

## **INTRODUCCIÓN**

El documento presentado a continuación es el resultado del proyecto de residencia profesional realizado en la empresa de clase mundial CFE, como parte de mi formación profesional y contemplado dentro de las asignaturas de las cuales se compone la retícula de la licenciatura en Ingeniería Mecánica impartida en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Comisión Federal de Electricidad tiene como objetivo principal generar, transmitir y distribuir energía eléctrica para el desarrollo de México a bajo costo y cuidando el ambiente. Por lo tanto, el mantenimiento dentro de la C.H. Ángel Albino Corzo es el motor de la producción.

El mantenimiento se define como un conjunto de normas y técnicas establecidas para la conservación de la maquinaria e instalaciones de una planta industrial, para que proporcione mejor rendimiento en el mayor tiempo posible. En la actualidad el mantenimiento se ve como una inversión que ayuda a mejorar y mantener la calidad en la producción.

Este estudio se basa específicamente en dar a conocer el funcionamiento y proceso de mantenimiento del sistema oleodinámico de obra de toma de la unidad N° 2 de la C.H. Ángel Albino Corzo (PEÑITAS), el cual, funcionando por medio de vástagos, servomotores hidráulicos y del movimiento de un fluido, en este caso aceite, es el encargado de abrir y cerrar compuertas de obra de toma.

En las páginas siguientes se darán a conocer las actividades que se necesitan para mantener al sistema oleodinámico en buen estado y que su vida útil sea mayor, y será de utilidad para la central hidroeléctrica en acortar tiempos para los mantenimientos futuros. También se encontrarán descritas todas las actividades realizadas en la central, así como también los fundamentos teóricos sobre los que se realizaron dichas actividades, además de un anexo con fotografías, planos y otros documentos que ayudan a sustentar las actividades realizadas.

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El departamento mecánico de la central PEÑITAS sugirió como parte fundamental del proyecto documentar el mantenimiento que se le iba a realizar al sistema oleodinámico ya que se pretendía hacerlo en cada uno de sus elementos y junto a ello dejar en orden información acerca de la construcción, diseño, funcionamiento, operación y modificaciones de dicho sistema, así como también era necesario tener a la mano las descripciones del equipo y herramienta utilizados por el personal para llevar a cabo esta actividad.

Debido a la falta de tiempo y a que se generaron otras fallas en las diferentes unidades de la central, el mantenimiento al sistema oleodinámico se llevó a cabo de manera general y se realizó únicamente en la unidad N°2.

#### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La justificación que a este documento se le da es porque en la C.H. Ángel Albino Corzo hay muchas personas que desconocen la función del sistema oleodinámico de obra de toma, debido a que en los 25 años que lleva generando PEÑITAS es el sistema que menos mantenimiento se le ha realizado.

La intención de que el personal de PEÑITAS tenga esta información es para que pueda relacionar los manuales y los planos que existen del sistema oleodinámico y así entender mejor su operación y funcionamiento con el objetivo de lograr una mejora continua y prevención de fallas de dicho sistema. Además, tener un procedimiento de actividades, planificar y programar el mantenimiento ya sea a mediano o largo plazo, reducir tiempos, costos de repuestos y materiales y tener un mejor desempeño del sistema.

## 1.3 OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL.

Documentar el proceso de mantenimiento al sistema oleodinámico de la Obra de Toma de la C.H. Ángel Albino Corzo, para mantener operable el equipo e instalación y restablecer el sistema a las condiciones de funcionamiento predeterminado; con eficiencia para obtener el máximo rendimiento.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Garantizar la disponibilidad y la confiabilidad del sistema oleodinámico e instalaciones.
- Aumentar la vida útil de los equipos al máximo.
- Satisfacer los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente en el momento de realizar el mantenimiento en el sistema oleodinámico.
- Minimizar los tiempos del mantenimiento.

## 1.4 ANTECEDENTES

La región sureste del país constituye la zona de mayor potencial hidroeléctrico, dado que en ella se localiza el sistema hidrográfico Grijalva-Usumacinta que aporta el 30 % de los recursos hidrológicos de México. Sin embargo, la parte hidroeléctricamente explotable de ambos Ríos se localiza en su mayoría en el Estado de Chiapas.

Desde 1958, la Comisión Federal de Electricidad viene desarrollando estudios en la cuenca del Río Grijalva, encaminados a determinar su potencialidad hidroeléctrica, y con ello lograr el aprovechamiento integral de sus recursos, con base en estos estudios y los efectuados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, ambas dependencias formularon el "Plan Integral del Río Grijalva".

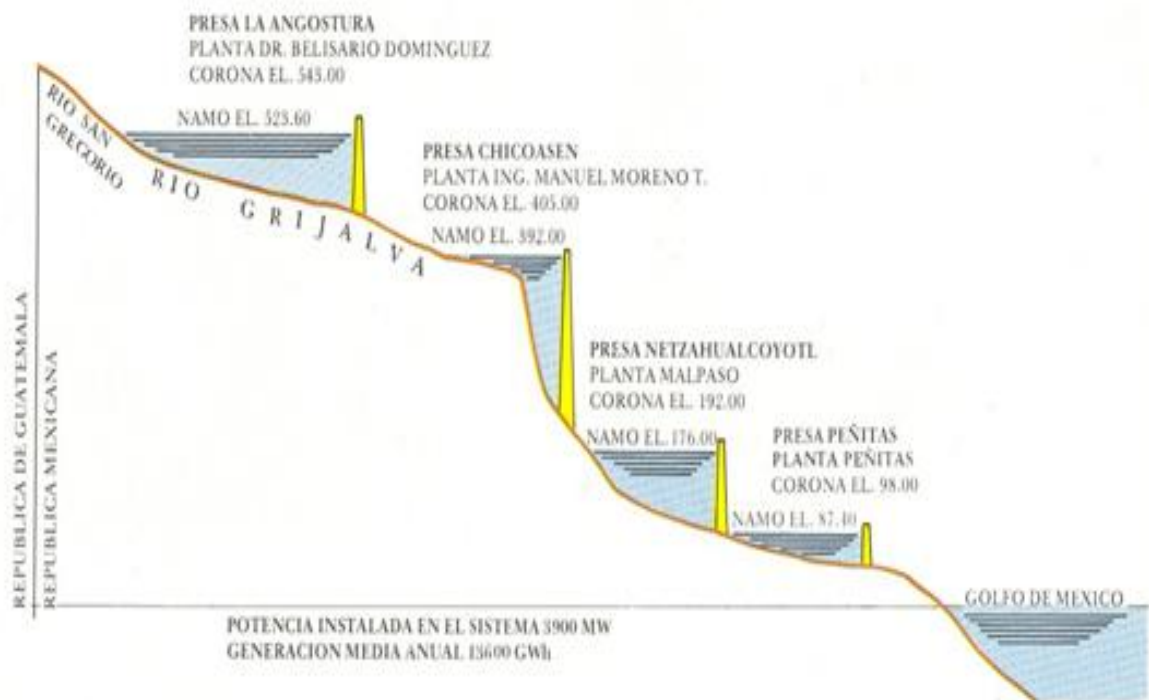


Fig. 1.1 Sistema hidroeléctrico del río Grijalva

La Presa de usos múltiples Netzahualcóyotl "MALPASO", constituye el primer aprovechamiento realizado para el desarrollo del Río Grijalva, y el tercero que proporciona la cuenca, a partir del sitio de su nacimiento. La construcción estuvo a cargo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos durante el periodo de 1959-1964, en su primera etapa, con capacidad instalada de 720 MW. La Comisión Federal de Electricidad, realizó la segunda etapa con capacidad de 360 MW, para un total acumulado de 1080 MW con 6 unidades tipo Francis de 180 MW cada una.

El segundo aprovechamiento y primero de la cuenca lo constituye la presa "LA ANGOSTURA" que la Comisión Federal de Electricidad realizó durante el periodo de 1969 a 1974. La característica que reúne esta presa la sitúa como el proyecto básico para el desarrollo integral del río Grijalva. Su almacenamiento de  $18,500 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de capacidad total, permite regularizar un escurrimiento medido anual de 11,824 millones de m<sup>3</sup>, con capacidad instalada de 920 MW con 5 unidades generadoras tipo Francis de 180 MW cada una.

El tercer aprovechamiento lo constituye la Presa "CHICOASEN" realizado por la Comisión Federal de Electricidad durante los años de 1974 a 1980, en su primera etapa, con capacidad de 1500 MW con 5 unidades generadoras tipo Francis de 300 MW cada una. En su segunda etapa se elevó a 2400 MW con 3 unidades más de la misma capacidad. La Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres "Chicoasen" aprovecha 160 metros de desnivel de los 246 que existen entre la descarga de la Central Belisario Domínguez "Angostura" y el nivel de aguas máximas de la Presa Netzahualcóyotl (Malpaso).

La Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo "PEÑITAS", constituye la cuarta y última etapa del plan del Río Grijalva, plan concebido en el año de 1948 por la Comisión Federal de Electricidad en conjunto con la antigua Secretaría de Recursos Hidráulicos, el cual está encaminado a lograr el aprovechamiento integral de sus recursos, construida durante el periodo de 1979 a 1986.

## 1.5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DEL TRABAJO



**Fig. 1.2 C.H. Ángel Albino Corzo**

La central Hidroeléctrica cuenta con una capacidad instalada de 420 MW distribuida en 4 turbinas tipo Kaplan de eje vertical, las cuales generan 105 MW cada una, con un gasto máximo de 360 m<sup>3</sup>/seg por unidad, para un total de 1,440 m<sup>3</sup>/seg.

### **LOCALIZACIÓN**

La cuenca del río Grijalva se localiza en el sureste del país, y se encuentra limitado al sur por la República de Guatemala, al oeste por la cuenca del río Usumacinta y al norte por el Golfo de México.

La Presa "Peñitas" se localiza al norte del estado de Chiapas, dentro del municipio de Ostucán, muy próximo a los límites con el estado de Tabasco. La Central tiene comunicación por carretera pavimentada a la Central Hidroeléctrica "Malpaso" (49 Km), a la estación Chontalpa, Tabasco (31 Km); a Huimanguillo, Tabasco (51 Km) y a la ciudad de Cárdenas, Tabasco (66 Km) siendo en este punto en donde la carretera se intercepta con la carretera Coatzacoalcos, Veracruz - Villahermosa, Tabasco.

## LOCALIZACION

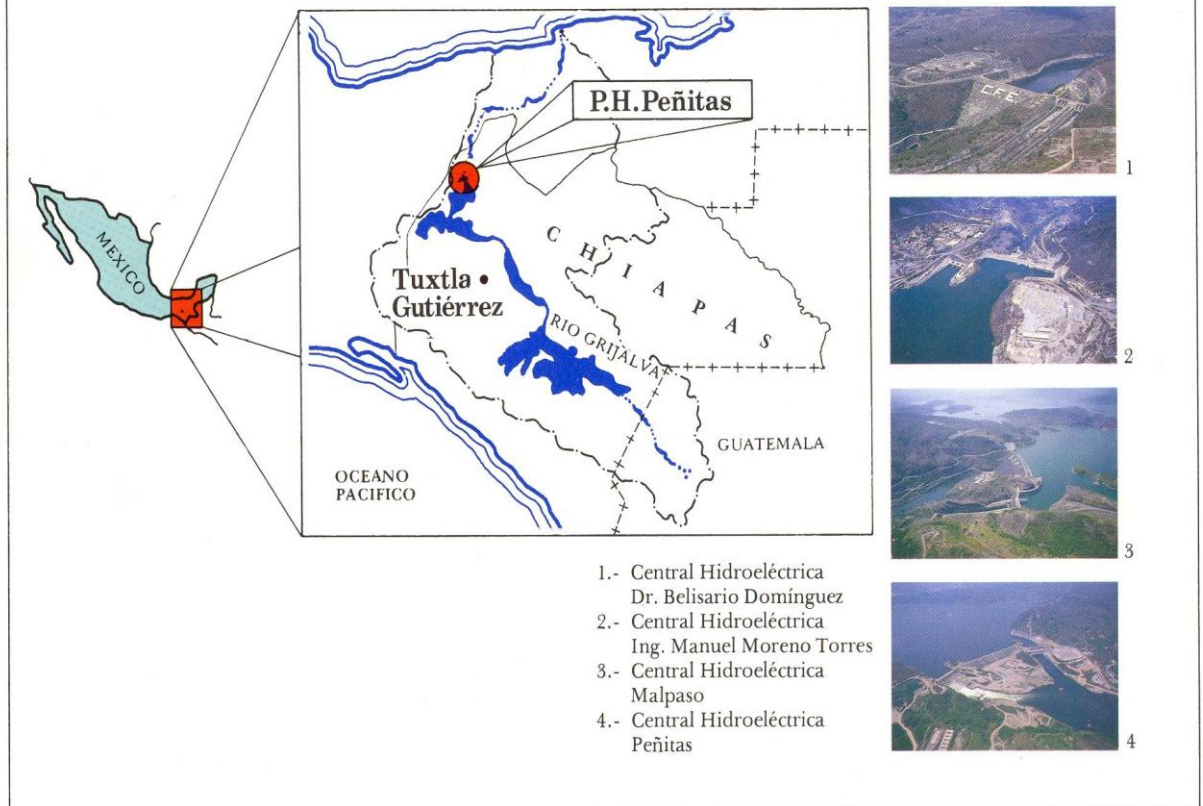


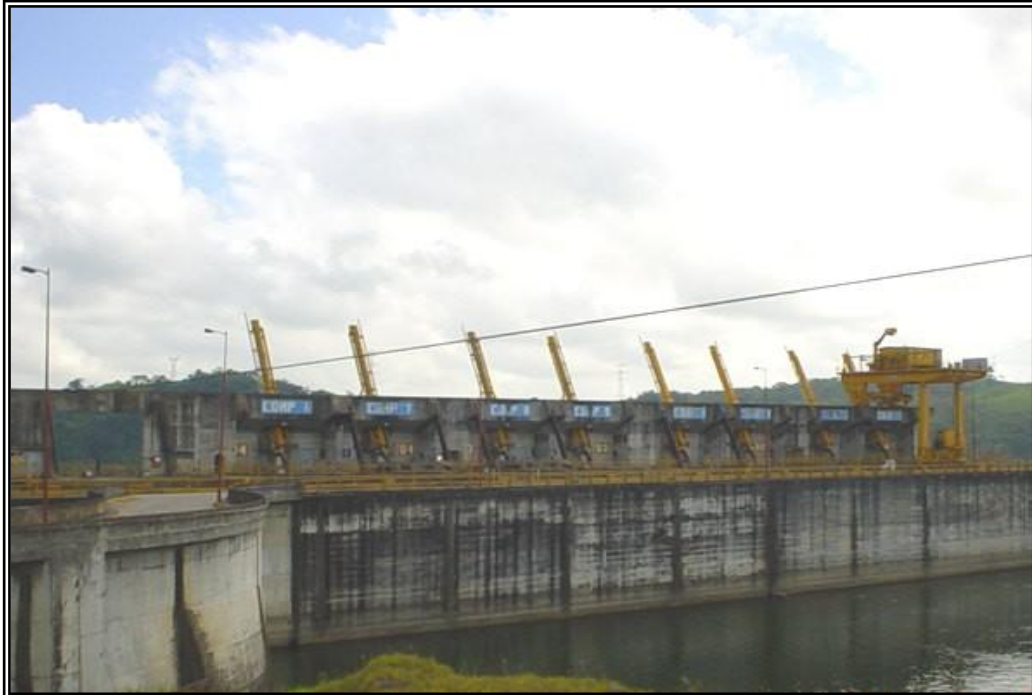
Fig. 1.3 Localización de la C.H. Ángel Albino Corzo

La Central Hidroeléctrica "PEÑITAS" se encuentra localizada en la margen izquierda del río grijalva, y consta de las siguientes estructuras: Obra de toma, tuberías de conducción, casa de maquinas y canal de desfogue. La Central Hidroeléctrica tiene como principal objetivo la generación de la energía eléctrica. Del vaso de almacenamiento se encauza a través de su canal de llamada, el agua que posteriormente será conducida a través de las tuberías de conducción, para operar las unidades generadoras, las cuales se encuentran ubicadas en la casa de máquinas y posteriormente restituir al río el gasto utilizado a través del canal de desfogue.

