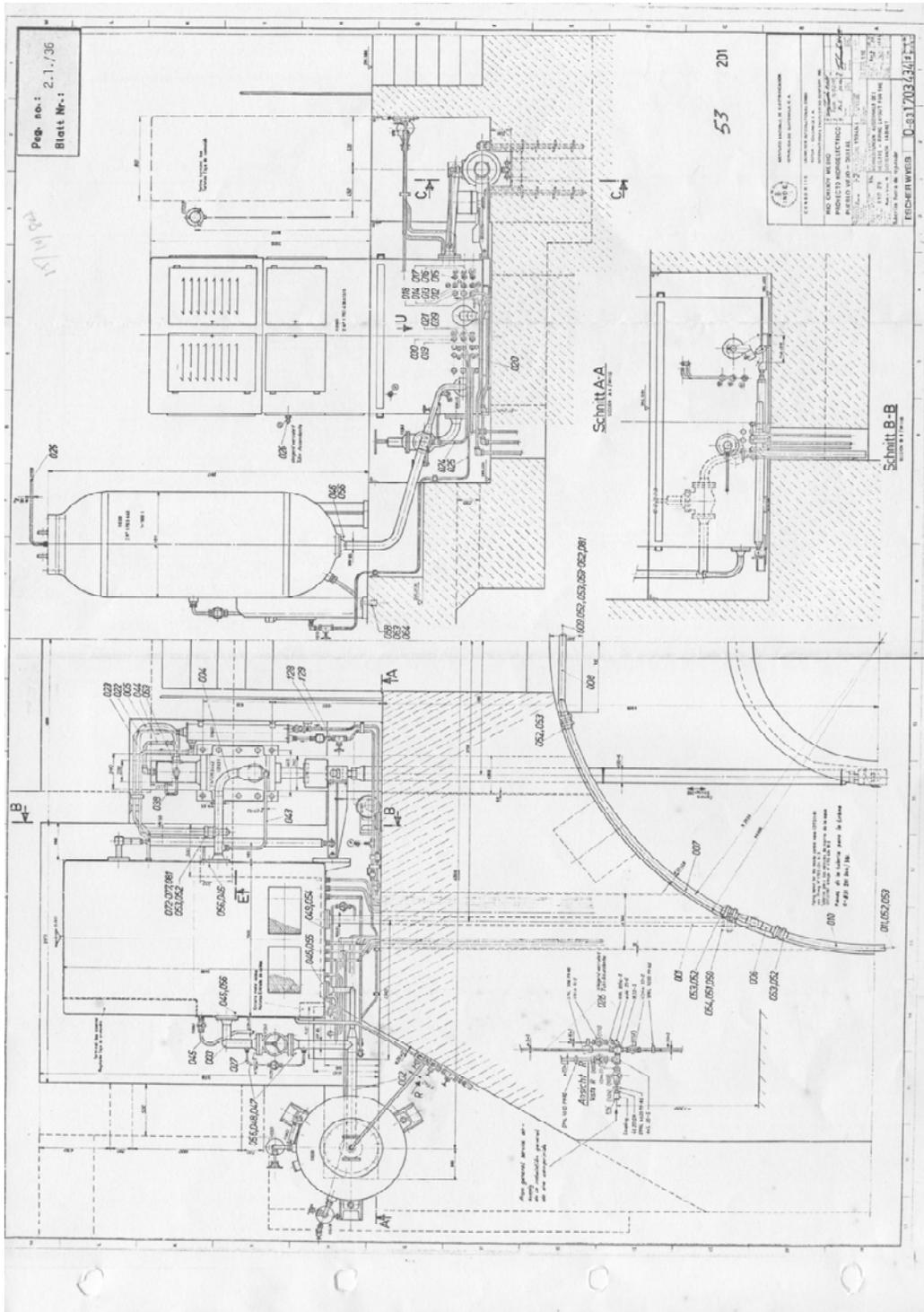
Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta.

Figura 9. Esquema de regulación



Fuente: Escher Wyss. Tomo 3.1 Gobernador. Página 2.1/12.

Figura 10. Gabinete del gobernador



Fuente: Escher Wyss. Tomo 3.1 Gobernador. Página 2.1/36.

Tabla XVII. Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el gobernador

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración
\ REGULADOR HIDRÁULICO	Inspección de los mandos electro hidráulicos	1 Día(s)	0 h 10 m
\ REGULADOR HIDRÁULICO	Control de funcionamiento de instrumentos de supervisión	1 Día(s)	0 h 10 m
\ REGULADOR HIDRÁULICO	Inspección si hay agua en el aceite	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ REGULADOR HIDRÁULICO	Limpieza interior del tablero de mando hidráulico	1 Semana(s)	4 h 00 m
\ ACUMULADOR DE ACEITE A PRESIÓN	Apretar pernos	1 Año(s)	1 h 00 m
\ ACUMULADOR DE ACEITE A PRESIÓN	Control de fugas	1 Día(s)	0 h 10 m
\ BOMBAS Y MOTORES DE ACEITE	Cambio de cojinete	1 Año(s)	12 h 00 m
\ BOMBAS Y MOTORES DE ACEITE	Cambio de filtros de succión diferencial de 5 bar de presión	1 Año(s)	12 h 00 m
\ DEPÓSITO DE ACEITE	Comprobar funcionamiento del nivel de aceite	1 Día(s)	0 h 10 m
\ DEPÓSITO DE ACEITE	Control de fugas	1 Día(s)	0 h 10 m
\ DEPÓSITO DE ACEITE	Limpiar fondo del depósito	1 Año(s)	12 h 00 m
\ DEPÓSITO DE ACEITE DE FUGAS	Cambio filtros de bomba	1 Año(s)	12 h 00 m

Continúa Tabla XVII.

\ DEPÓSITO DE ACEITE DE FUGAS	Limpiar dispositivos de venteo	1 Año(s)	12 h 00 m
\ DEPÓSITO DE ACEITE DE FUGAS	Limpieza general y cambio del cojinete del motor	1 Año(s)	12 h 00 m
\ DEPÓSITO DE ACEITE DE FUGAS	Limpieza general y lubricación de bomba	1 Año(s)	12 h 00 m
\ DEPÓSITO DE ACEITE DE FUGAS	Limpieza interior del depósito	1 Año(s)	12 h 00 m
\ DISPOSITIVO MANUAL DE MANDO	Comprobar, calibra, ajustar operación	1 Año(s)	4 h 00 m
\ FILTROS DE ACEITE	Cambio y limpieza de filtros de aceite	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ INTERCAMBIADOR DE CALOR	Limpieza a todos los tubos y cámaras	1 Año(s)	12 h 00 m
\ INTERCAMBIADOR DE CALOR	Reapriete de tornillería	1 Año(s)	12 h 00 m
\ MANDO HIDRÁULICO	Limpieza interior del panel	1 Mes(s)	4 h 00 m
\ MANDO HIDRÁULICO	Limpieza y comprobación de bloque del deflector	1 Año(s)	12 h 00 m
\ MANDO HIDRÁULICO	Limpieza y comprobación de bloque de agujas	1 Año(s)	12 h 00 m
\ SERVOMOTOR DE AGUJAS	Apretar pernos, limpiar articulaciones y engrasarlos	1 Año(s)	12 h 00 m
\ SERVOMOTOR DE AGUJAS	Cambio de empaquetaduras	2 Año(s)	48 h 00 m

Continúa Tabla XVII.

\ SERVOMOTOR DE AGUJAS	Revisión de impermeabilidad de servomotores	1 Semana(s)	0 h 10 m
\ SERVOMOTOR DEL DEFELCTOR	Apretar pernos, limpiar articulaciones y engrasarlos	1 Año(s)	12 h 00 m
\ SERVOMOTOR DEL DEFELCTOR	Cambio de empaquetaduras	2 Año(s)	48 h 00 m
\ SERVOMOTOR DEL DEFELCTOR	Revisión de impermeabilidad de servomotores	1 Día(s)	0 h 10 m

Fuente: personal supervisor y técnico de la planta.

2.4. Sistema de depresión del nivel por aire comprimido (TWD)

2.4.1. Descripción general

- Descripciones:
 - Se utilizan para bajar el nivel aguas abajo en la en la cámara de la turbina de cada unidad
 - Son 5 grupos independientes colocados sobre plataformas
 - Normalmente los grupos TWD no están en servicio
 - Los grupos TWD arrancan automáticamente
 - La señal de arranque procede de 2 mediciones de nivel independiente instaladas en la turbinas 1 y 3
 - Sistema completo suministrado, montado y puesto en servicio por Escher Wyss
 - Pueden ser accionados tanto manual como automáticamente
 - En modo manual las señales son originadas por medio de pulsadores en el armario de mando TWD
 - En modo automático las señales tienen origen en los contactos de medición de nivel aguas abajo
 - En automático el TWD se pone en marcha al recibir la señal aunque no esté en servicio la turbina principal
 - El estado de operación de cada grupo TWD es visible en el armario de mando
 - Las señales de averías y estados también son visibles en la sala de mando
 - La potencia para cada grupo TWD se gradúa manualmente con el volante de la aguja en cada grupo

- Regulación manual local:
 - Los grupos TWD pueden ser arrancados manualmente tomando en cuenta lo siguiente:
 - Flujo de agua, para la refrigeración y el anillo líquido, existente;
 - Mando y supervisión de la junta del eje en funcionamiento;
 - Medición del nivel en la propia galería de restitución en funcionamiento;
 - Debe haber suficiente personal para garantizar la supervisión de los grupos.

- Componentes grupo turbina / compresor:
 - Turbina Pelton horizontal, de 1 tobera
 - Engranaje reductor de ruedas dentadas cilíndricas
 - Acoplamientos elásticos
 - Compresor de anillo líquido
 - Grifo de bola con accionamiento eléctrico
 - Silenciador de aspiración

Tabla XVIII. **Datos técnicos del TWD**

Turbina	
Tipo	Pelton, eje horizontal
Fabricante	Bell/Escher Wyss
Caída neta	390-510 m
Caudal	0.0231 – 0.0264 m ³ /s
Potencia	75 – 115 kW
Velocidad	1200 – 1925 rpm
No. de turbina	2094 – 2098

Continúa Tabla XVIII.

Engranaje	
Tipo	SEW, tamaño 160
Fabricante	Flender GmbH
Relación de transmisión	$i = 2.04: 1$
Acoplamientos	
Tipo	N-EUPEX, fabricación R
Fabricante	Flender GmbH
Tamaño	200, mn 1340 Nm
Tamaño	250, mn 2800 Nm
Compresor	
Tipo	E 12K
Fabricante	Bell/Escher Wyss
Medio a impulsar	Aire
Volumen de aspiración	1770 m ³ /h
Presión de aspiración	1 bar
Temperatura de aspiración	45 °C max.
Presión final	2,2 bar
Velocidad	610 rpm
Potencia absorbida	75 KW
Caudal anillo líquido (agua)	2 m ³ /h
Presión anillo líquido	2-3 bar
Temperatura anillo líquido	26 °C max.

Continúa Tabla XVIII.

Grifo de globo	
Tipo	DBP
Fabricante	Johannes Erhard
Caudal de paso	0.0264 m ³ /h
Escalón de presión	63 bar
Tamaño	DN 80 mm
Silenciador de aspiración	
Tipo	An 200
Fabricante	Schneider & Co.
Tamaño	Diámetro 200 mm
Longitud	2450 mm
Volumen de aspiración	1800 m ³ /h
Pérdida de presión	5 mm
Válvula de mariposa	
Tipo	310 A P2
Fabricante	Favre & Mathis
Tamaño	DN 400 mm
Presión Nominal	10 bar

Fuente: datos de placa del equipo.