### OBRA DE TOMA

El mecanismo de obra de toma tiene la finalidad de permitir u obstruir el flujo de agua hacia la turbina, ya sea dentro de procedimientos de operación, en caso de fallas que requieran el cierre de compuertas en emergencia y en caso de mantenimientos programados y no programados ya sea a la Turbina o los propios mecanismos de Obra de Toma.

La siguiente imagen nos muestra la obra de toma de la C.H. Ángel Albino Corzo y ahí se pueden apreciar los servomotores (mecanismos de émbolos oleodinámicos de simple efecto) que sirven para abrir o cerrar las 4 compuertas con que cuenta la central. Mas a la derecha podemos ver también el canal de llamada de obra de toma en donde se encuentra el agua que sirve para operar las unidades generadoras.



**Fig. 1.4** Obra de toma de la C.H Ángel Albino Corzo



## **1.6 PROBLEMA A RESOLVER**

El presente trabajo es un análisis del proceso de mantenimiento llevado a cabo en la Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo específicamente al sistema oleodinámico de la Obra de Toma; esta publicado con el afán de ser una herramienta que proporcione conocimientos generales de operación, funcionamiento y mantenimiento del sistema antes mencionado.

## **1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES**

Dentro de los alcances de esta investigación está el implementar y mejorar en forma continúa la estrategia de mantenimiento al sistema oleodinámico de obra de toma, el cual le permitirá a la central poder realizar este proceso de manera segura, con mayor eficiencia y así lograr incrementar la disponibilidad del sistema.

La principal limitante para el desarrollo del proyecto fue que la investigación realizada se hizo exclusivamente en el sistema oleodinámico de la unidad N° 2, debido a que solo en esa unidad se realizó un mantenimiento menor y fue de manera muy general debido al poco tiempo que se le proporcionó a dicha actividad.

#### **2.1 BREVE HISTORIA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

Desde el principio de la humanidad, hasta finales del siglo XVII, las funciones de preservación y mantenimiento no tuvieron un gran desarrollo debido a la menor importancia que tenía la máquina con respecto a la mano de obra, ya que hasta 1880 el 90% del trabajo lo realizaba el hombre y la máquina solo hacía el 10%. La conservación que se proporcionaba a los recursos de las empresas era solo mantenimiento correctivo (las máquinas solo se reparaban en caso de paro o falla importante).

Con la primera guerra mundial, en 1914, las máquinas trabajaron a toda su capacidad y sin interrupciones, por este motivo la máquina tuvo cada vez mayor importancia. Así nació el concepto de mantenimiento preventivo que a pesar de ser oneroso, era necesario.

A partir de 1950 gracias a los estudios de fiabilidad se determinó que a una máquina en servicio siempre la integraban dos factores: la máquina y el servicio que ésta proporciona. De aquí surge la idea de preservar, o sea, cuidar que este dentro de los parámetros de calidad deseada. De esto se desprende el siguiente principio: el servicio se mantiene y el recurso se preserva por esto se hicieron estudios cada vez más profundos sobre fiabilidad y mantenibilidad. Así nació la ingeniería de conservación (preservación y mantenimiento). El año de 1950 es la fecha en que se toma a la máquina como un medio para conseguir un fin, que es el servicio que esta proporciona

#### **2.2 ¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL?**

Se define **mantenimiento** como: “conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad y el máximo rendimiento”.

La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada también con la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria y herramienta, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral.

Una organización de mantenimiento puede ser de diversos tipos, pero en todos ellos aparecen los tres componentes siguientes:

- Recursos. Comprende personal, refacciones y herramientas, con un tamaño, composición, localización y movimientos determinados.
- Administración. Una estructura jerárquica con autoridad y responsabilidad que decida que trabajo se hará además de cuando y como debe llevarse a cabo.
- Planificación del trabajo y sistema de control. Un mecanismo para planificar, programar el trabajo, y garantizar la recuperación de la información necesaria para que el esfuerzo de mantenimiento se dirija correctamente hacia el objetivo definido.

## **2.3 FUNCIONES BÁSICAS DEL MANTENIMIENTO**

Con pequeñas diferencias, es posible generalizar para CFE las funciones primarias y secundarias del departamento de mantenimiento en las centrales.

Como funciones primarias podemos englobar las siguientes:

- Mantenimiento del equipo existente en la planta.
- Mantenimiento de los edificios existentes en la planta.
- Modificaciones al equipo y edificios existentes.
- Nuevas instalaciones de equipo.

Como funciones secundarias podemos englobar las siguientes:

- Almacenamiento.
- Asesorar la compra de nuevos equipos.
- Protección de la planta, incluyendo incendios.
- Disposición de desperdicios.
- Recuperación.
- Servicios de limpieza.
- Eliminación de contaminaciones y bienes.

- Otros servicios delegados al departamento por la Superintendencia de la central.

## 2.4 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paro de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Balancear el costo de mantenimiento
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión.

## 2.5 CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS

### **Fallas Tempranas:**

Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser causadas por problemas de materiales, de diseño o de montaje.

### **Fallas adultas:**

Son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores (suciedad en un filtro de aire, cambios de rodamientos de una máquina, etc.).

### Fallas tardías:

Representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida del bien (envejecimiento de la aislación de un pequeño motor eléctrico, pérdida de flujo luminoso de una lámpara), etc.

## 2.6 UBICACIÓN DEL DEPARTAMENTO MECÁNICO EN LAS CENTRALES DE CFE

Una vez definidas las funciones del mantenimiento y su importancia, ubiquemos la posición del departamento encargado de realizar estas actividades dentro del organigrama de una central. Es necesario recordar que no existe una organización óptima; sin embargo, para el caso particular de CFE consideremos que la organización cumple con sus fines de satisfacer las situaciones específicas técnicas, geográficas y de personal.

La organización básica de una central de CFE y la ubicación del departamento de mantenimiento:

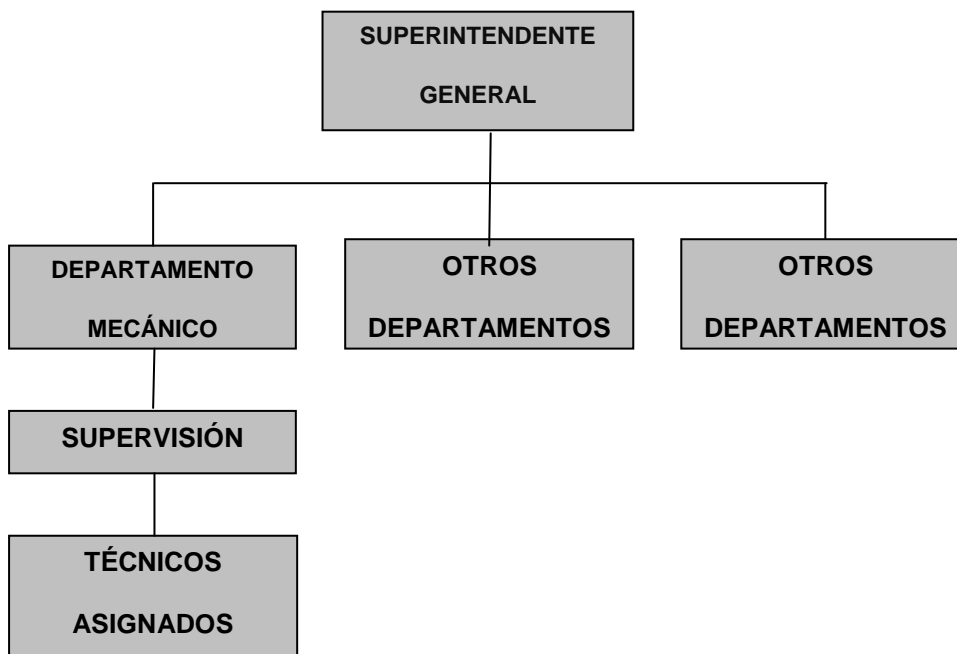
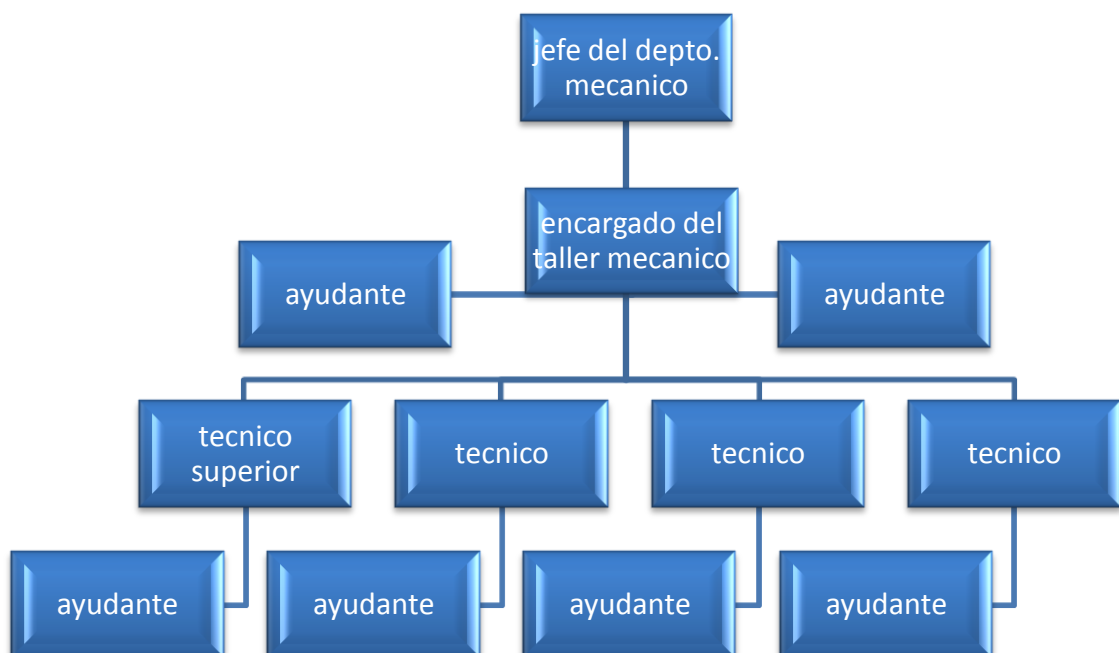


Fig. 2.1 Organigrama de la C.H. Ángel Albino Corzo

Como se puede observar en el organigrama simplificado, después del nivel de supervisión, se encuentra el personal técnico especializado asignado al departamento, que será la fuerza de trabajo responsable de ejecutar todas las actividades requeridas para cumplir con todas las funciones delegadas al departamento de mantenimiento en la central específica de que se trate, de lo anterior se desprende la necesidad de contar con personal calificado pues es base para obtener los objetivos fijados para la Central. Es necesario recordar que el nivel de ejecución es responsable de la calidad de los trabajos realizados y por lo tanto aporta un alto porcentaje de la efectividad del grupo.

El departamento mecánico de la C.H. Ángel Albino Corzo es el encargado del mantenimiento y tiene como misión mantener las máquinas generadoras y equipos auxiliares de la central en óptimas condiciones de operación para poder satisfacer las necesidades que el sistema nacional demande, el departamento cuenta con una plantilla de 12 personas:

- 1 Ingeniero Mecánico (Jefe del depto. Mecánico).
- 1 Jefe de Taller Mecánico (Encargado del Taller Mecánico).
- 1 Técnico Superior
- 3 Técnicos.
- 6 Ayudantes



**Fig. 2.2 Organigrama del departamento mecánico**

## 2.7 TIPOS DE MANTENIMIENTOS

Hemos definido las funciones de mantenimiento y la ubicación del grupo de mantenimiento dentro de la organización de la central. Definamos ahora los tipos de mantenimiento que pueden efectuarse y la importancia de cada uno de ellos.

### 2.7.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Es aquel que se ocupa de la reparación una vez se ha producido el fallo y el paro súbito de la máquina o instalación. Se clasifica en:

#### No planificado:

Es el mantenimiento de emergencia (reparación de roturas). Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.).

#### Planificado:

Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

#### Ventajas del mantenimiento correctivo

- Si el equipo está preparado, la intervención del mantenimiento será rápida y la reposición de puesta en marcha será en la mayoría de los casos con el mínimo de tiempo.
- No se necesita una infraestructura excesiva, un grupo de operarios competentes será suficiente, por lo tanto el costo de mano de obra será mínimo.
- Es rentable en equipos o máquinas que no intervienen de manera instantánea en la producción.

### Desventajas del mantenimiento correctivo

- Se producen paradas y daños imprevisibles en la producción que afectan a la planificación de manera incontrolada.
- Se suele producir una baja calidad en las reparaciones debido a la rapidez en la intervención, y a la prioridad de reponer el servicio antes que reparar definitivamente, por lo que se produce un hábito de trabajar de manera defectuosa, produce la insatisfacción e impotencia.

## **2.7.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Definido en forma adecuada, el verdadero trabajo de mantenimiento comprende la verificación, ajuste, reemplazo rutinario, lubricación y limpieza necesaria para asegurarse de que el equipo está en condiciones adecuadas para su operación.

Este tipo de mantenimiento es predecible, rápidamente adaptable, puede programarse adecuadamente, de acuerdo a experiencia, conocimiento de equipos, recomendaciones de fabricante, etcétera. El mantenimiento preventivo es el área donde se puede lograr las máximas economías sobre los costos totales de producción ya que su función primaria es la de evitar que haya fallas imprevistas en los equipos y por lo tanto, tiempo de indisponibilidad de equipos y en algunas ocasiones hasta máquinas cuyo costo resulta exorbitante.

Obviamente es posible establecer un plan que proporcione mantenimiento preventivo que reduzca a cero la posibilidad de fallas, a través de detectar previamente éstas y aplicar las medidas correctivas.