2.4.2. Funcionamiento del sistema TWD

- Arranque del sistema:
 - Cuando el nivel del agua en el canal aguas abajo sobrepasa un nivel determinado

- La medición del nivel manda una señal de arranque a las 5 unidades de TWD
- La señal de arranque tiene lugar tan pronto uno de los sistemas de medición de nivel indiquen el valor límite superior

- Parada:
 - Nivel del agua desciende bajo un nivel determinado
 - La medición de nivel manda una señal común de parada a las 5 unidades
 - La señal de parada tiene lugar después de que ambos sistemas de medición de nivel indiquen el valor límite inferior

- Funcionamiento del control de TWD:
 - Régimen manual:
 - Se mantiene el estado que existía en el momento de conectar
 - Se pueden maniobrar manualmente todos los elementos de la unidad de TWD correspondiente por medio de pulsadores
 - Régimen automático:
 - Toma por sí misma el estado de régimen correspondiente al nivel de aguas abajo
 - El control manual está inactivo
 - El empleo de la unidad de TWD tiene lugar exclusivamente bajo órdenes de la medición de nivel

- Control superior de seguridad:

Si el nivel sube en la propia galería de restitución sobre un nivel determinado los contactos dan la señal para una parada de emergencia

- Agua de refrigeración / Sistema TWD:
 - El empleo del sistema TWD hace necesario que haya agua de refrigeración necesaria para la refrigeración de los engranajes
 - Es necesario que al menos funcione una bomba

2.4.3. Turbina TWD

Tabla XIX. Datos técnicos de la turbina TWD

Datos técnicos	
Caída neta	390 - 510 m
Caudal de agua	0,0231 - 0,0264 m ³ /s
Potencia	75 - 115 kw
Número de revoluciones	1200 - 1925 min ⁻¹
Números de turbinas	2094 - 2098
Tipo de turbinas	h 1R 1N
Rodete	
Aleación	Acero altamente aleado
Nombre ASTM	CA - 6NM
Nombre DIN	G-X 5 Cr Ni 13 4
Composición química	Cr =12 - 13.5%, Ni =3.5 - 5%, Mo = max. 0.7%, C = max. 0.07%
Estructura cristalina	Martensita
Fundición	Fundido en una sola pieza

Fuente: datos de placa del equipo.

- Descripciones:
 - Rodete asegurado contra el giro por una chaveta dispuesta sobre el árbol
 - Sujeto y posicionado entre los discos de los laberintos
 - El árbol está retenido en cojinetes verticales de rodillos de rótula
 - Los soportes del cojinete están soldados y cimentados a la envoltura de la turbina
 - La entrada y los codos han sido ejecutados en una pieza como constitución soldada
 - La aguja de la tobera y la boquilla son de acero inoxidable
 - La carrera de la aguja puede ajustarse a mano por medio de un volante

- Mando:
 - La turbina se arranca con tobera cerrada por abertura de la válvula de bola motorizada
 - Abertura momentánea para saber si a la salida del compresor se obtiene la presión necesaria para reducir el nivel aguas abajo, y si el número de revoluciones del compresor es normal con la presión del agua de propulsión
 - Controlar la turbina a intervalos de 3 horas
 - Daños pueden modificar el ruido durante el funcionamiento o producir vibraciones

- Ensayos y ajustes:
 - Se deberán de efectuar cuando se terminen los trabajos de reparación y revisión
 - Se deberá de proceder siguiendo las instrucciones de puesta en servicio

- **Controles y mantenimiento:**
 - Realizar durante el funcionamiento trabajos de verificación y mantenimiento
 - Verificar el estado de los componentes, especialmente su lubricación
 - El cambio de grasa en los cojinetes exige el desmontaje en el árbol
 - La limpieza de los cojinetes y de la envoltura deberá de realizarse con detergente y solvente sin ninguna impureza
 - Llenado de grasa de los cojinetes debe de ser con extremada limpieza.
 - Para verificar el juego de toberas y del rodete, conviene desmontar el árbol

- **Reparaciones que se pueden realizar:**
 - Se orienta según los trabajos de mantenimiento o de revisión a realizar
 - Cambio de grasa, verificación juego de toberas y rodete
 - Revisión o reparación del juego de toberas
 - Sustitución de los cojinetes de la turbina
 - Montaje de los cojinetes de rodillo a rótula, con casquillos de apriete
 - Revisión o reparación del rodete

2.4.4. Engranaje de ruedas dentadas cilíndricas

Tabla XX. **Datos técnicos del engranaje del TWD**

Datos técnicos	
Fabricante	Flender G.m.b.H. Co, D-4290 Bocholt
Tipo	SEN, tamaño: 160
Relación de transmisión	$i = 2,04: 1$

Fuente: datos de placa del equipo.

- **Fabricación:**
 - Cárter de engranaje de fundición gris
 - Ruedas dentadas cilíndricas con dientes oblicuos, relación hacia menor velocidad
 - Alojamiento de los árboles de ruedas dentadas cilíndricas con 2 cojinetes de rodillos cónicos en cada caso
 - Sello del árbol mediante anillos y anillos de sello
 - Lubricación por inmersión
 - Serpentin de tubos con nervios (en baños de aceite)
 - Sensores de temperatura y regulador de dos puntos con indicación analógica
 - El engranaje sirve para la reducción del número de revoluciones de la turbina al número de revoluciones de funcionamiento del compresor

- **Controles y mantenimiento:**
 - En el engranaje antes de la puesta en servicio deberá de llenarse con aceite

Tabla XXI. **Tipo de aceite para la parte hidráulica del TWD**

Datos técnicos	
Índice de viscosidad	97
Punto de inflamación	265°C
Grado ISO	320
Cantidad de aceite	aprox. 5,3 litros
Tipo de aceite recomendado	Mobilgear 632 (mobil oil)

Fuente: datos de placa del equipo.

- Para la cantidad de aceite a llenar es decisiva la marca de nivel de aceite en la varilla
- El nivel de aceite no deberá descender nunca por debajo de la marca inferior
- Verificar el nivel del aceite cuando el engranaje se encuentra parado y aceite en frío
- Efectuar la inspección del engranaje a los intervalos que se han establecido
- El primer cambio de aceite hacerlo inmediatamente cuando el aceite se encuentre todavía caliente
- Llenar siempre el engranaje con el mismo tipo de aceite utilizado anteriormente
- Limpiar los imanes permanentes de los tornillos de cierre en el punto de salida del aceite durante el cambio de aceite
- Enjuagar el cárter durante el cambio de aceite
- Temperatura del engrane a plena carga de 70 a 80 °C
- Temperatura máxima del aire ambiental de 45°C
- Caudal de agua de refrigeración 3.1 L/min
- Temperatura máxima del aceite y del engranaje 120°C (corto tiempo)
- Poner en marcha los engranes cada 3 semanas cuando no estén en funcionamiento por tiempo prolongado
- Duración calculada de los cojinetes del engrane es de 100,000 horas
- La sobrepresión del agua en el serpentín puede llegar hasta un máximo de 8 bar caudal de agua en el serpentín es de 3-4L/min
- Filtro de aire verificarlo una vez por mes y limpiarlo cada vez que se deposite una capa de polvo

2.4.5. Acoplamientos del TWD

Tabla XXII. Datos técnicos de los acoplamientos del TWD

Datos técnicos	
Fabricante	Flender G.m.b.H. Co., D-4290 Bocholt
Tipo	N-Eupex, fabricación A
Tamaño	200, momento nominal 1340 Nm
Tamaño	200, momento nominal 2800 Nm

Fuente: datos de placa del equipo.

- Fabricación:
 - Cubo y brida de acoplamientos de fundición gris
 - Paquetes de acoplamiento de Perbunan, sustituibles
 - Fabricación del acoplamiento elástico en 3 piezas
- Inspección y mantenimiento:
 - Inspección de los tornillos del acoplamiento cada 6 meses respecto a los momentos de apriete
 - Tornillo de cabeza cilíndrica M12
 - Momento de apriete = 66 Nm
 - Tornillo de cabeza cilíndrica M16
 - Momento de apriete = 142 Nm

2.4.6. Compresor de anillo líquido

Tabla XXIII. Datos técnicos del compresor de anillo líquido

Datos técnicos	
Fabricante	Bell-Maschinenfabrik AG, CH-600 Kriens

Continúa Tabla XXIII.

Tipo	E 12 K
Medio a impulsar	Aire
Volumen de aspiración	1770 m ³ /h
Presión de aspiración	1bar
Temperatura de aspiración	45 ⁰ C max
Presión final	2.2 bar
Número de revoluciones	610 min ⁻¹
Potencia absorbida	75 kW
Caudal anillo líquido (agua)	2 m ³ /h
Presión anillo líquido	2-3 bar
Temperatura anillo líquido	26 ⁰ C max

Fuente: datos de placa del equipo.

- Partes del compresor de anillo líquido:
 - Rotor de fundición esferoidal GGG-42, DIN 7042
 - Cáster, incl. Tapa, de fundición gris GG 20, DIN 0.6020
 - Distribuidor de G-Cu Sn 10, DIN 2.1050.01
 - Árbol de acero CK 35, DIN 17200
 - Casquillo de protección de acero inoxidable en las empaquetaduras
 - Cojinete de rodillos a rótula
 - Empaquetaduras
 - Transductor con indicador y transmisor para indicador a distancia
 - Válvula de paso, válvula de solenoide, grifo y manómetro (en tubería de anillo líquido)
 - Manómetro (lado de presión del compresor)

- Tipo de construcción:
 - Compresor de gas de anillo líquido de doble flujo y actuación doble, de un escalón
 - Árbol y rodete son las únicas piezas giratorias
 - El árbol está alojado sobre rodamientos
 - La estanqueidad del árbol se efectúa por medio de prensa estopas o juntas de anillos deslizantes

- Funcionamiento:
 - El rodete se encuentra centrado en la envoltura con forma de doble elipse
 - El rodete transmite la potencia de la turbina al anillo líquido
 - En el campo de anillo líquido que sale se comprime el gas y sale a través de la ranura de impulsión
 - Compresor debe de recibir líquido constante para poder expulsar el calor que se produce y para poder llenar el anillo líquido
 - Una parte del líquido sale siempre con el compresor juntamente con el gas

- Aplicación:
 - Apropriados para la compresión casi isotérmico de gases y vapores húmedos, sucios, agresivos
 - Producción de aire comprimido exento de aceite
 - Arrastre de componentes no gaseosos como el agua no presenta problema

- Tubería de presión:
 - El gas se encuentra saturado con líquido después del compresor
 - Se precipita condensado durante el proceso de enfriamiento del gas

- La tubería debe de tener una inclinación para que pueda ser drenada del condensado formado
- **Mantenimiento:**
 - Cojinetes suministrados de fábrica con grasa para un funcionamiento de 2000 horas
 - Cada compresor tiene 2 puntos de lubricación
 - Cuando el compresor funciona al aire libre y mucho polvo reducir los plazos de lubricación a la mitad

Tabla XXIV. Características del aceite de lubricación para el compresor de anillo líquido

Datos técnicos	
Tipo de aceite para la lubricación	Grasa saponificada a base de litio
Temperatura de utilización	-20 hasta +120 ⁰ C
Punto de goteo	aprox. 185 ⁰ C
Tipo de grasa	Mobilplex 47

Fuente: datos de placa del equipo.

2.4.7. Grifo de bola

Tabla XXV. Datos técnicos del grifo de bola

Datos técnicos	
Fabricante del grifo de bola	Johannes Erhard, Suddeutsche Armaturenfabrik D-7920 Heidenheim 1
Fabricante del accionamiento eléctrico	Auma Riester KG D-7840 Mullheim

Continúa Tabla XXV.

Tipo	Grifo de bola Erhard DBP
Tipo de engranaje de husillo	SP 2
Tipo de accionamiento de ajuste motorizado	SA6/32
Tamaño:	Diámetro nominal DN = 80mm
Escalón de presión	PN = 63 bar
Caudal de paso	Q = 0,0264 m ³ /s
Fabricación del accionamiento de ajuste motorizado	
Tipo de protección del accionamiento	IP 67
Tipo de protección del motor	IP 67
Corriente trifásica	460 V ± 10 %, 60 H
Corriente nominal	0.9 A
Potencia	0.18kW
Tiempo de ajuste	Abrir - cerrar, aprox. 0.73 min
Temperatura admisible en el ambiente	-20°C hasta +30°C
Giros a mano	Aproximadamente 28 por carrera (para maniobra en caso de emergencia).
Interruptor de par	1 unidad, en cada caso, en la dirección de cierre y apertura
Contactos previstos	1 contacto normalmente cerrado y 1 contacto normalmente abierto
Interruptor de recorrido	1 unidad, en cada caso, en el sentido de cierre y de apertura

Fuente: datos de placa del equipo.

- Fabricación grifo de bola:
 - Cuerpo y machos de grifo de fundición de acero EGS-24 Mn
 - Anillo de soporte, tornillo de anillo de sujeción, árbol de accionamiento y pivote
 - Husillo de acero inoxidable
 - Juntas de Perbunan
 - Casquillos de cojinete de bronce especial exento de zinc
 - Tuerca de husillo de bronce duro
 - Volante de accionamiento de fundición esferoidal GGG-50
 - Dimensiones y espesor de empalme según DIN 2546, PN 64
 - Apropriado para agua de río, presión de funcionamiento 51 bar
 - Temperatura de funcionamiento hasta máximo de 50⁰C
 - Manipulación como válvula de cierre para turbina
 - Desplazamiento del flujo de A hacia B
 - Instalación del aire libre
 - Accionamiento dimensionado para apertura en caso de presión de servicio aplicada a uno de los lados y para el cierre en caso de flujo máximo
 - Grifo de bola apropiado para el llenado de la tubería siguiente sin *bypass* (derivación)

- Desmontaje o montaje y revisión:
 - El grifo de bola solo deberá de colgarse durante el transporte a los tornillos de anillos
 - Durante el transporte es preciso evitar que se produzcan daños por choque
 - El grifo de bola deberá de montarse de manera que coincida con la indicación de la flecha colada sobre la dirección de flujo

- Las bridas de las tuberías deberán de estar paralelas entre sí
- Los tornillos se apretaran uniformemente y en cruz
- Las patas del grifo de bola no son apropiadas para el anclaje ni el apoyo de la tubería
- Enjuagar bien la tubería después del montaje del grifo de bola

2.4.8. Silenciador de aspiración

Tabla XXVI. Datos técnicos del silenciador de aspiración

Datos técnicos	
Fabricante	Schneider & Co. AG, 8401 Winterthur
Dimensiones	AB = 200 mm, longitud: 2450 mm
Ruido del flujo	60 dB (A)
Amortiguamiento del ruido	aprox. 10 dB a 125 Hz aprox. 30 dB a 250 Hz
Cantidad de aire	1800 m ³ /h
Pérdida de presión	aprox. 5mm

Fuente: datos de placa del equipo.

- Fabricación:
 - Tapa de envoltura y chapa perforada de aluminio
 - Envoltura del cuerpo cilíndrico de 3 mm
 - Chapa perforada 1mm
 - Paredes de separación 3mm
 - Relleno de lana mineral
 - Abertura de salida protegida con rejilla
 - Instalación horizontal

2.4.9. Sistemas de tuberías de aire comprimido

- Componentes principales:
 - Tubería de alimentación 1506
 - 6 tubos que se acoplan con acoplamientos Dessler
 - Tubería de conexión por grupo
 - Válvulas de cierre
 - Válvula de retención
 - Manómetros instalados en los manguitos de salida de los compresores

2.4.10. Medición de nivel

- Medición de nivel en el canal común aguas abajo:
 - Transmite las señales de arranque y parada a la automática de TWD
 - Medición de nivel de instalación doble por motivos de seguridad
 - Los puntos de medición se encuentran en alas turbinas 1 y 3.
 - Si uno de ellos mide un nivel alto (292.000m) se ponen en marcha los sistemas TWD
 - Para nuevamente cuando indican nivel normal (291.450m)

- Medición de nivel en el canal propio aguas abajo:
 - Medición de nivel funciona como la del acumulador del aceite a presión
 - Para indicar el nivel está montado un separador y en su extremo un cuerpo magnético sobre el flotador
 - El flotador y el cuerpo magnético están separados 2 m
 - Consiste en 2 tubos que están unidos al lado del agua, respectivamente al del aire

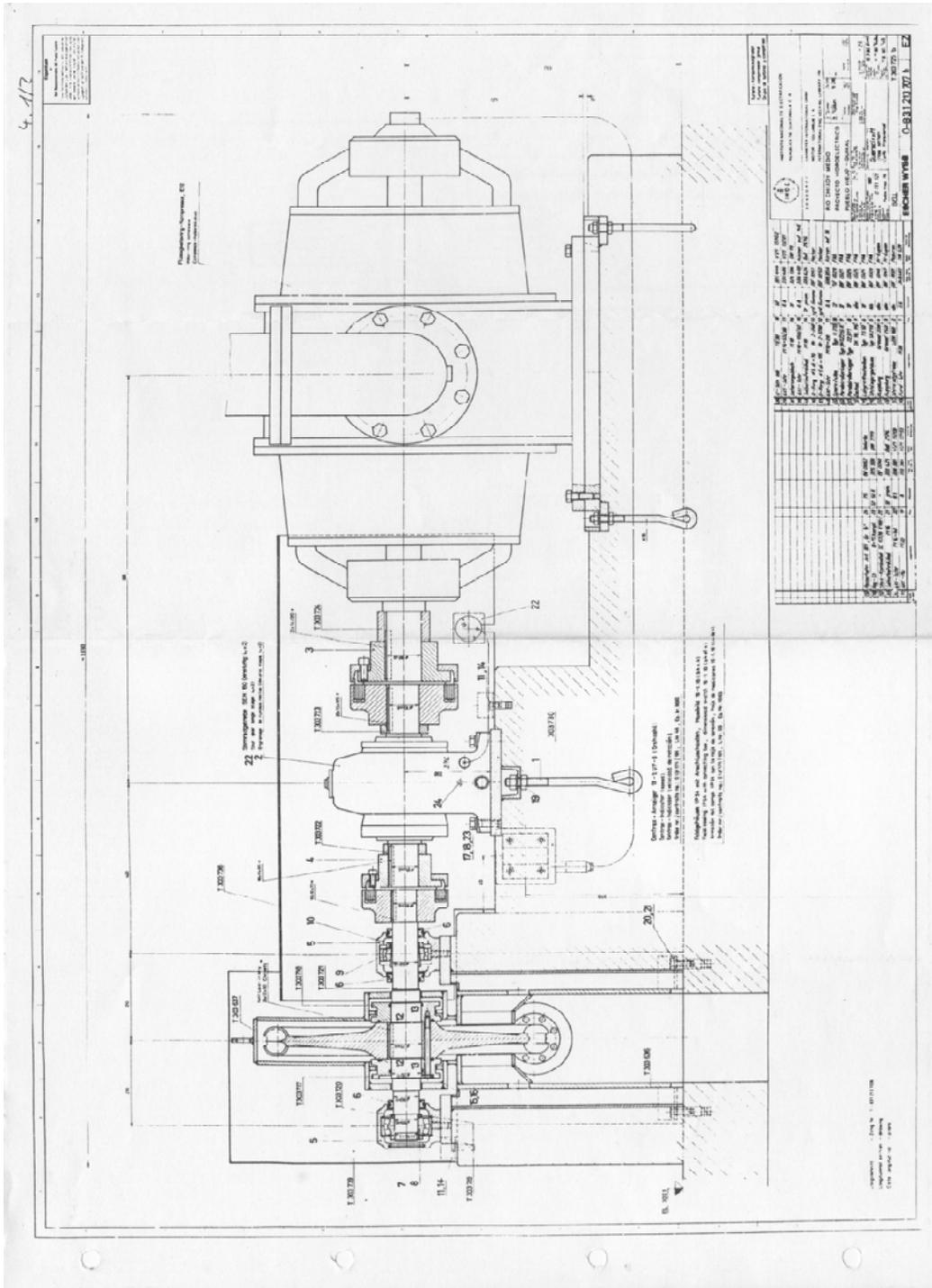
- Tubo no magnético con flotador con imán que trasmite su posición al exterior
- Acciona al indicador de nivel óptico y a los contactos magnéticos del tubo
- El lado del aire del flotador está unido con la tubería de aire comprimido del sistema TWD a la turbina para garantizar el equilibrio de presión y que no produzca fallos al medir el nivel
- El interruptor magnético está en la cota 292.300 que notifica el cierre de emergencia está instalado 2 veces por seguridad

Figura 11. Sistema de depresión del nivel por aire comprimido



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta.

Figura 13. Corte transversal turbina-compresor



Fuente: Escher Wyss. Tomo 4.1 Sistema TWD. Página 4.1/2.

Tabla XXVII. **Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el sistema de depresión del nivel por aire comprimido**

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración
\ TURBINA	Inspección visual del rodete	1 Año(s)	32 h 00 m
\ TURBINA	Cambio de grasa cojinete	1 Año(s)	1 h 30 m
\ TOBERA	Reapriete de pernos	1 Año(s)	2 h 00 m
\ TOBERA	Inspección pintura anticorrosiva	1 Año(s)	1 h 30 m
\ ENGRANEJE	Verificar nivel de aceite	1 Semana(s)	00 h 10 m
\ ENGRANEJE	Cambio de aceite	2 Año(s)	4 h 00 m
\ ENGRANEJE	Reapriete de pernos	1 Año(s)	2 h 00 m
\ ACOPLAMIENTOS	Inspección tornillos de acoplamiento	1 Año(s)	1 h 00 m
\ SILENCIADOR	Limpieza externa	1 Semana(s)	1 h 30 m
\ SILENCIADOR	Reapriete de pernos	1 Año(s)	2 h 00 m
\ COMPRESOR	Limpieza exterior	1 Mes(es)	2 h 00 m
\ COMPRESOR	Cambio de grasa de cojinete c/2100 Hrs	2 Año(s)	4 h 00 m

Continúa Tabla XXVII.

\ COMPRESOR	Reapretar pernos de montaje	1 Año(s)	2 h 00 m
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Inspección, limpieza y reajuste de pernos	1 Año(s)	2 h 00 m
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Engrase de cojinete de boquilla	2 Año(s)	3 h 00 m
\ VÁLVULA ESFÉRICA	Realizar marcha de prueba	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ OPERADOR MOTORIZADO	Inspección, limpieza y reajuste de pernos	2 Año(s)	3 h 00 m
\ OPERADOR MOTORIZADO	Realizar marcha de prueba	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ OPERADOR MOTORIZADO	Medición de corriente nominal y de arranque	2 Semana(s)	00 h 30 m
\ OPERADOR MOTORIZADO	Limpieza y revisión de contactos del contactor	1 Año(s)	1 h 30 m
\ OPERADOR MOTORIZADO	Revisión control manual/automático	6 Mes(es)	00 h 30 m
\ VÁLVULA DE ASPIRACIÓN	Verificar funcionamiento	3 Mes(es)	00 h 30 m
\ VÁLVULA DE ASPIRACIÓN	Limpiar filtro de válvula Lucifer	3 Mes(es)	1 h 30 m
\ VÁLVULA DE ASPIRACIÓN	Verificar fines de carrera	1 Año(s)	1 h 00 m
\ VÁLVULA DE ASPIRACIÓN	Limpiar interior de fines de carrera	1 Año(s)	4 h 00 m

Fuente: personal supervisor y técnico de la planta.