El establecimiento de programas adecuados, la ejecución de estos y la participación de personal tanto profesional como técnico preparado adecuadamente nos llevará a la obtención de los objetivos previamente fijados.

Desde luego el programa que se elabore deberá cumplir a satisfacción los siguientes cuestionamientos:

¿Qué debe inspeccionarse?

¿Para qué inspeccionar?

¿Con qué frecuencia inspeccionar?

¿Quién inspecciona?



Donde intervienen factores como la criticidad a importancia de los equipos, el costo de paro de los mismos, los promedios de vida útil así como la disponibilidad de equipos de relevo, personal con que se cuenta, etc.

#### Ventajas del mantenimiento preventivo:

- Confiabilidad. Los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto. Tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor duración de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en Almacén y por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan las refacciones de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

#### Desventajas del mantenimiento preventivo:

- Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra calificada, así también en los planes de mantenimiento.
- Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento, se puede sobrecargar el costo de este sin mejoras sustanciales en la disponibilidad de equipos.
- Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo produce falta de motivación en el personal.

### **2.7.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Este mantenimiento está basado en la inspección para determinar el estado y operatividad de los equipos, mediante el conocimiento de valores de variables que ayudan a descubrir el estado de operatividad; esto se realiza en intervalos regulares para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas.

Para este mantenimiento es necesario identificar las variables físicas (temperatura, presión, vibración, etc.) cuyas variaciones están apareciendo y pueden causar daño al equipo. Es el mantenimiento más técnico y avanzado que requiere de conocimientos analíticos y técnicos y necesita de equipos sofisticados.

### Ventajas del mantenimiento predictivo

- La intervención en el equipo o cambio de un elemento.
- Nos obliga a dominar el proceso y a tener unos datos técnicos, que nos comprometerá con un método científico de trabajo riguroso y objetivo.

### Desventajas del mantenimiento predictivo

- La implantación de un sistema de este tipo requiere una inversión inicial importante, los equipos y los analizadores de vibraciones tienen un costo elevado. De la misma manera se debe destinar un personal a realizar la lectura periódica de datos.
- Se debe tener un personal que sea capaz de interpretar los datos que generan los equipos y tomar conclusiones en base a ellos, trabajo que requiere un conocimiento técnico elevado de la aplicación.
- Por todo ello la implantación de este sistema se justifica en máquina o instalaciones donde los paros intempestivos ocasionan grandes pérdidas, donde las paradas innecesarias ocasionen grandes costos.

## **2.7.4 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (T.P.M.)**

El TPM es en la actualidad uno de los sistemas fundamentales para lograr la eficiencia total, en base a la cual es factible alcanzar la competitividad total. La tendencia actual a mejorar cada vez más la competitividad supone elevar al unísono y en un grado máximo la eficiencia en calidad, tiempo y coste de la producción e involucra a la empresa en el TPM.

Es un sistema de organización donde la responsabilidad no recae sólo en el departamento de mantenimiento sino en toda la estructura de la empresa "El buen funcionamiento de las máquinas o instalaciones depende y es responsabilidad de todos".

El TPM constituye un nuevo concepto en materia de mantenimiento, basado este en los siguientes cinco principios fundamentales:

Participación de todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios de planta. Incluir a todos y cada uno de ellos permite garantizar el éxito del objetivo.

Creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de los equipos y maquinarias. De tal forma se trata de llegar a la Eficacia Global.

Implantación de un sistema de gestión de las plantas productivas tal que se facilite la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan y se consigan los objetivos.

Implantación del mantenimiento preventivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyado en el soporte que proporciona el mantenimiento autónomo.

Aplicación de los sistemas de gestión de todos los aspectos de la producción, incluyendo diseño, desarrollo, ventas y dirección.

La aplicación del TPM garantiza a las empresas resultados en cuanto a la mejora de la productividad de los equipos, mejoras corporativas, mayor capacitación del personal y transformación del puesto de trabajo. Entre los objetivos principales y fundamentales del TPM se tienen:

Reducción de averías en los equipos.

Reducción del tiempo de espera y de preparación de los equipos.

Utilización eficaz de los equipos existentes.

Control de la precisión de las herramientas y equipos.

Promoción y conservación de los recursos naturales y economía de energéticos.

Formación y entrenamiento del personal.

#### Ventajas del mantenimiento productivo total

- Al integrar a toda la organización en los trabajos de mantenimiento se consigue un resultado final más enriquecido y participativo.
- El concepto está unido con la idea de calidad total y mejora continua.

#### Desventajas del mantenimiento productivo total

- Se requiere un cambio de cultura general, para que tenga éxito este cambio, no puede ser introducido por imposición, requiere el convencimiento por parte de todos los componentes de la organización de que es un beneficio para todos.

- La inversión en formación y cambios generales en la organización es costosa. El proceso de implementación requiere de varios años.

Dentro de CFE se cuenta con otros tipos de mantenimientos que son muy importantes y que a continuación se describen:

### **2.7.5 MANTENIMIENTO DE INSPECCIÓN O RUTINARIO**

Las funciones primarias de este tipo de mantenimiento son:

- Inspecciones periódicas de maquinaria y equipos para asegurar una operación eficiente y segura.
- Asegurar que el equipo que requiere trabajo en intervalos específicos, sea atendido.
- Inspección de mantenimiento de los equipos recibidos de los proveedores.
- Control de calidad del trabajo realizado por los grupos de mantenimiento.

Es claro ver que la función primordial de este tipo de mantenimiento es la de evaluar la condición actual de operación de los equipos y puede valerse de técnicas de diagnósticos y análisis de tendencia para eficientizar al máximo posible sus resultados.

### **2.7.6 MANTENIMIENTO MENOR Y MAYOR**

Se les considera como el reacondicionamiento planeado y programado de los diferentes equipos de una unidad turbogeneradora completa.

Los periodos de tiempo para efectuar este tipo de mantenimiento dependen de diversos factores, como son las horas de operación de la unidad, las recomendaciones y especificaciones de los fabricantes y condiciones operativas de la misma.

La diferencia entre mantenimiento mayor y menor es la cantidad de equipo que se inspecciona, en el mantenimiento mayor se inspecciona totalmente la turbina y todos sus elementos; en el mantenimiento menor normalmente no se destapa, al menos en su totalidad.

La importancia de efectuar este tipo de mantenimientos con un nivel adecuado de calidad estriba en los beneficios que aporta en la operación de la unidad, ya que al operar está dentro de los parámetros normales, los índices de confiabilidad y disponibilidad serán altos, con el consiguiente beneficio económico y operativo.

Por lo anterior, es de suma importancia diseñar los programas adecuados y los procedimientos específicos que sean necesarios para efectuar estos mantenimientos con el más alto nivel de calidad y el menor tiempo posible. La utilización de técnicas de control y técnicas de planeación de recursos serán herramientas de mucha utilidad para el logro de los objetivos.

En general, mantenimiento no es una función que pueda ser realizada aisladamente y como una acción individualizada, por el contrario, es una función con espíritu cooperativista e integrada y ubicada como una parte importante de la organización. La aportación de la fuerza de trabajo en general y del personal técnico especializado en particular es básica para el buen desempeño de la función y de esto, la necesidad de implementar los métodos de capacitación y preparación efectivos que nos lleven en este orden de cosas a la consecución de los objetivos fijados.

## **2.8 ORDEN DE TRABAJO**

Las ordenes de trabajo de mantenimiento son provocadas por “solicitudes de trabajo” que luego de ser firmadas por el encargado del taller y el jefe del departamento mecánico se convierten en “ordenes de trabajo”.

La orden de trabajo es un documento que sirve como prueba física del trabajo realizado a una máquina y/o equipo, y que también sirve para mostrar como evidencia en una auditoria en el sistema ISO.

### **¿QUE INCLUYE UNA ORDEN DE TRABAJO?**

- Los trabajos pendientes de mantenimiento por fecha y tiempo.
- Los trabajos del día, es decir, los que se observan durante los turnos y que deban ser efectuados de inmediato por el personal de mantenimiento.
- Actividades a realizar en el equipo y su procedimiento si es que se tiene.
- Los trabajos programados rutinarios efectuados.
- Anotar los problemas que se presentan.
- La solución más conveniente y observaciones al ejecutar el trabajo.

- Los materiales y refacciones que fueron necesarios para el control de almacén.

Para efectuar cualquier trabajo de mantenimiento, es muy conveniente llevar un perfecto control de donde se está trabajando. Para ello es necesario ajustarse al reglamento de operación en cuanto a licencias y libranzas de equipo.

Es muy importante que los trabajadores de mantenimiento nunca empiecen a efectuar su trabajo, sin antes haberlo solicitado previamente al operador de licencias correspondientes, quien la autoriza en su caso.

En la siguiente imagen se muestra una orden de trabajo utilizadas actualmente en CFE para realizar las actividades del mantenimiento:



## 2.9 ¿POR QUÉ DEBEMOS GESTIONAR EL MANTENIMIENTO?

¿Por qué debemos gestionar la función Mantenimiento? ¿No es más fácil y más barato acudir a reparar un equipo cuando se averíe y olvidarse de planes de mantenimiento, estudio de fallas, sistemas de organización, que incrementan notablemente la mano de obra indirecta?, es necesario gestionar el mantenimiento por lo siguiente:

1. Porque la competencia obliga a rebajar costos. Por tanto, es necesario optimizar el consumo de materiales y el empleo de mano de obra. Para ello es imprescindible estudiar el modelo de organización que mejor se adapta a las características de cada central; es necesario también analizar la influencia que tiene cada uno de los equipos en los resultados de la empresa, de manera que dediquemos la mayor parte de los recursos a aquellos equipos que tienen una influencia mayor; es necesario, igualmente, estudiar el consumo y el stock de materiales que se emplean en mantenimiento; y es necesario aumentar la disponibilidad de los equipos, no hasta el máximo posible, sino hasta el punto en que la indisponibilidad no interfiera en el Plan de Producción.

2. Porque han aparecido multitud de técnicas que es necesario analizar, para estudiar si su implantación supondría una mejora en los resultados de la empresa, y para estudiar también como desarrollarlas, en el caso de que pudieran ser de aplicación. Algunas de estas técnicas son las ya comentadas: TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total), diversas técnicas de Mantenimiento Predictivo (Análisis vibracional, termografías, detección de fugas por ultrasonidos, análisis amperimétricos, etc.).

3. Porque los departamentos necesitan estrategias y directrices a aplicar, que sean acordes con los objetivos planteados por la dirección.

4. Porque la Calidad, la Seguridad, y las interrelaciones con el medio ambiente son aspectos que han tomado una extraordinaria importancia en la gestión industrial.

Es necesario gestionar estos aspectos para incluirlos en las formas de trabajo de los departamentos de Mantenimiento.

Por todas estas razones, es necesario definir políticas, formas de actuación, es necesario definir objetivos y valorar su cumplimiento, e identificar oportunidades de mejora. En definitiva, es necesario Gestionar el Mantenimiento.



### DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

#### **3.1 MANTENIMIENTO MENOR A LA UNIDAD N. 2**

Durante mi estancia en la C. H. Ángel Albino Corzo se realizó el mantenimiento menor a la unidad N° 2, este mantenimiento se programó para tener una duración de 60 días.

El mantenimiento menor llevadas a cabo en las partes mecánicas de la unidad N° 2 fueron realizadas bajo la supervisión del Ing. Oscar Francisco Mendoza Solís quien es el jefe del departamento mecánico y las actividades del mantenimiento en general estuvieron bajo la responsabilidad del superintendente de la central Luis Toribio Martínez Ramírez.

La unidad N° 2 salió a mantenimiento el día 31 de Enero del 2011 a las 7:01 hrs. hasta el día 2 de abril del 2011 a la 1:35 hrs.

El objetivo del mantenimiento que en ese momento se le daba a la unidad antes mencionada fue para lo siguiente:

- Sustitución del regulador de velocidad electrohidráulico
- Reparación de zonas cavitadas en los alabes del rodete
- Cambio de sellos a los alabes del rodete y distribuidor
- Pruebas no destructivas a los soportes radiales del generador
- Mantenimiento a radiadores del generador
- Mantenimiento a chumaceras
- Mantenimiento a intercambiadores de calor
- Mantenimiento general al sistema oleodinámico de obra de toma
- Mantenimiento al sistema de agua de enfriamiento

Este apartado tiene la finalidad de ilustrar las actividades más importantes que se realizaron durante el mantenimiento por medio de un reporte redactado y fotográfico, así como también las características más importantes de los sistemas principales, todo esto se logró gracias a las facilidades brindadas por los trabajadores e ingenieros de la central.

### 3.2 TURBINA

La Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo (PEÑITAS) cuenta con cuatro Turbinas Kaplan con sistemas y equipos auxiliares, las cuales representan el elemento principal de la central, y tienen como función principal aprovechar la energía cinética y potencial del agua, que al pasar por los elementos de la turbina, ésta transforma la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica, para que a su vez esta energía mecánica sea transformada posteriormente en energía eléctrica mediante el generador.

Las turbinas Kaplan 5-K-37 son verticales, y están ubicadas en las cajas espirales de hormigón con codos blindados de los tubos de succión y con blindaje parcial de los conos de la propia caja espiral.



**Fig. 3.1 Rodete de la turbina Kaplan**

Los datos técnicos característicos de la turbina son:

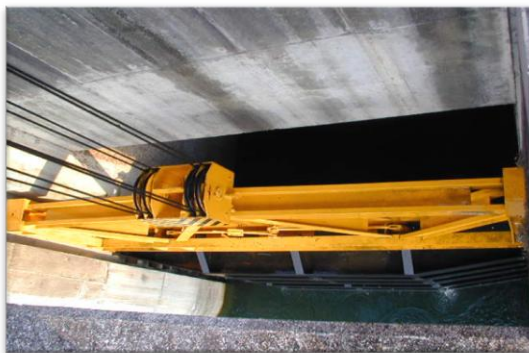
Tipo	Kaplan Vertical 5K37
Número de Turbinas	4
Potencia de la Turbina (P)	108.5 – 98.716 MW
Caída (H)	35.27 – 30.89 m
Caudal (Q)	334 – 349 m <sup>3</sup> /s
Velocidad de Régimen (Nn)	112.5 rpm
Velocidad de Embalamiento (Np)	291 rpm
Masa Inerte (GD2)	18.778 tm <sup>2</sup>
Trabajo de Regulación del Servomotor del Distribuidor	94,824 Kgm (carrera 835 mm)
Trabajo de Regulación del Servomotor del Rodete	137,344 Kgm (carrera 257 mm)
Crecimiento Máximo Calculado de la Presión	36% H

**Tabla 3.1 Datos técnicos de la turbina Kaplan**

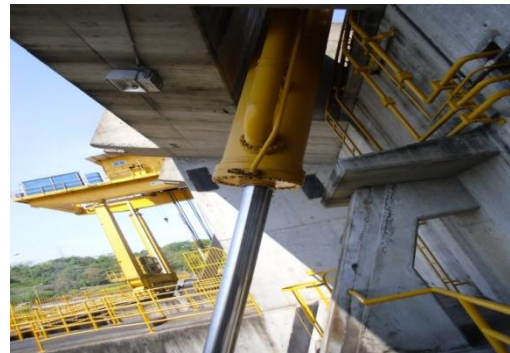
Para el inicio del mantenimiento a la turbina de la unidad N° 2 se llevó a cabo el cierre de compuertas 3 y 4 de obra de toma y desfogues, se realizó la apertura de las válvulas de descarga del caracol y de la tubería de aspiración, además, para el achique de la tubería se utilizaron 5 bombas verticales con capacidad de 300 y 50 hp. Durante un periodo aproximado de 4:00 horas.