2.5. Sistema de aguas

2.5.1. Descripción general

- Sistemas que utilizan el agua:
 - Sistemas de enfriamiento
 - Aparatos de aire acondicionado
 - Tanques de reserva de agua industrial
 - Sistema de agua potable
 - Sistema de extinción de incendios

- Sistemas que liberan el agua sobrante:
 - Drenajes de la central

- Descripción abreviada de los sistemas de agua:
 - Instalación de bombeo de agua de enfriamiento:
 - Grupo de bombeo
 - Grupo de filtrado
 - Sistema de distribución de agua de enfriamiento:
 - Generador
 - Refrigerador del cojinete de la turbina y aceite
 - Junta del eje
 - Sistema de distribución de agua sin tratamiento:
 - Cierre de la junta del eje
 - Toberas de enjuague de las tuberías de drenaje de fango del filtro rotatorio
 - Instalación de bombeo de agua industrial:
 - Dos bombas
 - Tubería

- Grifería
- Suministro de agua sin tratamiento al piso TWD:
 - Anillo líquido de los compresores TWD
 - Engranajes y cojinetes de la turbina auxiliar
- Tubería de agua industrial:
 - Tubería resistente a la presión
 - Válvulas para la protección
- Junta o tubo de desmontaje:
 - Tuberías de agua de freno
- Drenaje de la central:
 - 2 bombas
 - Tubería con grifería
 - Sistema de medición de nivel en el pozo de drenaje
 - Mando eléctrico
- Tuberías de drenaje de lodos:
 - De los filtros rotatorios a los pozos de salida de la turbina
- Tuberías de descarga de agua de enfriamiento:
 - Para desviar fuera de la central agua ya utilizada
- Tubería de descarga:
 - Para eliminar el agua que se introduce a las carcassas durante crecidas

Tabla XXIII. **Caudales nominales del sistema de aguas**

Datos técnicos	
Agua de refrigeración por generador inclusive cojinetes de carga y de guía	4510 l/min
Agua de refrigeración por turbina para cojinete guía regulador	60 l/min

Continúa Tabla XXIII.

Agua de refrigeración para una bomba de AIN	600 l/min
Agua de refrigeración para un aparato de aire acondicionado	3456 l/min
Agua de servicio por turbina como agua para el sello del eje	60 l/min
Agua de servicio por compresor TWD y engranaje	38 l/min
Agua de servicio para la turbina auxiliar	10 l/min

Fuente: Escher Wyss. Tomo 5.1 Sistema de aguas. Página 2.2/1.

2.5.2. Instalación de bombeo del agua de refrigeración

- Grupo de bombeo
 - 5 Grupos de bombeo y filtrado y una tubería de distribución y equilibrado
 - Instalado en la cota 292.750
 - Las bombas aspiran el agua de refrigeración de los canales de descarga de las turbinas
 - Cualquier combinación de grupo de bombeo y filtrado con las unidades es posible
 - Las válvulas de compuerta serán cerradas solo para la ejecución de trabajo de mantenimiento
 - No se debe de conectar ningún grupo de bombeo y filtrado cuando no esté abierto ningún usuario de agua de enfriamiento
 - Para controlar el ensuciamiento se utilizan indicadores de diferencial de presión
 - El cartucho debe ser limpiado cuando la presión diferencial alcanza 0.5 bar
 - Para evitar daños no sobrepasar la presión diferencial de 1 bar

Tabla XXIX. **Componentes del grupo de filtración y bombeo del agua de refrigeración**

Bomba centrífuga	
Fabricante	KSB
Tipo	B14B/2
Altura	37 m
Flujo	112 L/s
Electromotor	
Fabricante	AEG
Tipo	AM 250 MV
Forma	V1
Protección	IP 44
Tensión	440 V
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1780 rpm
Potencia nominal	63 kw
Filtro grueso	
Fabricante	AKO
Tipo	A065-0002
Cartucho	Po35-1102
Material del cartucho	Acero inoxidable
Diámetro de la malla	4mm
Filtro rotatorio	
Fabricante	Boll & Kirch

Continúa Tabla XXIX.

Tipo	174-10, DN 300
Diámetro de la malla	0.8 mm

Fuente: datos de placa del equipo.

- Operación de las válvulas de mando:
 - Válvula de compuerta 1896:
 - Siempre abierta durante régimen normal
 - Solamente para efectuar trabajos de revisión
 - Válvula de compuerta 1900:
 - Siempre abierta durante régimen normal
 - Solamente para efectuar trabajos de revisión
 - Válvula de compuerta 1900/1:
 - Siempre abierta durante régimen normal
 - Solamente para efectuar trabajos de revisión
 - Válvula de compuerta 1900/2:
 - Siempre abierta durante régimen normal
 - Solamente para efectuar trabajos de revisión
 - Válvula de compuerta 1901:
 - Solamente para enjuagar la tubería de drenaje
 - Normalmente cerrada
 - Válvula de retención 1895:
 - Impide el retorno del agua de refrigeración aguas abajo estando la bomba parada
 - Válvula de retención 1899:
 - Impide la entrada de agua del canal de descarga de restitución
 - Servo válvula del filtro 1893:
 - Solamente durante el enjuague de retorno

- Tubería de distribución y de equilibrado:
 - Hace posible la utilización de cualquier grupo de bombeo y de filtrado junto a cualquier usuario de agua de enfriamiento
 - Los supervisores de flujo están instalados como medida de seguridad
 - En caso que la presión de la tubería baje aproximadamente a 2.5kg/cm^2 , el mando eléctrico debe de arrancar otra
 - En caso que la presión de la tubería alcance un valor superior a 3.2 kg/cm^2 el mando debe de mandar a parar todas las bombas de agua de enfriamiento

2.5.3. Distribución del agua de refrigeración

- Alimentación de los sistemas de distribución a través de la válvula 1820
- El flujo se divide después de la válvula de compuerta 1820
- En la bifurcación se encuentra instalado el presostato para asegurar la presión mínima del agua de enfriamiento hasta la unidad
- La junta del eje debe ser también lubricada y refrigerada durante la marcha por inercia
- Tubería hacia el refrigerador del aceite de regulación
- Tubería al refrigerador del aceite del cojinete de la turbina
- Tubería hacia la carcasa de la turbina para refrigerar el rodete

2.5.4. Instalación de bombeo del agua industrial

- Es importante que la válvula de compuerta (1909) tiene que ser cerrada en cualquier caso antes de poner en servicio otra tubería

Tabla XXX. **Datos técnicos de la instalación de bombeo del agua industrial**

Bombas de aguas industriales	
Cantidad	2
Cota de instalación	301.00 msnm
Bomba centrífuga de baja presión	
Escalones	1
Fabricante	KSB
Tipo	ETANORM 40-200
Altura	60 m
Flujo	10 l/s
Velocidad	3500 rpm
Características	1160.462-183-3
Electromotor	
Fabricante	AEG
Tipo	160 M
Protección	IP 44
Tensión	440 V
Corriente	Alterna, trifásica
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3500 rpm
Potencia Nominal	12 Kw

Continúa Tabla XXX.

Acoplamiento	
Fabricante	Flender
Tipo	EUPEX NH95, con protección de acoplamiento
Presiones	
Presión de entrada	2 kg/cm ²
Presión nominal de diseño	10 kg/cm ²
Presión de salida	no debe de exceder 6.5 kg/cm ²

Fuente: datos de placa del equipo.

2.5.5. Suministro de agua de servicio al piso TWD

- Elementos que refrigera:
 - Compresores
 - Engranajes

- Válvulas involucradas en la conexión:
 - Válvula 1536/4
 - Válvula de retención 1543/2
 - Válvula de cierre 1536/2
 - Válvulas abiertas en régimen normal:
 - Válvula 1536/1, 2, 3, 4
 - Válvulas cerradas en régimen normal:
 - Válvula 1536/3

2.5.6. Drenaje de la central

- Componentes principales:
 - 2 Bombas sumergibles
 - Sistema de tuberías con válvulas
 - Medición de nivel de nivel en el pozo de drenaje
 - Mando eléctrico con caja de borneras
 - Cableado
 - Armario de mando

- Descripciones:
 - Las válvulas 9612/1,2 están siempre abiertas y el mando conecta y desconecta automáticamente las válvulas
 - El Sistema completo de drenaje funciona sin necesidad de mantenimiento
 - Las bombas pueden ser elevadas sin que tengan que ser desmontado el sistema de tuberías
 - Ni al subir ni al bajar las bombas se debe de tirar de los cables eléctricos
 - Nunca dejar caer las bombas
 - Los controles deben de ser efectuados al menos 1 vez al año

Tabla XXXI. **Datos técnicos de bomba sumergible de drenaje de la central**

Datos técnicos	
Fabricante	FLYGT
Tipo	CP 3126-461-HT
Conexión de descarga	DN 100
Altura	18 m máx.

Continúa Tabla XXXI.

Flujo	22 l/s
Velocidad	1750 rpm
Potencia nominal	6.9 Kw
Conexión eléctrica	440 V, trifásica, 60 Hz, 13.4 A

Fuente: datos de placa del equipo.

- Medición del nivel del agua:
 - Medición por medio de 6 flotadores
 - Al alcanzar las cotas de contacto el flotador correspondiente manda una señal

Figura 14. Sistema de agua de refrigeración primaria



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta.

Tabla XXXII. Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el sistema de aguas

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración
\ SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Comprobar funcionamiento del nivel	1 Día(s)	0 h 10 m
\ SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Control de funcionamiento de instrumentos de supervisión	1 Día(s)	0 h 10 m
\ SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Limpieza de pozos de refrigeración primaria	6 Mes(es)	12 h 00 m
\ FILTRO	Limpieza interior	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ INTERCAMBIADOR DE CALOR	Limpieza a todos los tubos y cámaras	1 Año(s)	12 h 00 m
\ INTERCAMBIADOR DE CALOR	Reapriete de tornillería	1 Año(s)	4 h 00 m
\ INTERCAMBIADOR DE CALOR	Someter a presión hidrostática el intercambiador	1 Año(s)	12 h 00 m
\ MOTOR ELÉCTRICO Y BOMBA DE AGUA	Cambio de cojinetes	1 Año(s)	12 h 00 m
\ MOTOR ELÉCTRICO Y BOMBA DE AGUA	Controlar flujo de prensaestopas	1 Día(s)	0 h 10 m
\ MOTOR ELÉCTRICO Y BOMBA DE AGUA	Engrase de cojinete	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ MOTOR ELÉCTRICO Y BOMBA DE AGUA	Inspección de válvula de aireación de la bomba	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ MOTOR ELÉCTRICO Y BOMBA DE AGUA	Limpieza y revisión interior	1 Año(s)	12 h 00 m

Continúa Tabla XXXII.

\ COMPENSACIÓN DE AGUA	Comprobar funcionamiento del nivel	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COMPENSACIÓN DE AGUA	Control de fugas	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COMPENSACIÓN DE AGUA	Control de funcionamiento de instrumentos de supervisión	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COMPENSACIÓN DE AGUA	Limpiar fondo del depósito	1 Año(s)	12 h 00 m
\ MOTOR ELÉCTRICO Y BOMBA DE DRENAJE	Cambio de cojinetes	1 Año(s)	12 h 00 m
\ MOTOR ELÉCTRICO Y BOMBA DE DRENAJE	Controlar flujo de prensaestopas	1 Día(s)	0 h 10 m
\ MOTOR ELÉCTRICO Y BOMBA DE DRENAJE	Engrase de cojinete	4 Mes(es)	0 h 30 m
\ MOTOR ELÉCTRICO Y BOMBA DE DRENAJE	Limpieza y revisión interior	1 Año(s)	12 h 00 m

Fuente: personal supervisor y técnico de la planta.

2.6. Sistema de aire comprimido

2.6.1. Descripción general

- Componentes principales:
 - 2 Grupos de compresores que incluyen:
 - Instrumentos de supervisión
 - Grifería
 - Post-enfriador
 - Accesorios necesarios en régimen manual y automático
 - 2 Tanques de presión:
 - Instrumentos
 - Accesorios
 - 1 Secador de aire:
 - Destinado al Sistema de aire de instrumentación
 - 1 Armario eléctrico de mando para:
 - Régimen manual
 - Régimen automático
 - 1 Sistema de tuberías:
 - Grifería
 - Sujeciones

- División del sistema:
 - Sistema de aire de servicio
 - Sistema de aire de instrumentación

Tabla XXXIII. **Datos técnicos del sistema de aire comprimido**

Compresor	
Tipo	VMOP 160/80 WR-GW, compresor de émbolo de 2 etapas
Producto	HAUG
Volumen aspirado	300 nm ³ /h
Refrigeración	Agua
Cantidad de refrigerante	13 L/min
Rendimiento volumétrico	a 10 bar 210 nm ³ /h
Presión máxima de servicio	16 bar
Presión efectiva de servicio	6.3 - 8.8 bar
Velocidad	1250 rpm
Accionamiento	Motor eléctrico con correa plana
No. de compresores	24 839 – 24840
Motor eléctrico	
Tipo	KA 3200 L-PB 015
Producto	SCHORCH
Tensión	440 V / 60 Hz (Corriente trifásica)
Potencia	37 KW
Velocidad	3400 rpm
Protección	IP 44 / clase F de aislamiento tropicalizado

Continúa Tabla XXXIII.

Acumulador de aire	
Producto	LOHENNER & CO
Volumen	3000 L
Medio	Aire
Presión máxima de servicio	15 bar
Presión de prueba	19.5 bar
No. de fabricación	35 674/1-2
Año de fabricación	1981
Secador de aire	
Producto	HAUG
Tipo	HKT 200 W
Refrigeración	Agua
Cantidad de refrigerante	4 L/min
Conexión eléctrica	220 V/ 60 Hz / 0.98 kW

Fuente: personal supervisor y técnico de la planta.

2.6.2. Compresor

- Descripciones:
 - Produce aire comprimido a una presión media de 7.5 bar
 - Suministran aire al sistema de aire de servicio y de instrumentación
 - Produce aire comprimido completamente libre de aceite

- Émbolos guías lubricados por el cigüeñal con aceite del cárter, absorben las fuerzas laterales
- Los émbolos de compresión corren completamente en seco sobre anillos guía y de compresión de politetrafluoretileno
- La superficie de los émbolos está provista de un aislamiento efectivo contra el calor
- Las válvulas de lengüeta trabajan sin fricción y son inoxidables
- Los cilindros inoxidables con cualidades de deslizamiento sobre los anillos de politetrafluoretileno

- Refrigeración de agua:
 - Refrigeración del aire comprimido por medio de post-enfriador de agua
 - Separación optima del agua condensada con una pérdida mínima de presión si potencia adicional al ventilador
 - Agua sale con una temperatura aproximada de 28⁰C del post-enfriador
 - Temperatura de enfriamiento mejora la duración de los anillos del émbolo y el rendimiento adiabático

- Lubricación y mantenimiento:
 - Lubricación con aceite a presión ofrece aun con potencia alta, un desgaste mínimo en los asientos
 - Diseño de mantenimiento fácil
 - Puntos de mantenimiento se alcanzan fácilmente
 - Manómetros permiten a primera vista una supervisión de la capacidad de funcionamiento de la máquina

- Conexión de tuberías:
 - Las conexiones de agua de alimentación deben de tener una curva 90° en las uniones flexibles
 - La salida de agua puede ser llevada a un depósito abierto
 - Las conducciones deben de protegerse contra corrosión, hasta que el aire sea secado
 - Se recomienda llevar tubería de aspiración al cuarto del compresor

- Puesta en marcha:
 - Correa plana:
 - Quitar la protección de la correa;
 - Las 2 flechas deben de estar a una distancia de 51 cm;
 - Tensión de la cuerda debe de ser de 2% para la duración de la misma;
 - Engrasado:
 - El cárter contiene aproximadamente 3.43 litros de aceite;
 - Se debe de controlar el nivel de aceite;
 - La bomba de aceite está regulada para una presión de servicio de aproximadamente 2 bar.
 - Dirección de giro:
 - Debe de controlarse la dirección de giro marcada con una flecha mediana una breve conexión;
 - Mantener la dirección para asegurar el engrase y la refrigeración.
 - Arranque
 - El compresor dispone de una electroválvula para arranque sin carga;
 - Electroválvula se cierra al pasar el guarda motor de la conexión en estrella a triángulo;

- La presión aumenta lentamente cerrando cuidadosamente las válvulas del circuito del aire comprimido.
- Presiones intermedias:
 - Los manómetros de presión intermedia deben indicar de 2.5 a 3.0 bar;
 - Las diferencias entre presiones intermedias no deben sobrepasar 0.4 bar;
 - Diferencias mayores a 0.4 bar indican defectos en las válvulas.
- Refrigeración por agua:
 - Un caudal inferior a 5 L/min acciona una señal de alarma;
 - El caudal se controla por una válvula de regulación;
 - Mientras el motor esté parado una electroválvula impide el paso de agua.
- Mantenimiento:
 - Engrasado:
 - Después de cada 2500 horas de funcionamiento;
 - En cada cambio de aceite debe de desmontarse y limpiarse el filtro grueso y cambiarse el filtro fino;
 - Después del cambio de aceite ajustar la presión de la bomba a 2 bar aproximadamente;
 - Si con filtros finos la presión de aceite no llega a 1.5 bar se deberá de controlar la bomba y cojinetes de cabeza de biela.
 - Filtro de aspiración
 - Según contenido de polvo deben de cambiarse los cartuchos del filtro seco;
 - Filtros de aspiración sucios traen como consecuencia una notable caída de potencia al compresor.

- Válvulas:
 - La válvula de láminas desmontada puede desprenderse de su fijador;
 - En caso de deterioro en las láminas debe de cambiarse toda la válvula;
 - Al limpiar las partes de la válvula no deben de utilizarse útiles duros;
 - Se recomienda cambiar la junta de la válvula en cada desmontaje de la misma.
- Segmentos del pistón y de guía:
 - Deben de verificarse como máximo después de 5000 horas de funcionamiento;
 - El espesor de los segmentos del pistón del primer escalón no debe de ser menor de 7.5mm;
 - El espesor de los segmentos del pistón del segundo escalón no debe de ser menor de 4mm;
 - A mayor desgaste se disminuye el caudal del compresor;
 - Si los segmentos están gastados hasta la base de sus ranuras deben de cambiarse y verificar el juego de la cruceta.
- Refrigerador intermedio:
 - Una vez por semana debe de purgarse el agua condensada
 - Deben de soplarse las láminas de refrigeración
- Refrigerador final:
 - Impureza fuerte y anormal debe de desmontarse el refrigerador final y limpiarlo todo;
 - Desmontando la brida lateral en la entrada puede retirarse el elemento refrigerador de la camisa refrigerada;

- Purgador:
 - Separadores obstruidos o que no cierran pueden ser purgados presionando el pasador lateral
 - Si no se logra purgar debe de desmontarse el separador y limpiarse
- Válvula de retención:
 - El aire no debe de escaparse con el compresor parado de lo contrario la válvula de retención no estanca
 - Si no sirve la válvula de retención cambiar las partes interiores de esta válvula
- Motor:
 - Engrasar el motor durante el funcionamiento siempre que sea posible;
 - La grasa gastada puede recolectarse correspondiente a un período de 20000 horas de servicio;
 - Se recomienda limpiar y revisar los cojinetes en un plazo de tres a cinco años;
 - La temperatura límite superior de los cojinetes es de 100⁰C como máximo;
 - Motores con cojinetes de fricción son lubricados por aceite tipo C 49 según DIN 51 517;
 - La temperatura límite superior del aceite lubricante es de 90⁰C.

Tabla XXXIV. **Aceites recomendados para el sistema de aire comprimido**

Marca	Grupo 1	Grupo 2
	VC-L, DIN 51506	MIL-L-2103 B, SAE 20

Continúa Tabla XXXIV.

ASEOL	Plus 16-120	MOTOR OIL 15-52 SAE 20W-20
BLASER	Blasol 175	BLASOL 282, SAE 20
BP	Energol LPT 68	Energol HD SAE 20W
ESSO	Nuto H 68	PLUS MOTOR OIL 20W-30
	Nuto HP 68	ESSOLUBE HDX 20W
MOBIL	Mobil Rarus 427	Mobil Delvac 1220
SHELL	Coreana Oil 68	Rotella SX Oil 20/20W

Fuente: Escher Wyss. Tomo 6.1 Aprovechamiento de aire comprimido. Página 3.1/12.

2.6.3. Acumulador de aire comprimido

- Generalidades:
 - Tiene por objeto acumular el aire comprimido servido por los compresores
 - Acumula el aire comprimido para el sistema de aire de servicio y de instrumentación
 - El aire de instrumentación pasa por un filtro con separador de agua y un secador de aire
 - Los depósitos pueden ser inspeccionados por dentro cuando no hay presión
 - El interior del depósito está zincado al fuego

- Componentes principales:
 - Válvula limitadora de presión
 - Manómetro
 - Supervisión eléctrica por medio de presostatos
 - Separador automático de agua

2.6.4. Secador de aire

- Generalidades:
 - Para el sistema de aire de instrumentación se necesita aire comprimido seco
 - Instalado entre los compresores y el acumulador de aire
 - Instalada una válvula de seguridad
 - El aire comprimido se dirige a través de un filtro de purga automática
 - El aire comprimido en la red no debe de ser enfriado por debajo de 2°C
 - El aire comprimido entrante no debe de sobre pasar 40°C
 - Construido para una presión de servicio de 15 bar
 - Purgar de vez en cuando el separador de agua condensada

Tabla XXXV. **Datos técnicos del secador de aire**

Datos técnicos	
Punto de rocío	2°C 10°C
Temperatura de entrada	30°C 35°C
Presión de servicio máxima	15 bar
Conexión eléctrica	220V/60Hz
Conexión neumática	2"G
Conexión condensado	1/2"G
Potencia necesaria	0.98 KW
Caída de presión	80mbar
Cesión de calor del condensador	1750 Real/h
Caudal de agua de refrigeración	5 L/min
Agente refrigerante	R12

Continúa Tabla XXXV.

Presión de aspiración a 0°C	5.1 bar
Presión en el condensador (45°C)	17.8 bar
Presión máxima - Presión de desconexión	25 bar
Peso aproximado	145Kg
Medidas	
Ancho	420mm
Profundo	550mm
Alto	1200mm

Fuente: datos de placa del equipo.

2.6.5. Control eléctrico del equipo de aire comprimido

- Descripciones:
 - Control eléctrico instalado en el armario de mandos
 - Armario de mandos está junto al grupo de compresores
 - Controla automáticamente y supervisa el equipo
 - Maniobra manualmente el equipo
 - Todas las señales de mando y de supervisión pasan a través del armario de mandos
 - Compresores con potencia unitaria de 37 kw
 - La tensión de mando de 110 V
 - Conexión y desconexión de motores mediante pulsadores
 - Lámpara de señalización ilumina cuando el compresor está listo para funcionar
 - Todas las alarmas se señalizan en el armario de mando eléctrico

- Servicio manual:
 - El compresor se puede arrancar desde el cuarto de mando a través de una tecla de impulso
 - El compresor se puede arrancar desde el armario de mando cuando se enciende la lámpara de señalización
 - El arranque deberá tener lugar en un tiempo comprendido entre 1 y 20 segundos
 - Al llegar a 7-8 bar se produce una desconexión por razones de seguridad

- Servicio automático:
 - Para servicio automático se deben de colocar ciertos interruptores de mando en automático
 - La conmutación de prioridad tiene lugar automáticamente con un reloj de conmutación
 - Existe un compresor de carga base y otro de períodos de carga

Figura 17. Sistema de aire comprimido



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta.

Tabla XXXVI. **Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el sistema de aire comprimido**

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración
\ COMPRESOR DE AIRE	Control de presión	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Control presión de aceite	1 Día(s)	0 h 10 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Cambio de aceite	2 Año(s)	6 h 00 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Cambio o limpieza de filtros	1 Año(s)	3 h 00 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Revisión de filtro de aspiración	1 Año(s)	2 h 00 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Limpieza de válvulas	1 Año(s)	2 h 00 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Verificar espesor de segmentos de pistón	3 Año(s)	16 h 00 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Verificar espesor de segmentos de guía	3 Año(s)	16 h 00 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Verificar estado de polea	1 Año(s)	2 h 00 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Limpiar instrumentos de panel	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Purgar enfriador intermedio	1 Semana(s)	00 h 30 m

Continúa Tabla XXXVI.