Las actividades más importantes del mantenimiento a la turbina fueron las siguientes:

Se realizó el cierre de compuertas 3 y 4 de desfogues y obra de toma de la unidad N° 2. (Fig. 3.2 y 3.3).



**Fig. 3.2 Compuerta de desfogue**



**Fig. 3.3 Compuerta de obra de toma**

Se realizó la apertura de escotilla en el escudo superior, pudiendo acceder a los alabes del distribuidor, para la verificación de los sellos, encontrándose éstos en perfecto estado. (Fig. 3.4 y 3.5)



**Fig. 3.4 Escotilla de escudo superior**



**Fig. 3.5 Alabes del distribuidor**

Se colocó el andamio al interior del foso de turbina, para las maniobras posteriores al rodete y alabes de la unidad N° 2. (Fig. 3.6 y 3.7)



Fig. 3.6 y 3.7 Andamio al interior del foso de turbina

### 3.3 RODETE

Es el elemento rotatorio que transforma la energía cinética del agua, en movimiento giratorio o energía mecánica para accionar la unidad generadora.

El rodete tiene cinco alabes de fabricación en acero inoxidable que contiene el 13% de cromo y el 6% de níquel. Según el perfil hidráulico dado de la turbina representa el diámetro del cuerpo del rodete el 45% del diámetro total. El cuerpo del rodete es protegido por la capa soldada de acero inoxidable. El servomotor para el control de las alabes rotativas forma parte del rodete y está ubicado sobre el eje de los alabes rotativas.

Está constituido por tres partes principales: el cubo, el cono y los álabes móviles.

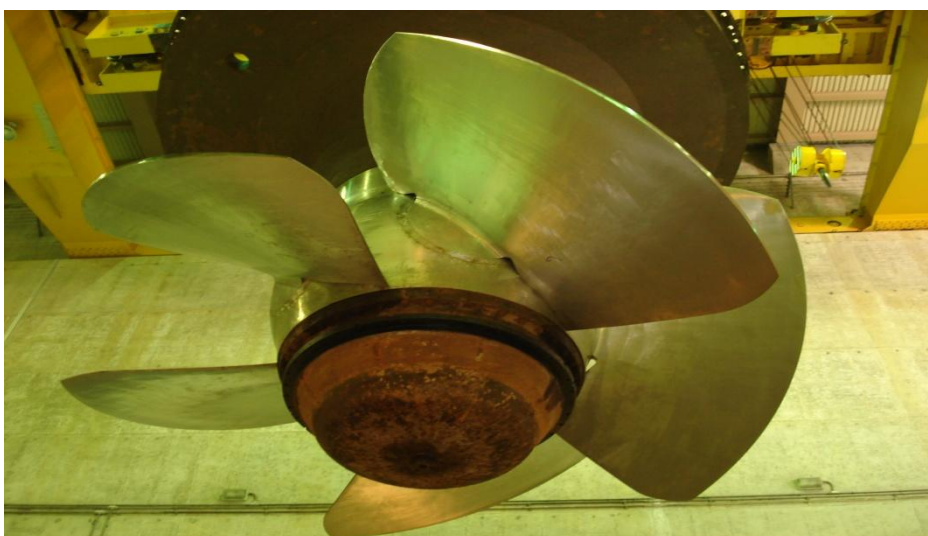


Fig. 3.8 Rodete de la turbina Kaplan

Las actividades más importantes del mantenimiento al rodete fueron las siguientes:

Se trascegó aceite del cono del rodete el cual es la extensión cónica debajo del cubo del rodete, el cual sirve para guiar el flujo del agua a la salida del rodete. (Fig. 3.9).



**Fig. 3.9 Cono del rodete**

El cubo del rodete es la parte central del rodete, que soporta los álabes móviles y aloja a los mecanismos que les proporcionan el movimiento que éstos requieren y contiene la cámara de lubricación y orificios de drenaje para desalojar el aceite infiltrado.

También se realizó la extracción de los 30 pisa sellos de los 5 álabes móviles del rodete para el cambio de sellos. (Fig. 3.10).

Los álabes móviles del rodete son los elementos curvos o alabeados del rodete, ensamblados alrededor del cubo. Pueden ajustarse para presentar su perfil más eficiente al paso del agua, transformando la energía cinética del agua, con la mayor eficiencia posible, en energía mecánica la cual es transmitida al propio cubo y a la flecha de la turbina, proporcionando en esta forma, el par motor que se requiere para hacer girar al rotor del generador.



**Fig. 3.10 Cambio de sellos de los alabes**

Se rectificó y esmeriló los 30 pisa sellos del rodete, ya que estos presentaron corrosión así como desgaste. (Fig. 3.11)



**Fig. 3.11 Pisa sellos de los alabes del rodete**

Se colocaron los tapones de sujeción de los pisa sellos de los alabes del rodete. (Fig. 3.12)



**Fig. 3.12 Tapones de sujeción de los pisa sellos**

Se realizó la reparación de zonas cavitadas en el área del perímetro de la descarga de la tubería de conducción; y se repararon las zonas bajas de los alabes del rodete en donde se observaba erosión por cavitación. (Fig. 3.13)



**Fig. 3.13 Zona cavitada de los alabes del rodete**

### 3. 4 SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

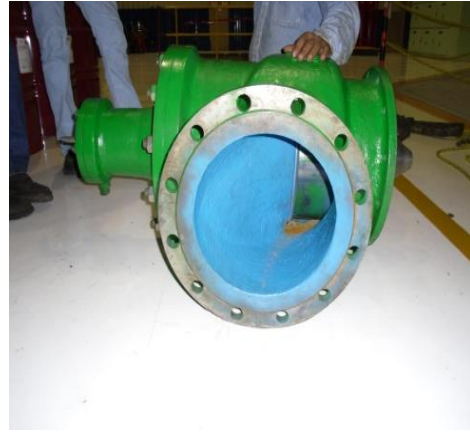
El sistema de agua de enfriamiento en las unidades, tiene la finalidad de mantener los rangos de temperatura permisibles en los diferentes elementos que componen la unidad, a fin de garantizar el funcionamiento correcto de estos en cuanto a fallas ocasionadas por el incremento de temperatura se refiera. Se cuenta con un flujo de agua corriente continuo tomado del agua que alimenta a la turbina, teniendo una serie de dispositivos y equipo para el control y supervisión de el correcto funcionamiento de este sistema.

La alimentación general del agua de enfriamiento, es tomada de la carcasa espiral a través de una válvula hidráulica operada por una electroválvula, y la presión corresponde a la caída existente entre aguas arriba y piso de turbinas. Los equipos a los que se les suministra agua para enfriamiento son los siguientes:

- Enfriamiento del generador.
- Enfriadores de aire.
- Enfriadores de chumacera guía superior generador.
- Enfriamiento chumacera combinada.
- Enfriadores de chumacera combinada.
- Enfriamiento guía inferior turbina.
- Enfriadores de chumacera guía turbina.
- Enfriamiento prensa estopas.
- Enfriamiento del aceite de regulación.
- Enfriador del tanque de aceite sin presión.

Las actividades más importantes del mantenimiento al sistema de agua de enfriamiento fueron las siguientes:

Se efectuó maniobras de desmontaje de la válvula principal de agua de enfriamiento, con la finalidad de proporcionarle mantenimiento a dicha válvula. (Fig. 3.14 y 3.15)



**Fig. 3.14 y 3.15 Válvula principal de agua de enfriamiento**

Se procedió al mantenimiento del sistema de filtrado de agua de enfriamiento (filtro dúplex M342). Ya que estas se encontraron con erosión y desgaste. (Fig. 3.16)



**Fig. 3.16 Filtro dúplex M342**

Se continuó con el Desmontaje, mantenimiento y montaje de las bombas de agua infiltrada m361 y m362. (Fig. 3.17).

El sistema de bombeo de agua infiltrada tiene la función de achicar las fugas de agua que se acumulan en la tapa de la turbina proveniente del Sistema de regulación de aceite, del eje de la turbina, de los servomotores.





**Fig. 3.17 Bomba de agua infiltrada**

Los datos técnicos característicos de la bomba de agua infiltrada son:

Marca:	Ready
Tipo de bomba:	Sumergibles autocebantes
Altura máxima de descarga:	14 m.
Potencia:	820 W
Caudal máximo:	5.8 l

**Tabla 3.2 Datos técnicos de la bomba de agua infiltrada**

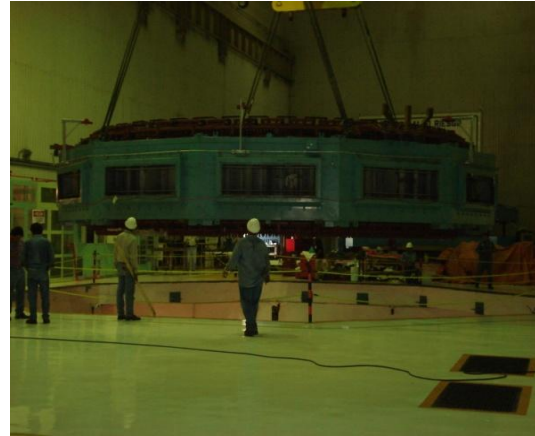
### 3. 5 GENERADOR

El generador es el conjunto de partes electromecánicas que nos sirven para convertir la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica. Esto se logra haciendo girar un campo magnético constante, alrededor de una serie de bobinas de tal manera que se corten las líneas de flujo, engendrando con esto una fuerza electromotriz que aparecerá en los extremos de las bobinas.

Al campo giratorio le llamamos “ROTOR” (Fig. 3.18) y es el elemento que está acoplado directamente con la flecha de la turbina para aprovechar la energía mecánica de ésta, convertida en movimiento giratorio. A la serie de bobinas, conjuntamente con su laminado lo denominamos “ESTATOR” (Fig. 3.19) siendo éste la parte fija del generador que es donde se genera la fuerza electromotriz.



**Fig. 3.18 Rotor**



**Fig. 3.19 Estator**

Los datos técnicos característicos del generador son:

Marca	Asea
Capacidad Nominal	110,465 KVA
Capacidad para Diseño Mecánico	0.95
Factor de Potencia ( )	108,330 KW
Frecuencia Nominal	60 Hz
Velocidad Nominal	112.5 rpm
Velocidad de Desboque	291 rpm
Voltaje Nominal	13,800 V
Corriente Nominal	4,622 A
Clase de Aislamiento Estator	F
Clase de Aislamiento Rotor	F
Numero de Polos	64
Número de Fases	3
Número de Enfriadores de aire	12

**Tabla 3.3 Datos técnicos característicos del generador**

Las actividades más importantes del mantenimiento al generador fueron las siguientes:

Se realizaron las maniobras de desmontajes de los radiadores del estator del generador para el mantenimiento a los mismos, además del mantenimiento a válvulas de alimentación y descarga del enfriamiento. (Fig. 3.20 y 3.21)

La función de los radiadores del estator es intercambiar calor al ambiente, y es un dispositivo sin partes móviles ni producción de calor. Cada unidad generadora, tiene 12 radiadores para enfriar el estator del generador.



**Fig. 3.20 y 3.21 Radiadores y válvulas de alimentación y descarga del enfriamiento**

Los datos técnicos característicos de los radiadores son:

Datos para un Enfriador	A carga normal	A sobre carga
Flujo de aire.	5.1 m <sup>3</sup> /seg.	5.1 m <sup>3</sup> /seg.
Flujo de agua.	17.75 m <sup>3</sup> /h	17.75 m <sup>3</sup> /h
Temperatura aire entrada.	60.2 o C	65.7 o C
Temperatura aire salida.	37.0 o C	38.7 o C
Temperatura agua entrada.	27.0 o C	27.0 o C
Temperatura agua salida.	33.5 o C	34.6 o C
Caída presión aire.	185 Pa	186 Pa
Caída presión agua.	101.5 KPa	101.1 KPa
Presión máxima de trabajo agua.	1 MPa	1 MPa
Material tuberías.	Cu/Ni 70/30	Aletas de tubo Al.
Material placas colectoras.	Metal muntz	-----
Capacidad de enfriamiento.	135.17 Kw	157.5 Kw

**Tabla 3.4 Datos técnicos de los radiadores**

Se verificó mediante pruebas no destructivas (líquidos penetrantes y partículas magnéticas secas) el estado de los 12 soportes radiales al igual que a los 16 transmisores de par del estator, encontrándose en perfectas condiciones. (Fig. 3.22 y 3.23)

El Estator es la parte fija del generador donde se forman las líneas de fuerzas magnéticas que bajo la acción de un campo magnético giratorio genera una fuerza electromotriz.

El Estator está formado por: el bastidor es una estructura soldada construida de placas de acero y perfiles. Está compuesto de anillos horizontales, placas, soportes verticales y barras en cola de milano.

Exteriormente tiene una forma de polígonos regulares y dividida en compartimentos. El bastidor se diseña para que solo existan fuerzas de compresión pequeñas en el núcleo cuando su temperatura exceda aquella del bastidor o para asegurar deformaciones

mínimas debido a la presencia de fuerzas magnéticas desbalanceadas y para prevenir pérdidas en la circularidad debido a las diferencias de temperaturas.



**Fig. 3.22** Transmisor de par



**Fig. 3.23** Soporte radial

### **3.6 CHUMACERA GUÍA GENERADOR**

La chumacera guía superior soporta las fuerzas radiales del rotor está construida de una sola unidad con excepción del cubo, el cual se monta por contracción. La chumacera se compone de las siguientes partes:

- Carcasa
- Segmentos
- Cubo
- Pozo de aceite
- Cubierta superior

Las actividades más importantes del mantenimiento a la chumacera guía generador fueron las siguientes:

Se realizó el desmontaje de la tapa inferior de la cuba para la realización de la limpieza al interior, cambio de la empaquetadura y montaje de la tapa.



**Fig. 3.24** Interior de la chumacera guía generador

Los datos técnicos característicos de la chumacera guía generador son:

No. de Segmentos:	10 segmentos
Holgura entre segmentos:	0.17 mm
Capacidad en litros de la cuba:	170 lts
Tipo de aceite:	heavy médium
Rangos de temperaturas:	
Intercambiador de calor:	1 (agua/aceite)
Caudal de alimentación de agua:	45 lts/min.

**Tabla 3.5 Datos técnicos de la chumacera guía generador**

Se realizó limpieza al enfriador de aceite de la chumacera guía generador.