\ COMPRESOR DE AIRE	Control de funcionamiento de instrumentos de supervisión	1 Día(s)	00 h 30 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Comprobar presiones intermedias	1 Día(s)	00 h 30 m
\ COMPRESOR DE AIRE	Verificar tiempos de arranque y parada	1 Año(s)	1 h 00 m
\ MOTORES ELÉCTRICOS	Inspección y engrase de cojinetes	1 Año(s)	2 h 00 m
\ TANQUE DE AIRE COMPRIMIDO	Operar válvula de seguridad	1 Año(s)	00h 30 m
\ TANQUE DE AIRE COMPRIMIDO	Inspección y protección anticorrosiva	1 Año(s)	3 h 00 m
\ TANQUE DE AIRE COMPRIMIDO	Purgar trampas de condensación	1 Semana(s)	00 h 30 m

Fuente: personal supervisor y técnico de la planta.

2.7. Turbina auxiliar

2.7.1. Turbina

Tabla XXXVII. **Datos técnicos de la turbina auxiliar**

Datos técnicos	
Número de toberas	1
Caída neta	390 – 570 m
Caudal de agua	0.159 – 0.148 m ³ /s
Potencia	530 – 640 KW
Velocidad	1200 rpm
Velocidad de embalamiento	2300 rpm
Tipo de turbina	hR1 1N

Fuente: datos de placa del equipo.

- **Funcionamiento:**
 - Unión por fricción entre el rodete y el árbol de la turbina se consigue por medio de un juego tensor de muelles anulares
 - El alojamiento del árbol de la turbina está hecho por cojinetes de fricción de forma cubica, estando el cojinete guía del lado del generador
 - El volante se encuentra colocado en voladizo sobre el árbol de la turbina y está unido mediante una chaveta
 - La transmisión del par turbina generador tiene lugar por medio de un acoplamiento elástico
 - La entrada y el codo son de construcción soldada de una sola pieza

- **Cojinete:**
 - El agua de refrigeración solo se necesita para el cojinete de guía del lado de acoplamiento
 - Cojinete de fricción Wulfel tipo ERWLK 14-125
 - Cojinete guía está provisto por lubricación por anillo flotante, mediante refrigeración natural y refrigeración por agua (serpentín de tubos con nervios en baño de aceite)

- **Rodete:**
 - El rodete deberá de ser inspeccionado periódicamente cada 2000 – 4000 horas de funcionamiento, pero por lo menos una vez cada 1 año, respecto a la erosión y a la formación de fisuras
 - La inspección de las fisuras deberá ser efectuada mediante el ensayo de polvos magnéticos
 - Todas las reparaciones deben de efectuarse con electrodos inoxidables del mismo tipo (13% de cromo y 4% de níquel)
 - La posición de las fisuras observadas en zonas solicitadas mecánicamente puede exigir la puesta fuera de servicio del rodete

2.7.2. Grifo de bola

Tabla XXXVIII. **Datos técnicos del grifo de bola de la turbina auxiliar**

Datos técnicos	
Fabricante	Johannes Erhard
Diámetro nominal	150 mm
Escalón de presión	63 bar
Tipo	Grifo de bola con engranaje de husillo

Fuente: datos de placa del equipo.

- Fabricación
 - Cuerpo y machos de grifo de fundición de acero EGS-24 Mn 5
 - Anillos de apoyo, tornillos de anillos de apriete, árboles de accionamiento y pivote así como husillo de acero inoxidable
 - Juntas de perbunán
 - Casquillos de cojinetes de bronce especial exento de zinc
 - Tuerca de husillo de bronce duro
 - Volante de accionamiento de fundición esferoidal GGG-50
 - Apropriado para agua de río, presión de funcionamiento 51 bar
 - Temperatura de funcionamiento hasta un máximo de 50°C
 - Instalación al aire libre

- Mantenimiento grifo de bola y engranaje de husillo.
 - Los cojinetes de los árboles de los grifos de bola y del engranaje de husillo helicoidal no necesitan ninguna lubricación ulterior
 - Recomendarnos cambiar la grasa después de aproximadamente 1 millón de revoluciones del eje secundario, o a más tardar al cabo de 10 años

2.7.3. Regulador de velocidad

- Generalidades:
 - El grupo de Turbina Generador está dotado de un regulador mecánico de velocidad del tipo Z 30 para turbinas, fabricante Escher Wyss
 - Éste tipo de regulador ha sido creado especialmente para turbinas pequeñas, bajo consideración del gasto mínimo de fuerza necesaria y al mismo tiempo de la mayor seguridad de servicio

- Regula exactamente el caudal de agua de acuerdo con la potencia de la turbina y mantiene, a la vez, la velocidad de ésta en el valor fijado de antemano
- Abre por presión de aceite y cierra mediante la fuerza del resorte
- El servomotor instalado en el regulador acciona la aguja de la tobera
- No hay ningún deflector
- El arranque y la parada son manuales, la supervisión y la parada de emergencia automáticas
- El valor nominal de velocidad se puede ajustar por medio de pulsadores bien en el tablero local de mando o bien en el tablero de mando de la sala de mando

2.7.4. Sistemas auxiliares

- Válvula de cierre rápido:
 - Sirve para parar rápidamente la turbina en caso de emergencia
- Motor de ajuste de velocidad:
 - Se utiliza para el manejo a distancia del ajuste de velocidad por medio de pulsadores
- Contactos fin de carrera:
 - Sirven para señalar la posición del ajuste de velocidad para la automática y las lámparas indicadoras

2.7.5. Generador

Tabla XXXIX. **Datos técnicos del generador de la turbina auxiliar**

Datos técnicos	
Tipo de generador	Sincrónico trifásico
Marca	BBC
Potencia nominal:	710 kVA
Corriente nominal:	B91 A
Tensión nominal:	460 V
Frecuencia:	60 Hz
Velocidad:	1200 rpm
Tipo:	WG 450 dw 6

Fuente: datos de placa del equipo.

- Cojinete:
 - El generador está provisto de cojinetes de rodillos
 - No necesitan ninguna refrigeración especial
 - Los cojinetes están lubricados con grasa
- Refrigeración:
 - Por aire, no se necesita agua de refrigeración
 - La aspiración del aire de refrigeración tiene lugar en el cajón protector lateral, el aire caliente se sopla por abajo al exterior por el lado del accionamiento

2.7.6. Mantenimiento Preventivo

Tabla XL. **Mantenimiento rutinario de la turbina auxiliar**

Intervalo de tiempo para verificaciones y trabajos de manto.	Plazo máximo	1 mes	3 meses	6 meses	5 años
	Horas de funcionamiento	Aprox. 730	Aprox. 2200	Aprox. 4400	
Turina (completa)			I, L, RA	CP	
Rodete, junto con tobera	I (1era. Insp)			I, R	
Cojinete de fricción compl.	I (nivel de aceite) 1era. Insp. Tras 4 h aprox.		I, L, RA	I, L, CA, CP	
Cojinete de fricción					
Casquillo de cojinete					
Grifo de bola con engranaje de husillo			I, L, RA	CP	
Accionamiento de ajuste motorizado (Auma)			I, L, RA	CP	CG
Regulador Z30				I	CA
Generador Sincrono DS				Aprox. 10,000 - 15,000	
idem rodamientos			I, L, RA	I, L, CP	
Instalacion de distribución				I, L, RA	
Abastecimiento de agua de refrigeración			I, L, RA	CP	
Filtro de aire			I, L		

Fuente: Escher Wyss. Tomo 10.1 Turbina auxiliar. Página 4.4/8.

Tabla XLI. **Abreviaturas para el mantenimiento rutinario de la turbina auxiliar**

Abreviaciones	
Lubricación con grasa	G
Cambio de grasa	CG
Lubricación con aceite	A
Cambio de aceite	CA
Inspección	I
Limpieza	L
Apriete de los tornillos	RA
Mejora de la protección contra la corrosión	CP
Reparaciones (pequeñas)	RA

Fuente: Escher Wyss. Tomo 10.1 Turbina auxiliar. Página 4.4/8.

Tabla XLII. **Agentes lubricantes para la turbina auxiliar**

TABLA DE AGENTES LUBRICANTES	Cantidad Aproximada de llenado	Tipo de aceite o grasa especificaciones técnicas	Fabricante Designación comercial
Cojinete de turbina (cojinete de fricción Wulfel)	0,8 L por Cojinte	Aceite para cojinetes de la viscosidad ISO, clase VG 46 viscosidad cin. 43,4 mm ² /seg a 40°C. Viscosidad din. 24,4 m Pa s a 150° C	Mobil D.T.E. Oil Medium Mobil Oil A.G.
Grifo de Bola: Accionamiento regulador motorizado (Auma)	1.1 Kg (por accionamiento)	Grasa lubricante especial EP: a base de jabon: complejo de aluminio Margen de aplicación: -20°C hasta 150°C. Punto de goteo aprox. 230°C Penetración por abatanado 355/385 Consistencia No. 0	Mobilplex 44, mobil Oil BP HT 0 Shell Spezial Getriebefett H
Regulador Z 30	5 L	Aceite para cojinetes Viscosidad cin 100mm ² /s a 40°C	Shell turbo 100
Generador Sincrono DS - Rodamientos		Grasa de cojinetes de rodamiento a base de litio jabonizada. Margen de aplicación: -20°C hasta 150°C. Punto de goteo aprox. 160°C Penetración de rodadura 220/295 Consistencia ZNLGI	Shell Avania 2-3 Mobilux No. 2-3 Esso beacon 2-3

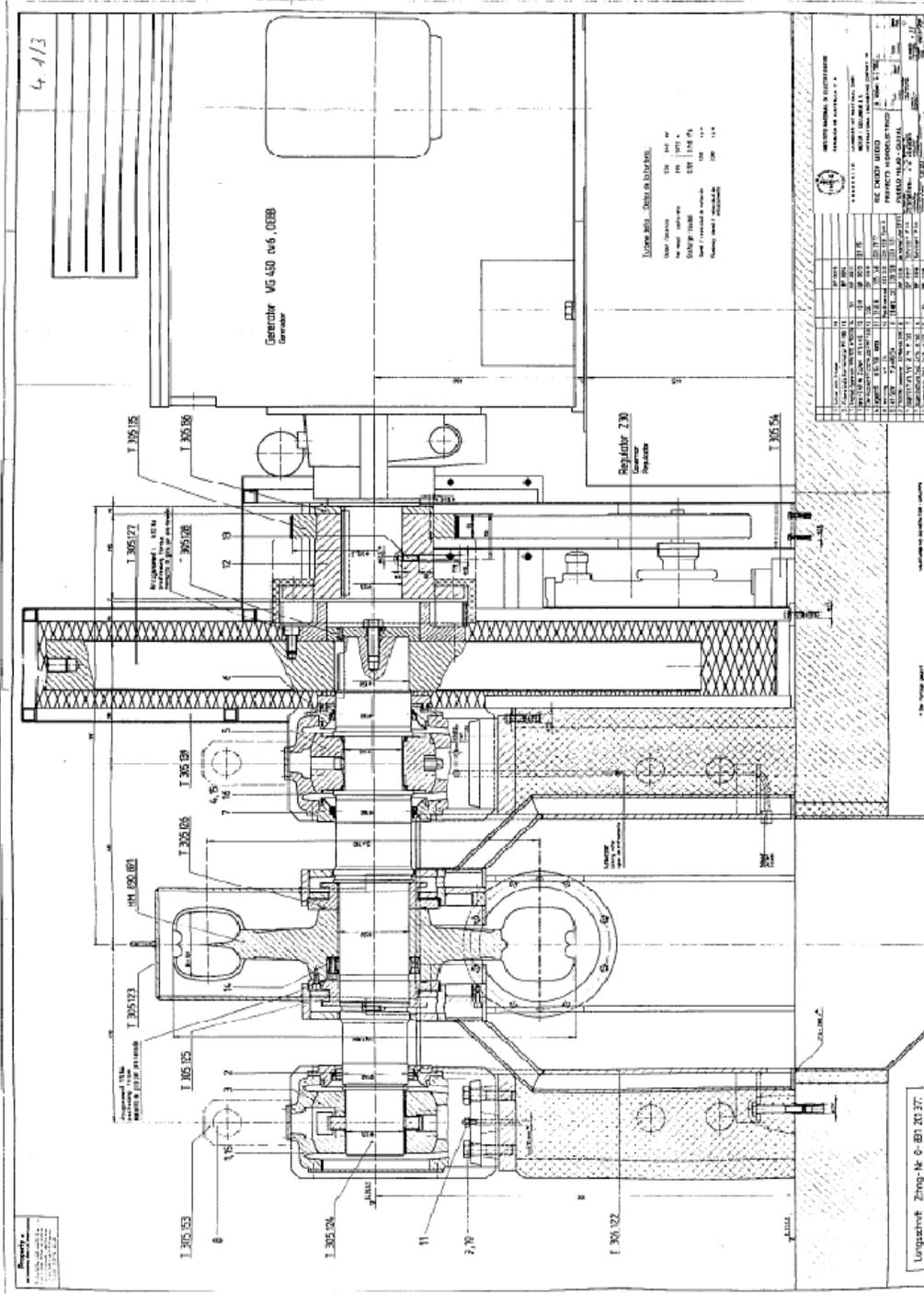
Fuente: Escher Wyss. Tomo 10.1 Turbina auxiliar. Página 4.4/12.