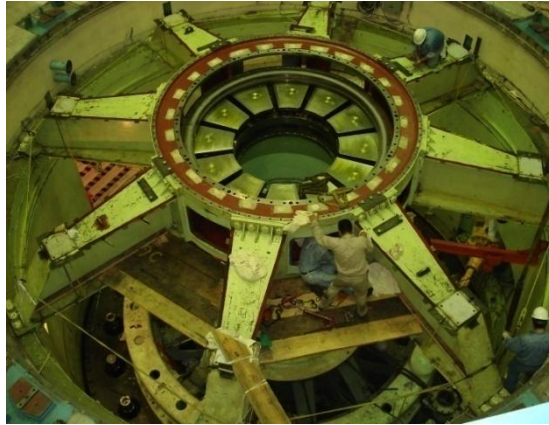


**Fig. 3.25 Enfriador de aceite de la chumacera guía generador**

Para el enfriamiento del aceite de lubricación de la chumacera superior guía generador, se cuenta con dos intercambiadores de calor por unidad, los cuales toman el agua del ramal de los enfriadores de aire. El flujo de agua para los enfriadores es de  $1.2 \text{ m}^3/\text{h.}$ ; los enfriadores están constituidos por cuatro tubos de cobre, en forma de U, expandidos dentro de una placa tabular de latón.

### **3.7 CHUMACERA GUÍA COMBINADA**

La chumacera de carga soporta la carga axial de componentes de la turbina (rodete, flecha y rotor del generador) y está en el cono soldado unido (cilindro de carga) en la parte inferior con la tapa de la turbina (escudo superior).



**Fig. 3.26 Chumacera guía combinada**

Los datos técnicos característicos de la chumacera guía combinada son:

No. de Segmentos:	12 Segmentos Axiales
Capacidad en litros de la cuba:	8000 lts
Tipo de aceite:	heavy médium
Capacidad de carga radial:	1800 tons
Capacidad de carga axial:	128 tons
Chumacera par registro de las temperaturas.	
Temperatura máxima del metal es de:	75°C
Temperatura máxima del aceite es de:	65°C
Chumacera guía intermedia:	
No. de segmentos:	24 segmentos radial
Holgura entre segmentos:	0.33 mm ( +- 0.40 mm)
Intercambiador de calor:	4 ( agua / aceite )

**Tabla 3.6 Datos técnicos de la chumacera guía combinada.**

La chumacera combinada o de carga está situada debajo del generador. Se combina además, por segmentos axiales y radiales, y ambas partes descansan en la cuba de la chumacera. La carga axial de la chumacera sobre el rodete de la turbina y el peso del rotor del grupo, es igual a 18000 kN. Y la carga radial alcanza 280 hasta 300 kN.

El calor que se genera en el espacio de la chumacera combinada por la fricción de las superficies de deslizamiento, por efectos del bombeo y la sumersión del rotor del cojinete en el aceite, lo recibe el aceite circundante.

Este es enfriado durante la circulación en los enfriadores de agua que están suspendidos debajo de los brazos de la estrella radial. La menor parte del calor generado sale por la radiación y la convección desde las superficies calentadas a los alrededores y a través de la guía en la flecha.

Las actividades más importantes del mantenimiento a la chumacera guía generador fueron las siguientes:

Se realizó retrolavado de los intercambiadores de calor de la chumacera guía combinada. Esta actividad se realizó durante un periodo de 5 horas en total.

Del ramal de descarga de los filtros se toma el agua para el enfriamiento de la chumacera combinada, ajustando la cantidad necesaria de agua por medio de una válvula reguladora. La temperatura del agua está controlándose por la sonda del termómetro de resistencia a la entrada y a la salida. El agua está distribuida por la tubería en cuatro intercambiadores de calor horizontales, colocados sobre los brazos de la estrella de la chumacera combinada. La entrada y salida de agua desde cada refrigerador puede ser cerrada por las válvulas manuales de diámetro de 125 mm. El gasto de agua es de 57.5 l/seg.

Los enfriadores están hechos de cuproníquel, esta aleación es un buen conductor de calor y presenta buena resistencia hacia la corrosión.



**Fig. 3. 27 Intercambiadores de calor de la chumacera guía combinada**

Los datos técnicos característicos de los intercambiadores de calor son:

Referencia del plano:	0 VTU 8412 – 096		
Cantidad por unidad:	4 intercambiadores		
Capacidad :	300 lts		
Gasto de agua:	57.5 lts / seg	Haz de tubos:	414
Peso neto:	1440	Longitud del tubo:	2085
Material del tubo:	70% Cu y 30 % Ni	Espesor del tubo:	3 mm
Diámetro del tubo:	16 mm	Total del sup. Refrigeradora:	40 m2

**Tabla 3.7 Datos técnicos de los intercambiadores de calor**

### 3.8 CHUMACERA GUÍA TURBINA

La chumacera guía turbina de diámetro de 1500 mm tiene la propia circulación del aceite y está dimensionado para las condiciones de servicio y de avería más desfavorables. La chumacera es enfriada por medio de intercambiadores de calor para el enfriamiento del aceite y está conformado por una serie de instrumentos para la medición de variables. A través del cuerpo de la chumacera es posible el acceso a la prensaestopa aun durante el servicio. Todas las adaptaciones necesarias en la prensaestopa, por ejemplo, recambio de los anillos de carbón, pueden realizarse sin desmontar la chumacera guía turbina.



**Fig. 3.28 Chumacera guía turbina**

En el espacio de la tapa de turbina (escudo superior) se halla el dispositivo para achicar el agua infiltrada desde la prensaestopa y a través de los manguitos obturadores de los pernos de los alabes del distribuidor. El agua de infiltración es encauzada a la parte inferior del adaptador de la tapa de turbina (escudo superior) donde se encuentran también los dispositivos de interrupción o sea conexión automáticos. En la tapa (escudo superior) está igualmente situado el dispositivo controlado automáticamente para sacar el aceite infiltrado desde el servomotor de la rueda distribuidora (anillo de regulación). Para aireamiento del espacio debajo de la tapa de la turbina sirven cuatro válvulas de aereación controladas por el anillo de regulación. La revisión de dichas válvulas puede efectuarse sin obstruir el tubo de succión.

Los datos técnicos característicos de la chumacera guía turbina son:



Referencia plano:	0 vtu 8360-162.
No. De segmentos:	12 segmentos radiales.
Dimensión de los segmentos:	300 x 300 mm.
Holgura entre segmentos:	0.25 mm ( 0.20-0.30 mm)
Diámetro :	1500mm.
Capacidad en litros de la cuba:	600 lts
Tipo de aceite:	Heavy médium.
Intercambiador de calor:	6 (agua aceite).
Temperatura.	
Temperatura máxima del metal:	75°c
Temperatura máxima del aceite:	65°c
Caudal de alimentación de agua:	75-80 lts/min

**Tabla 3.8 Datos técnicos de la chumacera guía turbina**

Las actividades más importantes del mantenimiento a la chumacera guía turbina fueron las siguientes:

Se realizó el desmontaje de la tapa superior, se trascegó el aceite y se hizo limpieza general al interior de la cuba de la chumacera, así como también la sustitución de los tramos de tubería de alimentación de la chumacera.



**Fig. 3.29 Cuba de la chumacera**

Se realizo limpieza a los enfriadores de la chumacera guía turbina.



**Fig. 3.30 Enfriadores de la chumacera guía turbina**

### 3.9 REGULADOR DE VELOCIDAD

El mecanismo de regulación de velocidad en una turbina hidráulica, tiene la función de mantener la velocidad constante en la unidad, ajustándola a la velocidad de diseño. Debido a las posibles fallas que causen un desbalance en la reacción potencia-apertura del distribuidor, la velocidad de la turbina tiende a variar, por lo que, para evitar estas variaciones, el mecanismo de regulación de velocidad ajusta a través de dos servomotores la apertura del distribuidor y álabes del rodete, controlando así en función de las condiciones de operación la velocidad de trabajo de la turbina.

El regulador de velocidad se divide en dos: la parte eléctrica y la parte hidráulica. El esquema de regulación de velocidad de las turbinas Kaplan de la central hidroeléctrica Peñitas está concebido para soportar una unidad de procesamiento de error de velocidad del tipo Proporcional - Integral - Derivativo con error permanente por desviación de frecuencia, así como un procesador de error en potencia activa del tipo Integral y un sistema de control de apertura del rodete con corrección por volumen de gradiente hidrostático con los cuales se determina la apertura del distribuidor y apertura de rodete en una acción combinada destinada a obtener una máxima eficiencia para diferentes cargas de potencia activa así como para diferentes caídas de agua o sea diferentes valores de gradiente hidrostático. La flecha superior transmite el movimiento desde la flecha principal de la turbina hasta el rotor del generador. Está formado de acero forzado, normalizado y maquinado en toda su superficie, la parte inferior es forjada para formar una brida para conexión al eje principal.

Las actividades más importantes del mantenimiento al regulador de velocidad fueron las siguientes:

Se inició el proceso de sustitución de sistema de regulación de velocidad, sin antes haber retirado el aceite del sistema, e iniciar labores de desmontaje de equipos.



**Fig. 3.31 Desmontaje del sistema de regulación de velocidad**

Se realizó limpieza al tanque vk 311 y vk 112 (fig. 3.32 y 3.33)



Fig. 3.32 Tanque vk 311(aceite a presión)



Fig. 3.33 Tanque vk 112 (aire baja presión)

Se realizó la fabricación y armado del depósito de aceite vk 300 (tanque de aceite a baja presión)



Fig. 3.34 Depósito de aceite vk 300 (tanque de aceite a baja presión)

Se realizó la instalación de tuberías, accesorios, bombas reguladoras y válvulas 26R y 26D.

VÁLVULAS DISTRIBUIDORAS 26-D Y 26-R.

Su función es permitir el paso de aceite a presión hacia los servos que mueven los álabes del distribuidor (26-D) y del rodete (26-R); como estos servos son pistones de doble efecto, estas válvulas al dejar pasar el aceite por un conducto hacia una cámara del servo permite que por otro conducto se descargue el aceite contenido en la otra cámara del servo hacia el tanque VK-300.

La válvula 26-D es gobernada por una válvula piloto, la cual uno de sus cámaras está conectado directamente al tanque VK-311, es decir, mantiene una presión estable de 38 Kg/cm<sup>2</sup> (cámara inferior), la cámara inferior por diseño es de menor área respecto a la superior, la superior se hace variar la presión de aceite por medio de diversas válvulas, de tal forma, que cuando la presión en la cámara superior es igual o ligeramente mayor a la inferior, el pistón se desplaza hacia abajo, el vástago del pistón de la válvula de 26-D o 26-R está conectado al vástago del pistón de la válvula piloto, de forma que cualquier desplazamiento en el pistón de la válvula piloto lo transmite a la válvula 26-D, cuando el pistón de la válvula 26-D baja, deja pasar aceite al servo para abrir los álabes del distribuidor. Este proceso es igual para la válvula 26-R.

Cuando una unidad generadora para, se cierra una válvula que impide el paso a la válvula piloto, como consecuencia se pierde presión en la cámara superior, el pistón sube seguido del vástago del pistón de la válvula 26-D, cambia de posición y deja que el aceite regrese al tanque VK-300 cerrando los álabes del distribuidor.



**Fig. 3.35 Válvulas 26-D Y 26-R**

Los datos técnicos característicos de las válvulas 26-D y 26-R son:

Marca:	ANDRITZ HYDRO
Tipo de fluido:	Aceite hidráulico Heavy Medium
Presión de trabajo:	38 Kg/cm <sup>2</sup>
Material del cuerpo:	Acero al carbón
Tipo de válvula:	5/3 vías

**Tabla 3.9 Datos técnicos de las válvulas 26-D y 26-R**

## BOMBAS DE REGULACIÓN

Son las encargadas de inyectar la presión de 38 Kg/cm<sup>2</sup> al aceite del sistema de regulación, es difícil precisar el tiempo exacto en que estas bombas entran en operación debido a que la pérdida de presión en el Tanque VK-311 no es uniforme. Las bombas de regulación siempre están trabajando las 24 horas del día, solo que

trabajan a una mínima carga y en vacío por medio de la electroválvula MEX10AA001, aumentan su carga cuando la presión del tanque VK-311 disminuye y por medio de un PLC, manda al motor de la bomba a aumentar su carga o amperaje al mismo tiempo que energiza la electroválvula MEX10AA001.

Cuando la unidad generadora está en operación, una bomba entra en el modo de marcha permanente. Estando la bomba en marcha, succiona el aceite del depósito sin presión (VK-300) forzándolo a circular y abrir la válvula check para que posteriormente llegue este al depósito acumulador aire/aceite (VK-311). Estando alguna de las bombas en operación continua, es evidente que existe un desequilibrio entre la cantidad de aceite que la bomba envía (bombeo mayor que consumo). Esto se reflejaría como un incremento constante en el tanque acumulador; como medio para controlar la sobrepresión, se cuenta con una válvula denominada “regulador de presión”, la cual se encarga de permitir (abriéndose) la recirculación del aceite proveniente de la bomba hacia el tanque sin presión, cuando esta alcanza la presión de trabajo (38 Kg/cm<sup>2</sup>) y forzar a que circule (cerrándose) hacia el mismo, cuando la presión desciende hasta los 36 Kg/cm<sup>2</sup>.

Esta forma de operar es la misma para las otras motobombas, con la diferencia que trabajan a diferentes rangos de presiones. En la siguiente tabla se muestran los parámetros de operación de cada motobomba.

Bomba de Regulación	Arranque (Kg/cm2)	Paro (Kg/cm2)
M-311	36	38
M-312	35.5	37.5
M-313	35	37

**Tabla 3.10 Parámetros de operación de cada motobomba**



**Fig. 3.36 Bombas de regulación**

Los datos técnicos característicos de las bombas de regulación son:

Marca:		KRAL	
Motobomba de tornillo, montaje vertical			
Caudal de trabajo:		600 l/min	
Tipo de aceite:		Heavy médium	
Presión:	40 kg/cm <sup>2</sup>	Frecuencia:	60 Hz
Rpm:	3400 rpm	Potencia del motor:	66 KW
Voltaje :	380/480 V	Peso:	380 kg

**Tabla 3.11 Datos técnicos de las bombas de regulación**

Se instaló el sistema de enfriamiento de aceite del deposito vk 300.



**Fig 3.37 Sistema de enfriamiento de aceite del deposito vk 300**

Del ramal de descarga de los filtros de lavado automático, se toma una tubería de 50 mm de diámetro para el enfriamiento del aceite de regulación. Sobre la entrada está instalado un regulador, teniendo además, sondas termométricas de resistencia a la entrada y salida, flujómetro de contactos y válvula corrediza manual.

Toda el agua de refrigeración de descarga, excepto el agua en el sello de carbón y desde el lavado de los filtros automáticos, el cual tiene su descarga independiente hacia el canal, están conducidos por una tubería central de 300 mm de diámetro, la cual cuenta con una válvula corrediza manual y desemboca en el canal de desfogue.