Figura 20. Turbina Auxiliar



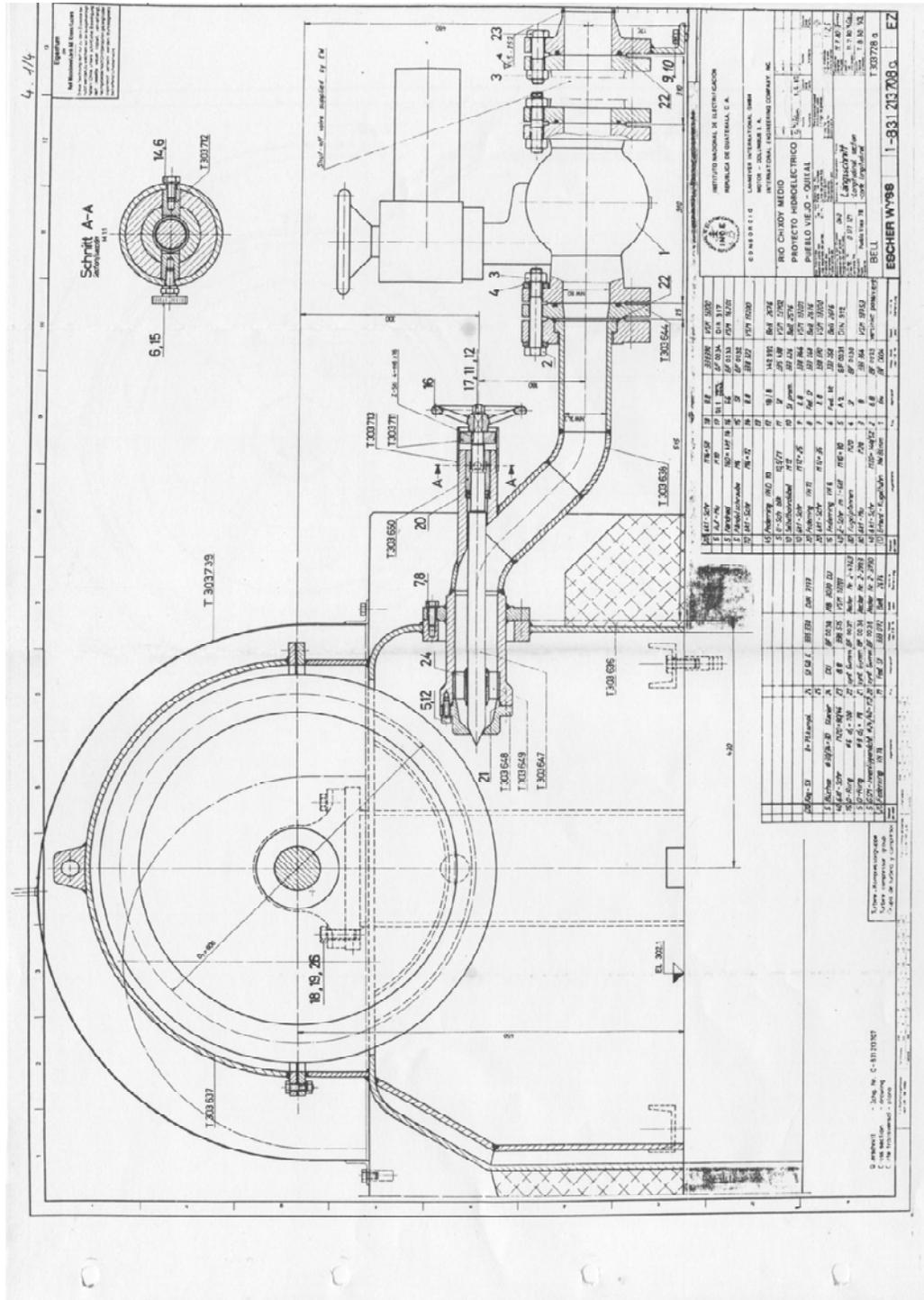
Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta.

Figura 21. Corte transversal turbina auxiliar



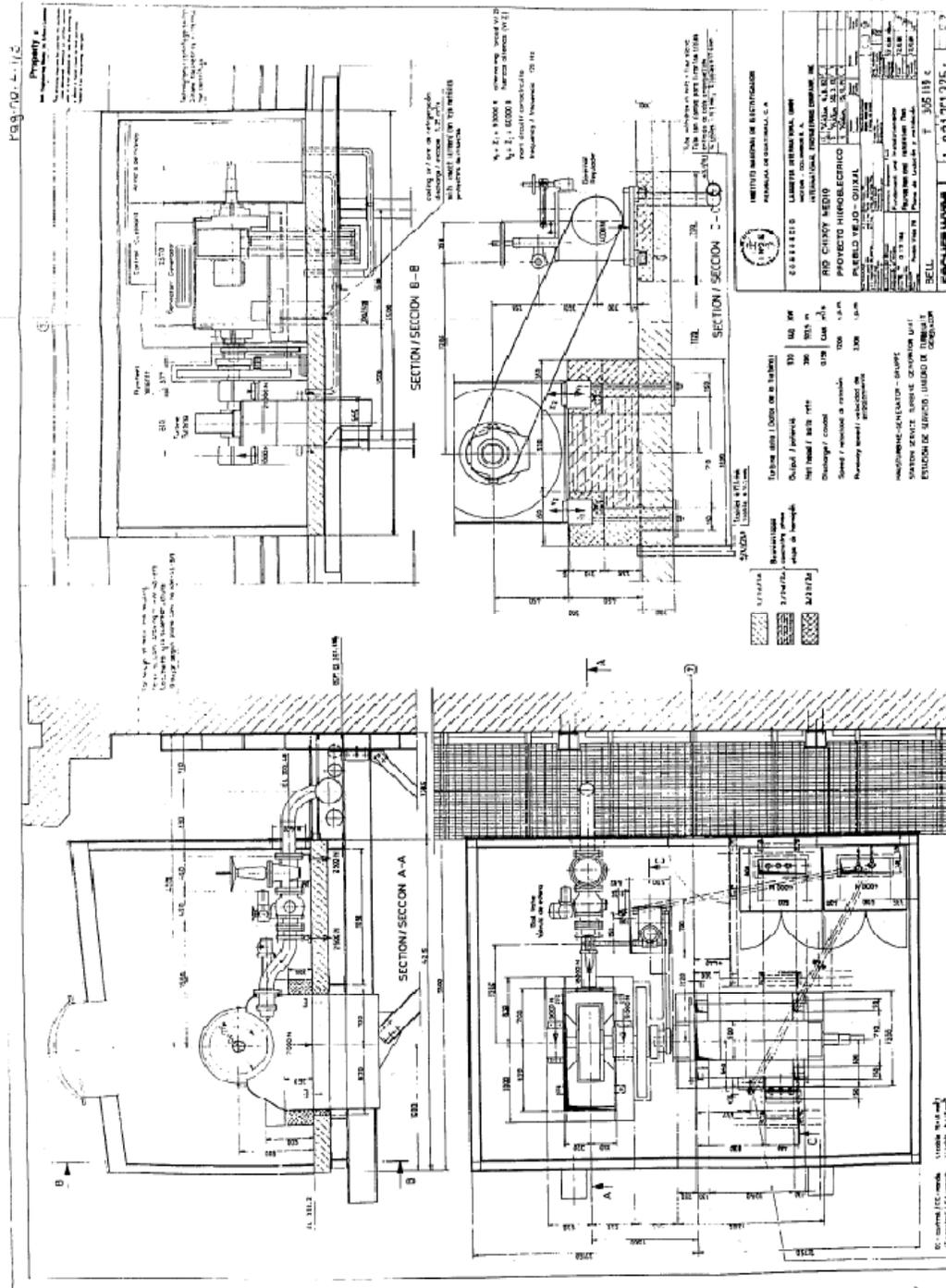
Fuente: Escher Wyss. Tomo 10.1 Turbina Auxiliar. Página 4.1/3.

Figura 22. Corte longitudinal turbina auxiliar



Fuente: Escher Wyss. Tomo 10.1 Turbina Auxiliar. Página 4.1/4.

Figura 23. Instalación de la turbina auxiliar



Fuente: Escher Wyss. Tomo 10.1 Turbina Auxiliar. Página 2.1/3.

Tabla XLIII. **Propuesta de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para el sistema de la turbina auxiliar**

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración
\ TURBINA	Apriete de pernos	1 Año(s)	8 h 00 m
\ TURBINA	Inspección y limpieza del rodete	1 Año(s)	16 h 00 m
\ TURBINA	Inspección de tobera	1 Año(s)	8 h 00 m
\ TURBINA	Control de temperatura del cojinete	1 Semana(s)	00 h 10 m
\ GRIFO DE BOLA	Inspección y apriete de pernos	1 Año(s)	2 h 00 m
\ OPERADOR MOTORIZADO	Inspección y reapriete de pernos	1 Año(s)	4 h 00 m
\ CORREA DE TRANSMISIÓN	Inspección visual	6 Mes(es)	1 h 00 m
\ GENERADOR	Limpieza y revisión interior	1 Año(s)	2 h 00 m
\ GENERADOR	limpieza del filtro de aire	1 Año(s)	2 h 00 m
\ GENERADOR	Medición del aislamiento de generador	2 Año(s)	3 h 00 m
\ GENERADOR	Control flujo de agua de enfriamiento	1 Semana(s)	00 h 10 m
\ GENERADOR	Control presión agua de enfriamiento	1 Semana(s)	00 h 10 m

Continúa Tabla XLIII.

\ CONTROL Y PROTECCIÓN	Limpieza de tablero y apriete de las conexiones	1 Semana(s)	1 h 00 m
\ CONTROL Y PROTECCIÓN	Comprobación de control, supervisión y alarma	1 Semana(s)	00 h 30 m
\ CONTROL Y PROTECCIÓN	Prueba de relés de protección y calibración de instrumentos	1 Año(s)	1 h 00 m
\ CONTROL Y PROTECCIÓN	Comprobación de los valores de operación de los dispositivos	1 Año(s)	00 h 30 m
\ ACOPLA TURBINA-GENERADOR	Inspección y apriete de pernos	1 Año(s)	2 h 00 m

Fuente: personal supervisor y técnico de la planta.

3. FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

3.1. Ambiente de Trabajo

El manual digital de especificaciones técnicas de los principales equipos y componentes mecánicos de la Central Hidroeléctrica Chixoy, es una herramienta de consulta para mejorar el conocimiento del personal técnico de la planta, creado en una plataforma de acceso por medio de internet, en un ambiente de fácil manejo.