# OPERACIÓN, FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA OLEODINÁMICO DE OBRA DE TOMA

## 4.1 GENERALIDADES

La Obra de Toma consiste en compuertas rodantes de cierre rápido, operadas por vástagos y servomotores hidráulicos. Cada una de las cuatro turbinas de la Central tiene su condición de toma bipartida y es protegida por dos compuertas (Compuerta de Servicio), normalmente abiertas en posición de espera, disponibles para cerrar por gravedad en agua muerta o bajo cualquier condición de flujo previsto. Aguas arriba de las compuertas de servicio, se pueden bajar las compuertas de protección y mantenimiento (Compuertas Auxiliares) operadas por una grúa pórtico especial.

El sistema de obra de toma y tubería de presión consiste en los siguientes equipos:

- Compuertas verticales
- Rejillas
- Sistema oleodinámico
- Tanque de aceite
- Bombas de sistema oleodinámico
- Filtros
- Válvulas
- Instrumentación asociada al sistema
- Servomotor (mecanismo de émbolo oleodinámico de simple efecto)
- Tubería de conducción

### REJILLAS

Las rejillas metálicas se colocan con la finalidad de impedir que elementos extraños (ramas, troncos, etc.) puedan ingresar a la tubería de presión y dañar las turbinas.

Para cada unidad se cuenta con rejillas principales cuya función es evitar el paso de troncos o material extraño del embalse hacia la turbina.

### COMPUERTAS DE OBRA DE TOMA

Las compuertas tienen como finalidad aislar de las aguas del embalse, a las tuberías de presión y la turbina. Las compuertas operarán esporádicamente, estando ligado su funcionamiento con las inspecciones de las respectivas tuberías de conducción o como protecciones de las turbinas.

La obra de toma está formada por 8 compuertas rodantes seccionadas, la apertura de cada compuerta se realiza accionando un servomotor oleodinámico a pistón; cada servomotor está alimentado por una central oleodinámica independiente, la cual consta de 3 electrobombas de engranaje doble estadio y equipo de seguridad y control.

A compuerta abierta, el pistón está sostenido por el aceite contenido en la cámara inferior del cilindro servomotor, además se cuenta con un dispositivo automático de recuperación de aceite para recobrar la bajada eventual de la compuerta debido a la pérdida de aceite a través de los empaques.

Las compuertas de servicio pueden ser mandadas y controladas de las siguientes formas: Localmente desde las casetas de mando en la obra de toma y a distancia desde la sala de tableros de la central.

El mando de cierre por gravedad puede ser: eléctrico automático (local o remoto), eléctrico voluntario (local o remoto), manual voluntario (local).

La indicación de posición de las compuertas de servicio se realiza:

Localmente: con lámparas e indicador mecánico

A distancia: con lámparas e indicador eléctrico sobre los tableros de la central



## 4.2 SISTEMA OLEODINÁMICO DE OBRA DE TOMA

### GENERALIDADES

Servomotor:		
Fabricación:		BADONI-ATB
Diámetro del cilindro:		650 mm
Diámetro del vástago:		200 mm
Carrera nominal:		12800 mm
Apertura by-pass:		60 mm
Apertura completa:		12700 mm
Extracarrera:		40 mm
Tiempo de apertura:	by-pass	10 seg. aprox.
	Reapertura	900 seg. aprox.
Tiempo total de cierre:		25 seg. aprox.
Capacidad nominal de izaje (con carga equilibrada):		900 kN
Capacidad de diseño en frenadura:		3200 kN
Capacidad de izaje (con carga desequilibrada):		2900 kN
Presión nominal de diseño:		10.65 MPa (109 kg/cm <sup>2</sup> )
Presión de prueba:		16.0 MPa (163 kg/cm <sup>2</sup> )
Volumen aproximado de aceite:		3.50 m <sup>3</sup>
Tiempo intermedio de cierre de la compuerta (amortiguamientos):		
FASE I:	De 0-10900 mm, 15 seg. Regulable	
FASE II:	De 10900-12600 mm, 4,5 seg. Regulable	
FASE III:	De 12600-12700 mm, 5,5 seg. Regulable.	
Tanque sobreelevado (con válvula de aire)		
Capacidad:		0.45 m <sup>3</sup>
Presión de diseño:		1.0 MPa (10 kg/cm <sup>2</sup> )
Válvula de frenado de dos etapas más frenadura final:		
Caudal nominal:		13100 l/min (regulable)
Presión nominal:		140 kg/cm <sup>2</sup>
Presión de prueba:		210 kg/cm <sup>2</sup>

Central Oleodinámica:

Deposito de aceite:

Capacidad:	2.0 m <sup>3</sup>
Tapón de llenado con filtro:	HDA TIPO FA 7640
Indicador eléctrico de mínimo nivel:	KS TIPO NM 127/1
Indicador visual de nivel de aceite:	HDA TIPO VN 127/67

Motores eléctricos:

Fabricación:	WEG
Tipo:	200L Fc B3
Potencia:	40 CV
Velocidad:	1770 cps
Tensión:	480 V
Frecuencia:	60 hz
Calentador:	120V-60 Hz

Bomba Hidráulica:

Fabricación:	Rexroth
Tipo:	De engranaje doble estadio
Q teórico:	152,5 + 105,4 l/min
Velocidad:	1770 r.p.m.
Presión máx.	210 kg/cm <sup>2</sup>

Filtros de aspiración:

Fabricación:	HDA
Tipo:	FST-500-74M-24B
Filtración:	74 micrones
Q aspiración:	500 l/min

Filtros de descarga:

Fabricación:	HDA
Tipo:	FRT-500-10-2F-PSM
Filtración:	10 micrones
Q:	500 l/min

Válvula de máx. Presión:

Fabricación:	Rexroth
Tipo:	DB20-2-30/315 X U
Calibración:	110 kg/cm <sup>2</sup>

Válvula de máx. Presión:	
Fabricación:	Rexroth
Tipo:	DA-30-2-30/80
Calibración:	54.0 kg/cm <sup>2</sup>
Electrodistribuidor:	
Fabricación:	Rexroth
Tipo:	4WE 10B10/LG 250N
Interruptores de presión:	
Fabricación:	Rexroth
Tipo:	HED 2-OA 10/200K
Calibración:	
63 Q1-2-3:	20.0 kg/cm <sup>2</sup>
63 Q4-5-6:	107.0 kg/cm <sup>2</sup>
63 Q min 1-2:	50.0 kg/cm <sup>2</sup>
63 Q max 1-2:	105.0 kg/cm <sup>2</sup>
Válvula de control de presión:	
Fabricante:	SCAI
Tipo:	Dnom: 1-1/2 "
Calibración:	2-10 kg/cm <sup>2</sup>
Presión necesaria para abrir la sección sup. de la compuerta:	95.0 kg/cm <sup>2</sup>
Presión necesaria para la reapertura:	< 95.0 kg/cm <sup>2</sup>
Válvula de frenado 46.2:	DN 32
Válvula de frenado 46.6:	DN 100
Válvula de frenado 46.5:	DN 100
Peso total de la compuerta (ambas secciones):	60 ton.
No. de compuertas por unidad:	2
No. de servomotores por unidad:	2
Tipo de conducción de toma:	bipartida
Tipo de compuerta:	Rodante seccionada

## 4.3 OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA OLEODINÁMICO DE OBRA DE TOMA

### 4.3.1 APERTURA A BY-PASS DE LA COMPUERTA

Al accionar el botón de apertura se pone en marcha el motor que acciona las bombas P3 y P4, haciéndolas funcionar en vacío a través de la válvula 13.2 (de máx. presión 110 kg/cm<sup>2</sup>) pilotada por el electrodistribuidor 14.2., el cual esta comandado a través de un timer calibrado a 10 seg. (Tiempo estimado en que el motor alcanza sus revoluciones nominales)

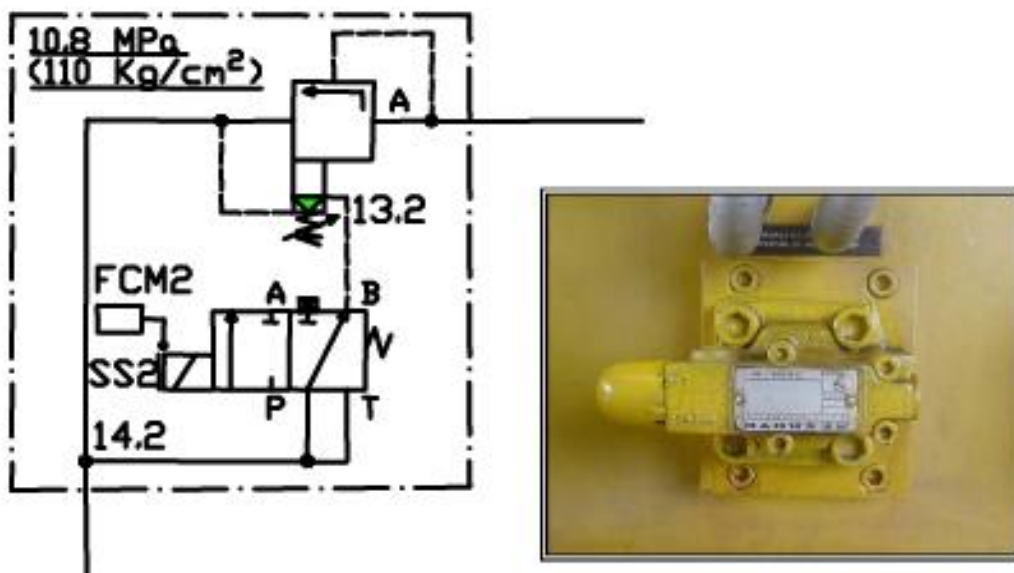


Fig. 4.1 Válvula 13.2 de máx. Presión Apertura by pass 110 kg/cm<sup>2</sup>



Fig. 4.2 Electro distribuidor 14.2 para válvula de máx. Presión

Transcurridos los 10 segundos el timer energiza la bobina SS2 del electrodistribuidor 14.2, y la válvula 13.2 es obturada, permitiendo así la carga de presión a través de la bomba P4

Fig. 4.3 Válvula check 11.4

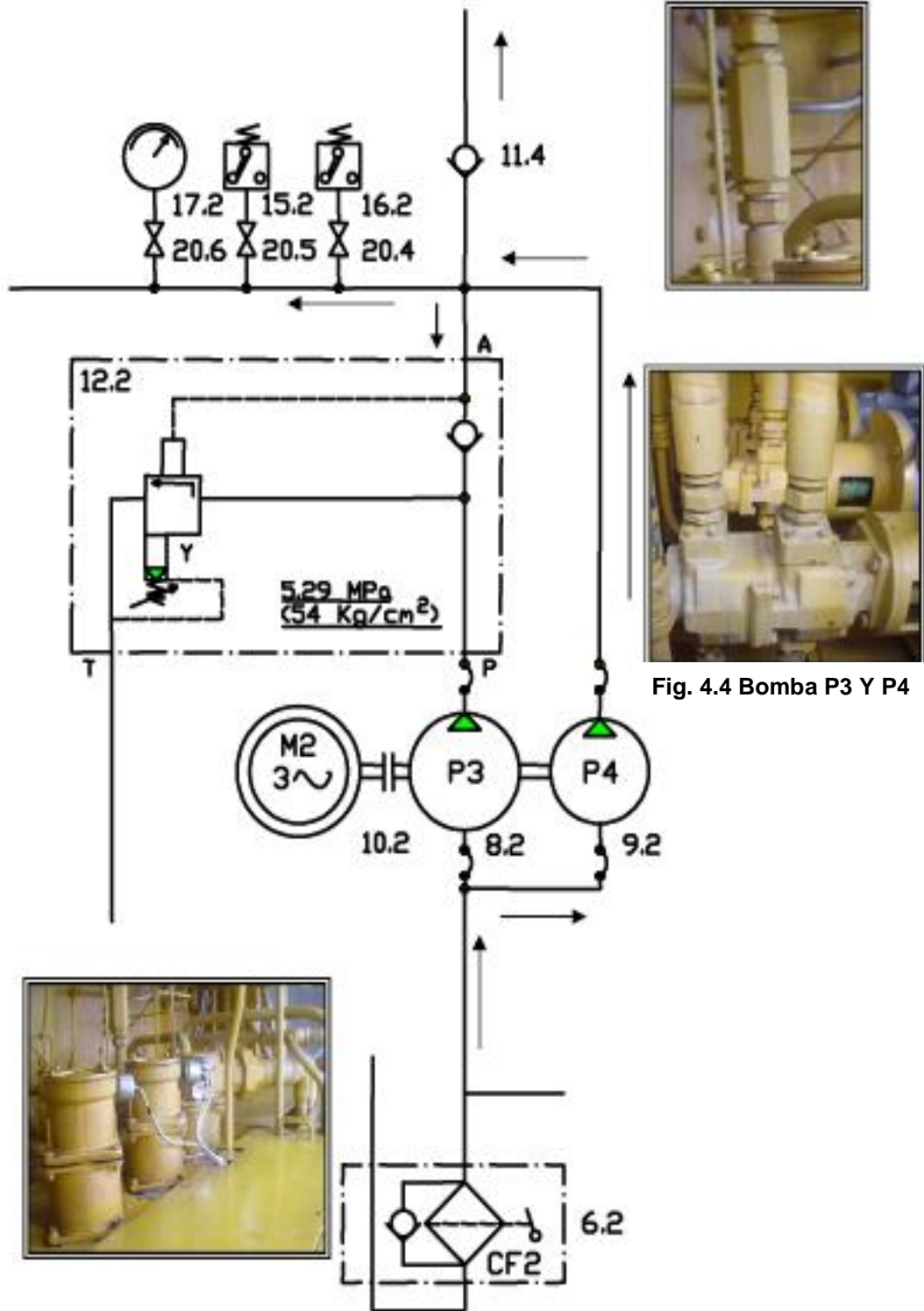
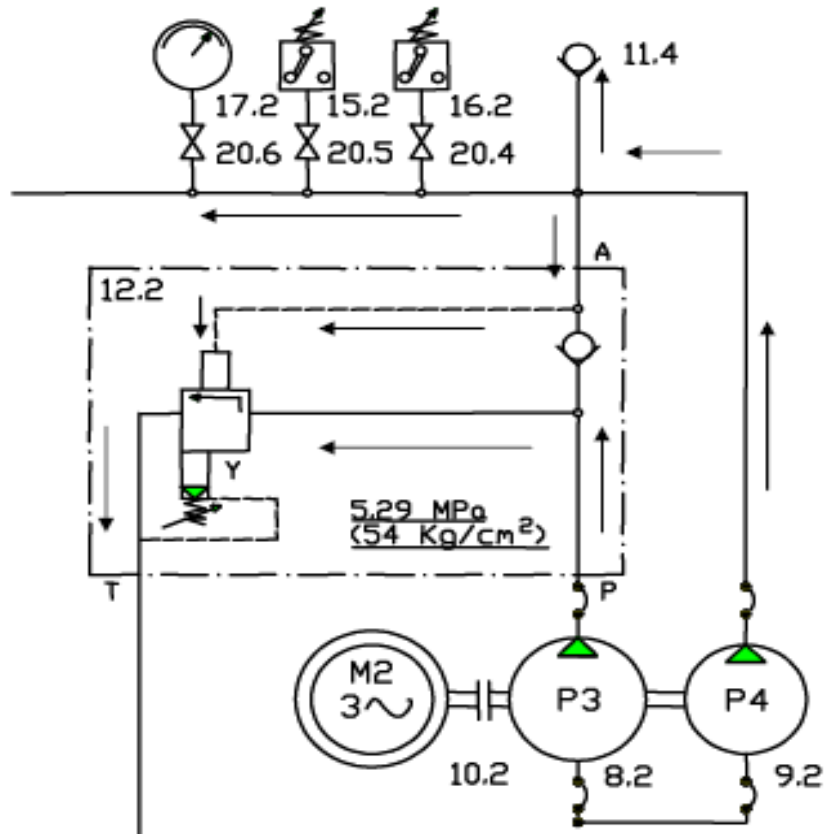