La dirección para ingresar al manual digital es: www.chixoy.260mb.com. El cual tiene un ambiente de trabajo que está formado por un menú principal y varios submenús de navegación. El menú principal cuenta con cuatro vínculos principales los cuales son: descripción general, especificaciones técnicas, planes de mantenimiento y anexos.

En la descripción general se encuentra lo siguiente: reseña histórica, actividades a las que se dedica, visión, misión, estructura organizacional, sistemas de la central y conceptos generales.

En las especificaciones técnicas se pueden obtener datos de los siguientes equipos: turbina, válvula esférica, gobernador, TWD, sistema de agua, aire comprimido y turbina auxiliar. En cada uno de ellos se detallan los datos técnicos y planos de los componentes principales de cada equipo.

Figura 24. Descripción general

Fuente: elaboración propia, www.chixoy.260mb.com.

Figura 25. Especificaciones técnicas

Fuente: elaboración propia, www.chixoy.260mb.com.

En los planes de mantenimiento se detallan las propuestas de actividades rutinarias de mantenimiento preventivo para cada componente, detallando la frecuencia y la duración de cada una. Estas son las actividades básicas de mantenimiento para garantizar el buen funcionamiento del equipo.

Figura 26. Planes de mantenimiento

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración
REGULADOR HIDRAULICO	Comprobar operación de los mandos Electro Hidráulicos	1 Día(s)	0 h 10 m
REGULADOR HIDRAULICO	Control de funcionamiento de instrumentos de supervisión	1 Día(s)	0 h 10 m
REGULADOR HIDRAULICO	Inspección si hay agua en el aceite	1 Semana(s)	1 h 00 m
REGULADOR HIDRAULICO	Limpieza interior del tablero de mando hidráulico	1 Semana(s)	4 h 00 m
ACUMULADOR DE ACEITE A PRESION	Apretar pernos	1 Año(s)	1 h 00 m
ACUMULADOR DE ACEITE A PRESION	Control de fugas	1 Día(s)	0 h 10 m
BOMBAS Y MOTORES DE ACEITE	Cambio de cojinete	1 Año(s)	12 h 00 m

Fuente: elaboración propia, www.chixoy.260mb.com.

Los anexos nos muestran el detalle de los componentes en forma de un listado, identificando cada uno de ellos con los números de referencia de ubicación en los planos, el tipo, las características y los planos relacionados con el componente en mención.

Figura 27. Anexos

No.	Objeto	Tipo	Características	Parametros de regulacion	Fabricacion	Lugar	Sum	Gr./No Sum	Detalles	PLANO DE UBICACION
1000	Bomba de aceite de regulacion	SNBA 120-46	124L/min (1750min ⁻¹)		Alweider	RE	EWZ	4001 1310/001	0.831 703 438	0.831 703 1438_3
m1000	Motor de la bomba 1000	QUX 160L 4AG	440V/60Hz/1760min ⁻¹ / 16KW	m1000	BBC	RE	EWZ	4002 1310/006	0.831 703 438	0.831 703 1438_3
«1000/1	Presostato: Presion dem. Baja "cierre rapido"	BLS-M 12SS	110V=0.5A		Barksdale	RE	EWZ	BV 1308/001	0.831 703 294	0.831 703 2438_3
«1000/2	Presostato: Presion normal	BLS-M 12SS	110V=0.5A		Barksdale	RE	EWZ	BV 1308/001	0.831 703 294	
«1000/3	Presostato: Presion dem. Bajo "de res. Arranque alarma + bomba"	BLS-M 12SS	110V=0.5A		Barksdale	RE	EWZ	BV 1308/001	0.831 703 294	0.831 703 438_2438_3
«1000/4	Presostato: Presion normal "bomba de res. Par"	BLS-M 12SS	110V=0.5A		Barksdale	RE	EWZ	BV 1308/001	0.831 703 294	0.831 703 438_2438_3

Fuente: elaboración propia, www.chixoy.260mb.com.

3.2. Solicitud de nuevo usuario

Para poder ingresar a la página web es necesario contar con un usuario autenticado, el cual se solicita por medio de un formulario ingresando a través del portal de la página web e ingresando por el vínculo de solicitud de nuevo usuario. En el formulario es necesario llenar todos los campos requeridos, ya que la solicitud de nuevo usuario no es creada automáticamente y depende una aprobación previa.

Figura 28. Solicitud de nuevo usuario



The image shows a web page for user registration. At the top, there are logos for INDE (Instituto Nacional de Electrificación) and EGEE (Empresa de Generación de Energía Eléctrica). The page title is 'MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA CHIXOY'. Below the title is a photograph of the 'CENTRAL HIDROELECTRICA CHIXOY' building. The main content is a form titled 'SOLICITUD DE USUARIO' with the following fields: 'Nombre:', 'Correo:', 'Empresa:', 'Usuario:', and 'Contraseña:'. Each field has a small asterisk to its right, indicating it is a required field. Below the fields is a button labeled 'Enviar Solicitud'. At the bottom left of the form, there is a small asterisk and the text '* Campos obligados'.

Fuente: elaboración propia, www.chixoy.260mb.com.

3.3. Ingreso y búsqueda de información técnica

El manual digital de especificaciones técnicas está creado en una plataforma de internet, por lo cual el ingreso puede ser desde cualquier punto en donde exista acceso a internet.

Para ello se debe de ingresar a la página web www.chixoy.260mb.com, esta acción nos mostrará la portada, en donde se deberá ingresar el usuario y la contraseña anteriormente solicitada.

La búsqueda de información técnica se divide en cuatro segmentos que se mencionaron anteriormente: descripción general, especificaciones técnicas, planes de mantenimiento y anexos.

Figura 28. Ingreso y búsqueda de información técnica

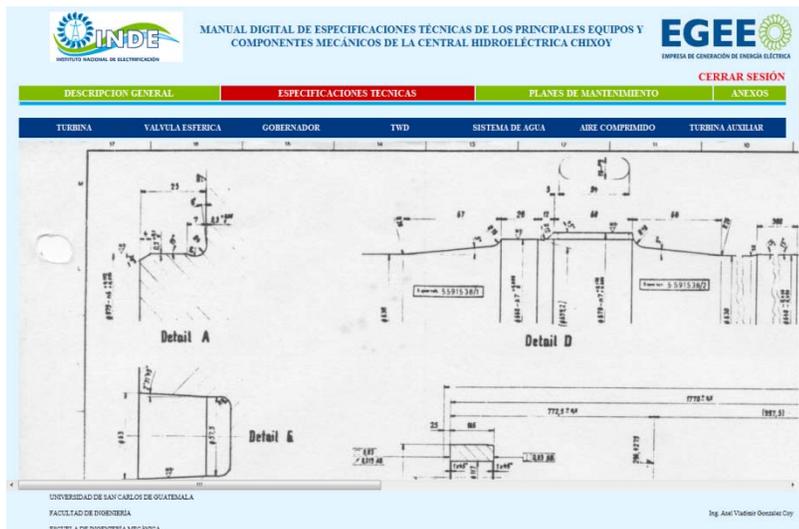
The screenshot shows a web-based digital manual interface. At the top, there are logos for INDE (Instituto Nacional de Electrificación) and EGEE (Empresa de Generación de Energía Eléctrica). Below the logos is the title: 'MANUAL DIGITAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y COMPONENTES MECÁNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIXOY'. A navigation bar contains four main sections: 'DESCRIPCIÓN GENERAL', 'ESPECIFICACIONES TÉCNICAS' (highlighted in red), 'PLANES DE MANTENIMIENTO', and 'ANEXOS'. A secondary navigation bar lists equipment types: 'TURBINA', 'VALVULA ESFERICA', 'GOBERNADOR', 'TWD', 'SISTEMA DE AGUA', 'AIRE COMPRESIDO', and 'TURBINA AUXILIAR'. The main content area is titled 'TURBINA' and includes a table of contents on the left with items like 'Descripción general', 'Rotor', 'Acoplamiento de Eje', 'Eje', 'Copiamos de la turbina y su fabricación', 'Junta del eje', 'Tubera de escape', 'Módulo de agua invertida', 'Pernos de medición de velocidad', 'Tuberas', 'Deflector', 'Accionamiento de deflector, anillo de regulación', 'Carcas', 'Techo perimetral de la carcasa', 'Planchales de servicio', 'Cojinetes', and 'Regulador de velocidad'. The main text area contains technical specifications and instructions, such as '11800 kg Forjado en una sola pieza' and 'Después de una avería del cojinete se debe de controlar el eje de la turbina en su parte correspondiente'. On the right side, there are several technical drawings and diagrams of the turbine components. At the bottom, it mentions 'UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA' and 'ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA'.

Fuente: elaboración propia, www.chixoy.260mb.com.

Para ingresar a cualquier segmento basta con dar un clic sobre cualquier vínculo presente en la página. La información técnica de cada equipo está clasificada por componentes donde se muestran los datos de operación y mantenimiento, recomendaciones de los fabricantes y planos correspondientes. Para ampliar la imagen de los planos de cada equipo se debe de dar un clic sobre cada plano en miniatura.

Los planes de mantenimiento están basados en las actividades rutinarias que se realizan en la planta, y se pueden consultar en el apartado del mismo nombre.

Figura 29. Ampliar imágenes de planos



Fuente: elaboración propia, www.chixoy.260mb.com.

CONCLUSIONES

1. Por medio de la adquisición de los datos técnicos de cada uno de los equipos y componentes mecánicos que conforman la Planta Hidroeléctrica Chixoy, se adquiere una base de datos por equipo para iniciar la gestión del mantenimiento a través de herramientas informáticas.
2. El manual digital de especificaciones técnicas de los principales equipos y componentes mecánicos de la Planta Hidroeléctrica Chixoy, contribuye a la capacitación del personal técnico mecánico de la planta, ya que es una herramienta digital de estudio y consulta práctica.
3. Los planes de mantenimiento que se han propuesto, son una herramienta para organizar y planificar el mantenimiento rutinario, ya que la correcta ejecución de estos mismos aumenta significativamente la vida útil de los equipos.

RECOMENDACIONES

1. Paralelo a la base de datos adquirida, llevar un registro adicional por equipo de los mantenimientos ejecutados y gestionar los programados, dando como resultado indicadores de mantenimiento y cronogramas que ayudaran a la toma de decisiones para la intervención de los mantenimientos en la planta.
2. Debido a que el mantenimiento preventivo no es estático, se deben de reprogramar las frecuencias de ejecución de los planes de mantenimiento según las necesidades y condiciones que presenten equipos, para que las rutinas de mantenimiento se ejecuten en el tiempo adecuado.
3. Consultar el manual digital de especificaciones técnicas de los principales equipos y componentes mecánicos de la Planta Hidroeléctrica Chixoy como capacitación y conocimiento para el personal nuevo que ingrese a la planta.
4. Documentar el procedimiento a realizar para cada una de las actividades rutinarias de mantenimiento preventivo propuestas, así también como las actividades de mantenimiento correctivo y no rutinario.

BIBLIOGRAFÍA

1. INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN. INDE.
Aprovisionamiento de aire comprimido. (Manual 6.1, volumen 1).
Guatemala: INDE, 1982. 227 p.
2. _____ *Diagramas Eléctricos.* (Manual 1.1, volumen 1). Guatemala:
INDE, 1982. 175 p.
3. _____ *Generador.* (Manual 3.1, volumen 1). Guatemala: INDE, 1982.
550 p.
4. _____ *Gobernador.* (Manual 3.1, volumen 1). Guatemala: INDE,
1982. 273p.
5. _____ *Sistemas de enfriamiento.* (Manual 5.1, volumen 1).
Guatemala: INDE, 1982. 332 p.
6. _____ *Turbina auxiliar.* (Manual 10.1, volumen 1). Guatemala: INDE,
1982. 200 p.
7. _____ *Turbina.* (Manual 1.1, volumen 1). Guatemala: INDE, 1982.
220p.
8. _____ *Válvula esférica.* (Manual 1.2, volumen 1). Guatemala: INDE,
1982. 150p.

9. _____ *TWD*. (Manual 4.1, volumen 1). Guatemala: INDE, 1982.
293p.