Fig. 4.4 Bomba P3 Y P4

Fig. 4.5 Filtros de aspiración 6.2 Para bombas P3 Y P4

La apertura del by-pass de la compuerta es realizada solamente por medio de la bomba P4, ya que la bomba P3 es trabajada en vacío a través de la válvula 12.2 (54 kg/cm<sup>2</sup>). Como la presión necesaria para abrir la sección superior de la compuerta es de aprox. 95 kg/cm<sup>2</sup>, la presión levantada por la bomba P4 llega la pilotaje de la válvula 12.2 y obtura la check, aislando el ramal de la bomba P4 y operando la válvula 12.2 para recircular el flujo de la bomba P3, y mantenerla en condición de trabajo en vacío



**Fig. 4.6 Válvula 12.2 de máx. Presión para apertura  
Con carga equilibrada 54 kg/cm<sup>2</sup>**

Paralelamente a lo anterior descrito, al momento de accionarse el mando de apertura, se excita el motor MR del actuador 29.2, y gira la válvula de 3 vías (28.2) hacia la posición de apertura. Con estas condiciones, el aceite a presión bloquea las válvulas de frenado, y se inicia entonces el izaje de la compuerta, hasta la posición aproximada de 60 mm en un tiempo aprox. de 10 seg. Esta carrera es limitada por el “micro” FCBA1, el cual al accionarse, para el grupo electrobomba y energiza la señalización “BY-PASS ABIERTO”.



Fig. 4.7 Actuador 29.2 para el mando de cierre

VÁLVULA 28.2 EN POSICIÓN DE COMPUERTA ABIERTA

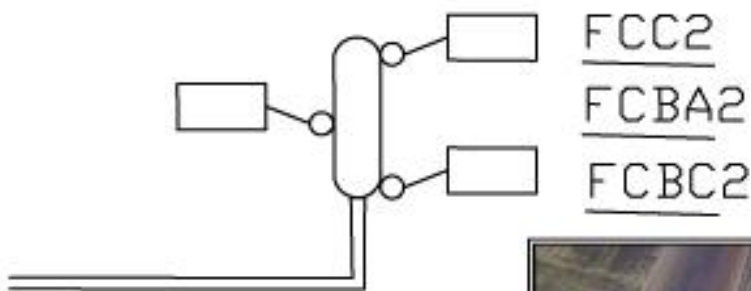
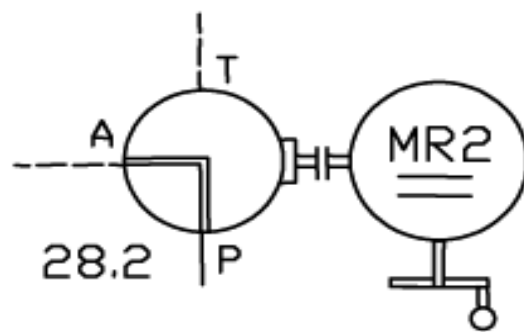
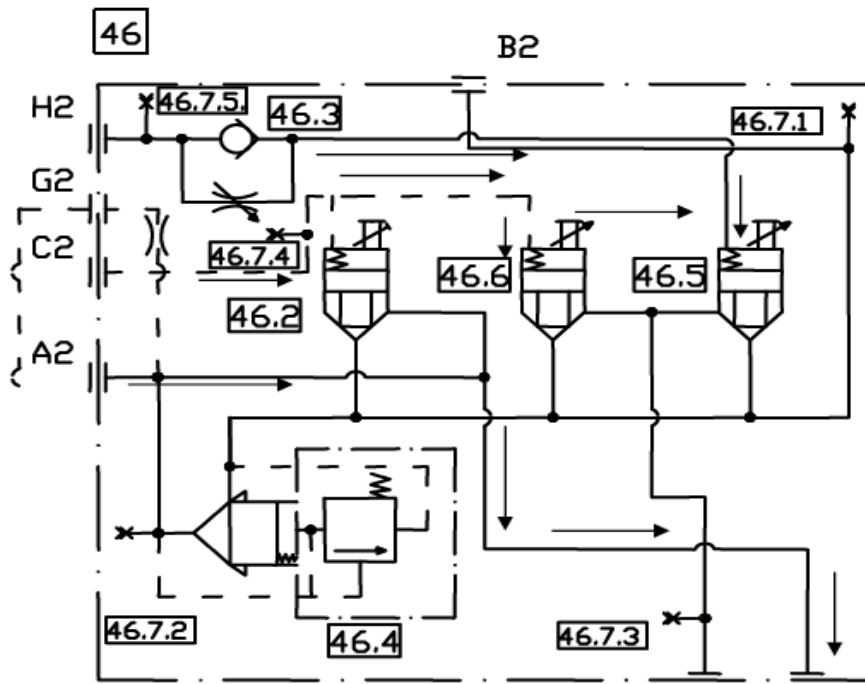
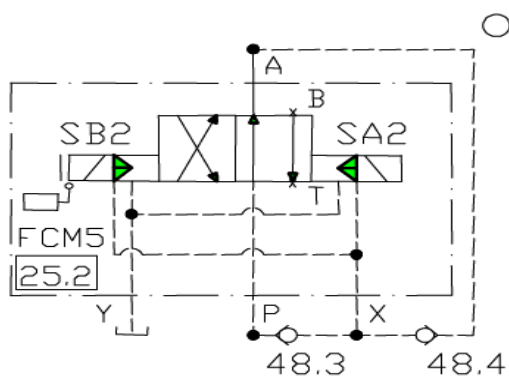


Fig. 4.8 Inicio del izaje de la compuerta



**Fig. 4.9 Válvula de freno 46.5 y 46.6**  
De la 1ra y 2da etapa.  
Cierre veloz y cierre intermedio

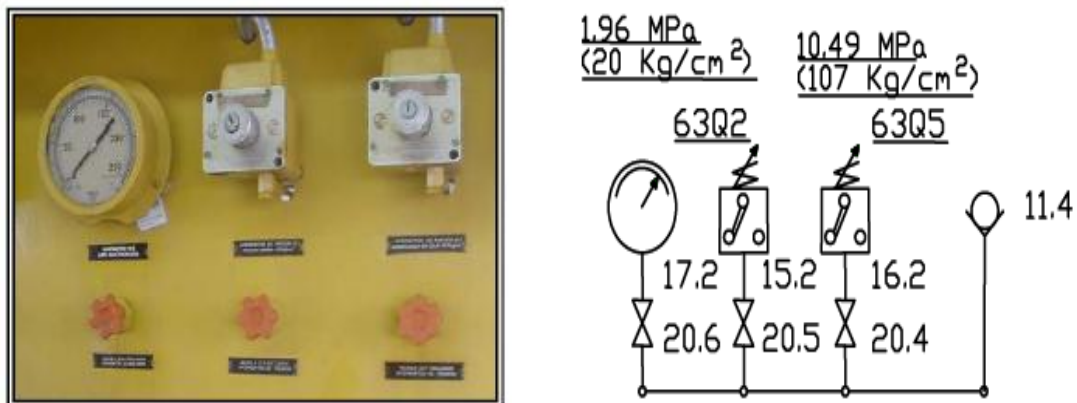
Durante el mando de apertura del by-pass, el circuito del acumulador está excluido, por la posición del electrodistribuidor 25.1.



**Fig. 4.10 Electro-distribuidor 25.1 Para el circuito del acumulador**



En caso de que el “micro” del límite de apertura del by-pass no funcione por falla, y la compuerta desplace la sección superior de la inferior, la presión aumentara hasta alcanzar el valor calibrado de 107 kg/cm<sup>2</sup>, valor calibrado del 63Q5 que para el grupo de electrobomba y activa la señalización “SOBRECARGA DE IZAJE”.



**Fig. 4.11 Manómetros e interruptores de presión para acumulador**

Cuando es excitado el rel de apertura del by-pass, se excita también un timer calibrado a 25 seg, tiempo en el cual si este no es librado, para el grupo electrobomba y prende el botón luminosos “FALLA APERTURA DE BY-PASS”.

Cuando es accionado el “micro” FCBA, es excitado un timer, calibrado al tiempo aprox. de llenado de la tubería. Después de transcurrido este tiempo, se predisponen los circuitos para la reapertura de las compuertas, con presiones equilibradas. Por razones de seguridad, este rel esta en serie con un contacto que mide equilibrio de presión aguas arriba y aguas debajo de la compuerta, todo esto conjunto activa la señalización “PRESIONES EQUILIBRADAS”

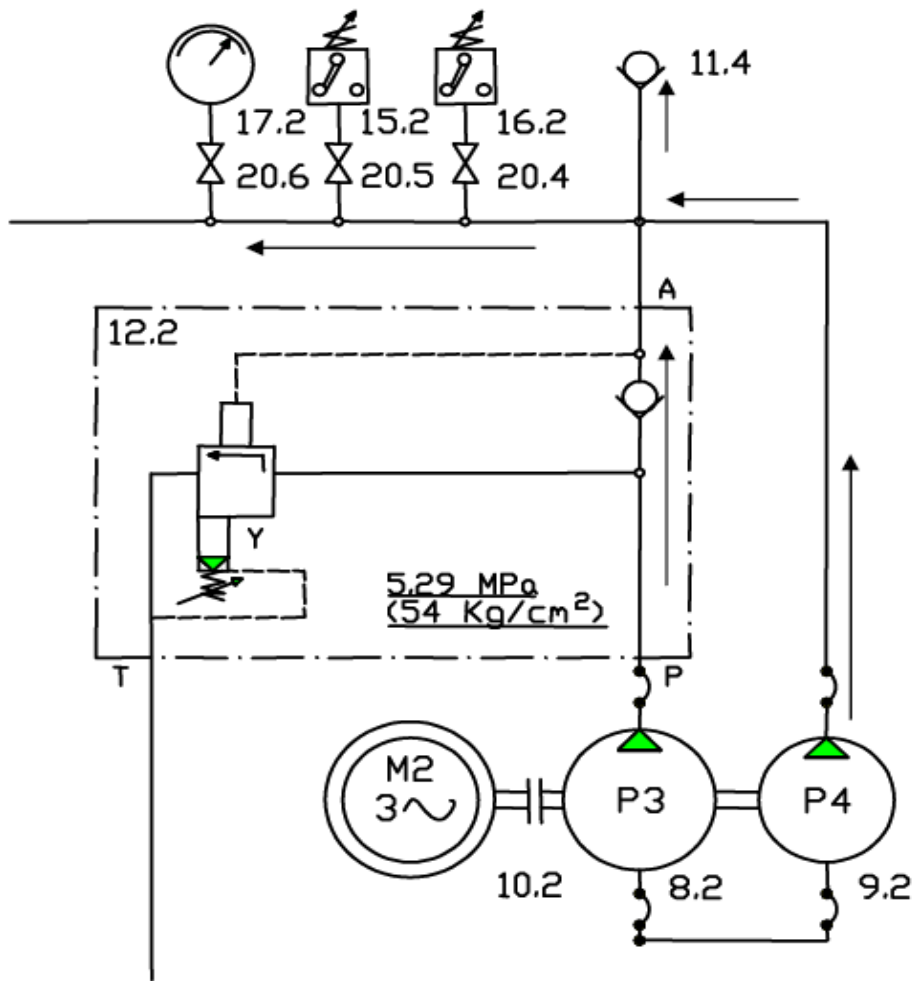
### 4.3.2 REAPERTURA DE LA COMPUERTA

Para la apertura de la compuerta, se repite las mismas operaciones y funciones que en el mando de apertura de by-pass

La reapertura es ahora realizada mediante las dos bombas P3 y P4, esto se configura debido a que la presión necesaria para el levantamiento de la compuerta con carga equilibrada es inferior al valor calibrado de la válvula 12.2 (54 kg/cm<sup>2</sup>), por lo tanto el aceite a presión es aportado también por la bomba P3.

La compuerta se levanta e inicia la fase de reapertura, la cual es señalada a través de una lámpara intermitente (“COMPUERTA EN MOVIMIENTO”)

### Fase de reapertura de la compuerta



Cuando la compuerta se levanta completamente y acciona el “micro” FCA1, manda una señalización intermitente “COMPUERTA EN MOVIMIENTO”.

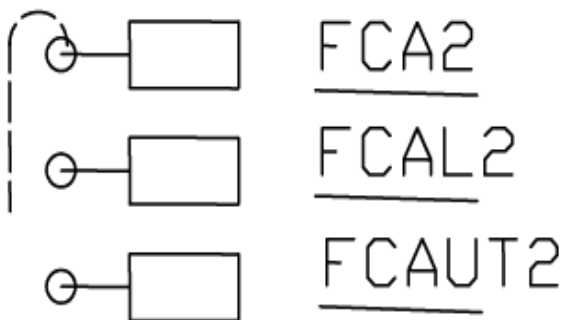


Fig. 4.12 Compuerta en movimiento

### 4.3.3 RECARGA DEL ACUMULADOR

Accionando el “micro” FCA1, se activa el circuito de recarga del acumulador, el cual mantiene alimentado el grupo electrobomba, y energiza el electrodistribuidor 25.2 de inserción del acumulador.

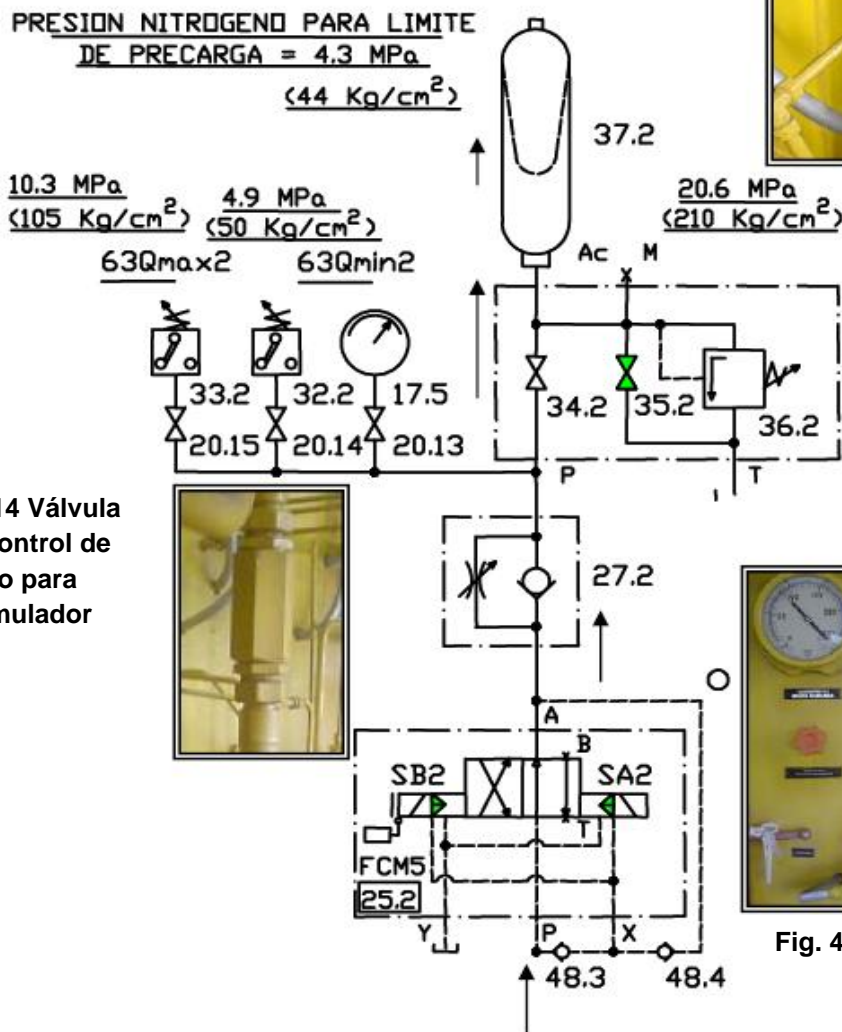


Fig. 4.14 Válvula 27.2 control de flujo para acumulador



Fig. 4.13 Válvula de seccionamiento 35.2 normalmente



Fig. 4.15 Circuito acumulador

El circuito acumulador sirve para mantener la compuerta en posición abierta y reponer las fugas internas de aceite en el circuito. Cuando la presión baja hasta el valor de 50 kg/cm<sup>2</sup>, se pone en contacto el grupo electrobomba por medio del interruptor 63Qmin 2, y este es desactivado al alcanzar el valor calibrado del presostato 63Qmax 2.

### 4.3.4 CIERRE AUTOMATICO POR FALLA DE LA SUSTENTACIÓN

En caso de una falla por sustentación, la compuerta por efectos de las fugas en el sistema, Acciona el micro FCAL2 que activa la alarma “ALARMA-COMP. SIN CONTROL” y “FALLA SUST. COMPUERTA”.



Fig. 4.16 Micro FCA2, FCAL2 Y FCAUT2

Si la compuerta continúa su descenso, se acciona el micro FCAUT2, y se activa el cierre automático, bajando la compuerta.

### 4.3.5 MANDO DE CIERRE (CIERRE DE LA COMPUERTA)

Cuando es activado el mando de cierre, es alimentado el motor del actuador 29.2, posicionándose la válvula 28.2 en modo de cierre, de esta forma el aceite de pilotaje de los elementos lógicos (válvulas de frenado) 46.5, 46.6 y 46.2 es descargado a través de esta válvula.

Por la presión generada debido al peso de la compuerta y del vástago, se abren las válvulas de frenado a través de sus superficies anulares, pasando de esta forma el aceite de la cámara superior del cilindro, cerrando así la compuerta.

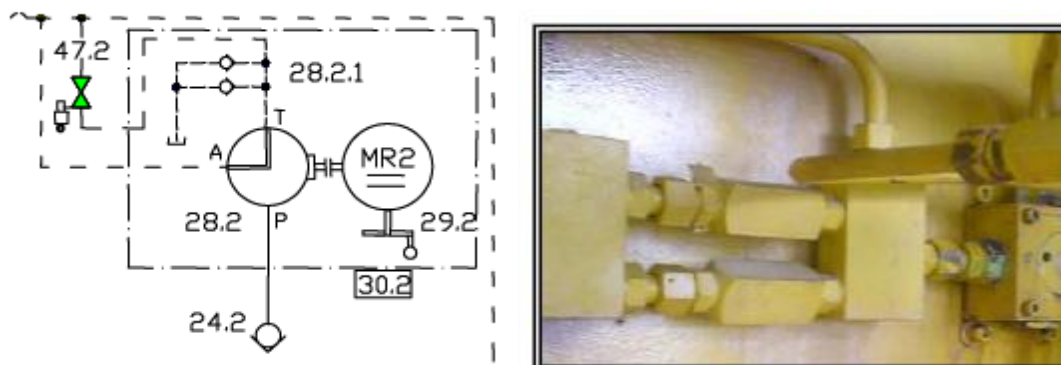
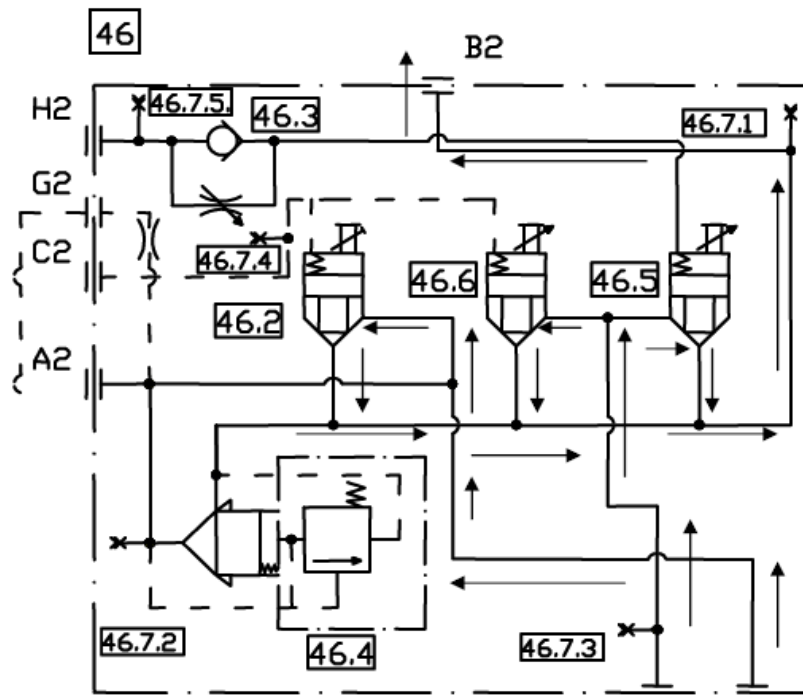


Fig. 4.17 Válvula 28.2 en posición de compuerta cerrada

El cierre de esta compuerta se efectúa en tres fases distintas:

### FASE I, de 0-10 900 mm.

Fase de cierre veloz, hasta un poco arriba de la altura de cierre crítica, con tiempo regulable de 15 seg. durante esta fase, las válvulas de frenado se encuentran abiertas (elementos lógicos 46.2, 46.5, 46.6), y la compuerta baja a una velocidad aprox. 0.72 m/s.



### FASE II, de 10 900-12 600 mm

Fase intermedia; durante esta fase están abiertas las válvulas 46.6 y 46.2, mientras que la 46.5 está cerrada, la compuerta baja entonces a una velocidad de 0.378 m/s. esta condición es ejecutada, cuando la compuerta alcanza los 10 900 mm y la válvula 39.2 es accionada e invierte su posición, para direccionar aceite a presión al pilotaje de la válvula de frenado 46.5, mientras que las válvulas 46.6 y 46.2 permanecen abiertas debido a que sus pilotajes están drenados a través de la válvula 28.2.

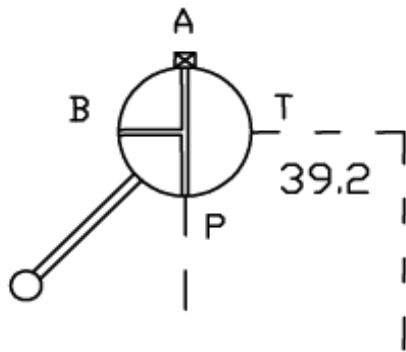


Fig. 4.18 Posición compuerta cerrada

Durante el cambio de velocidad, el tiempo de cierre de la válvula 46.5 es controlado por medio del regulador de flujo 46.3.

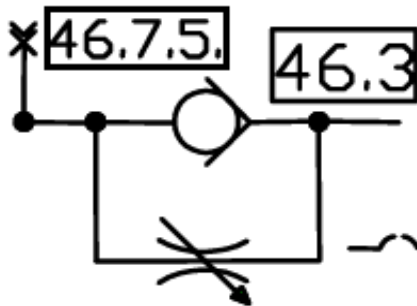
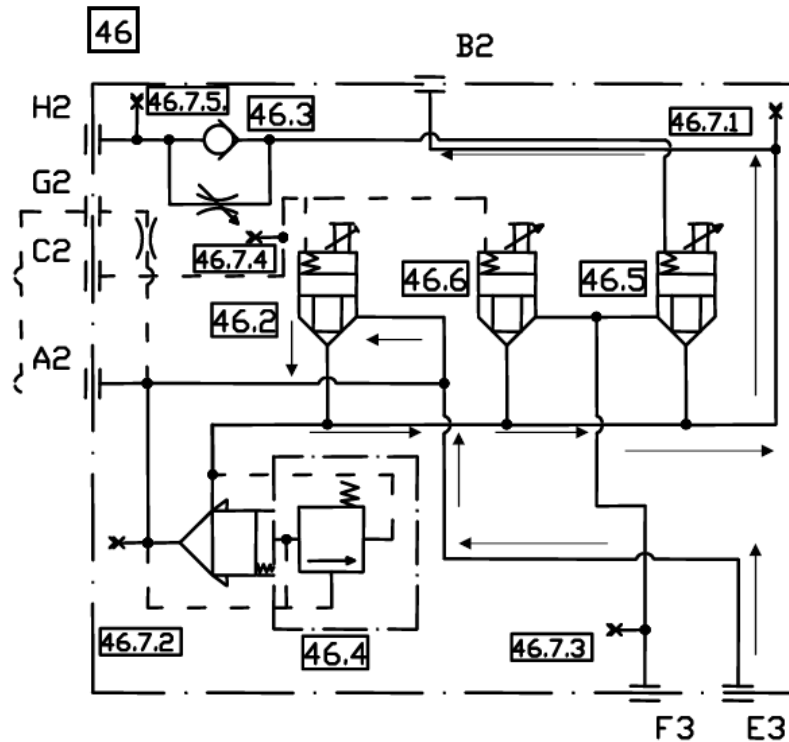


Fig. 4.19 Válvula 46.5 de control de flujo

### FASE III, de 12 600 mm-12 700mm.

Fase de cierre final lento, la válvula de frenado 46.2 está abierta, mientras la 46.5 y 46.6 están cerradas, la compuerta baja a una velocidad aproximada de 0.018 m/s.

Cuando la compuerta alcanza la cota de 12 600 mm, el pistón cierra la admisión de 8" y el aceite pasa solamente a través de la brida de la válvula 46.2 y la tubería de 1 1/2", permitiendo así el apoyo suave del umbral.



Eventuales golpes de presión que pudieran ocurrir durante el cierre, son suavizados por medio de la válvula 46.4 calibrada a 120 kg/cm<sup>2</sup>.

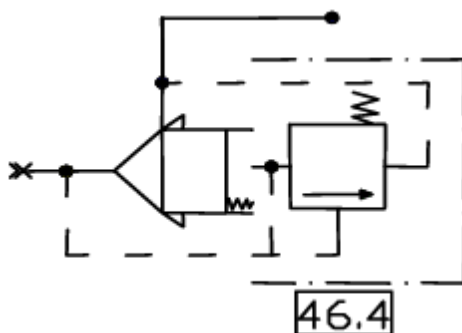


Fig. 4.20 Válvula de sobrepresión 46.4

### 4.3.6 MANDO MANUAL DE APERTURA Y CIERRE

En esta condición el cilindro del servomotor está previsto para que opere con doble efecto. Para este modo de operación el circuito se predispone de la siguiente manera:

- Se acciona la válvula (21) de interceptación a la posición “cerrada”.
- Se accionan las válvulas 22.1, 22.2, 22.3 en la posición abierta.





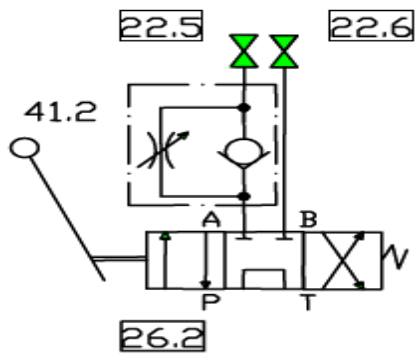


Fig. 4.23 Electro-distribuidor 26.2 para el mando manual de mantenimiento

0.196 - 0.981 MPa  
(2-10 Kg/cm<sup>2</sup>)

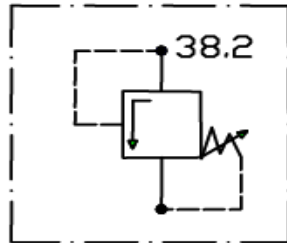


Fig. 4.24 Válvula de control de presión 38.2

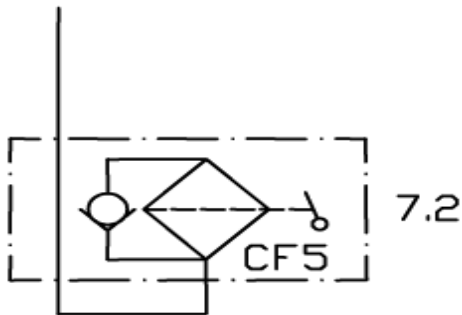


Fig. 4.25 Filtro de descarga 7.2

Cuando la compuerta alcanza la apertura total y llega al final de la carrera mecánica, el aceite va a la descarga por medio de la válvula de máxima presión (14.2), calibrada a 110 kg/cm<sup>2</sup>. Para parar el grupo electrobomba se posiciona el selector SMA en la posición desconectado.

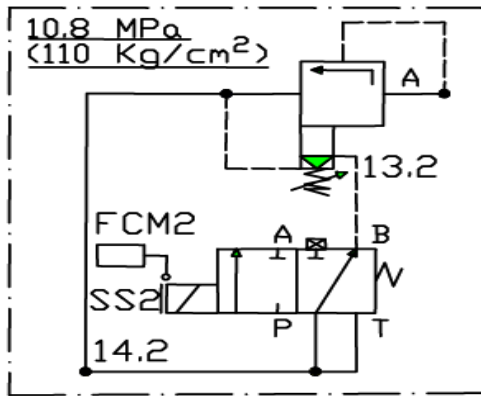


Fig. 4.26 Válvula de máx. Presión 14.2

Para el comando manual de cierre, se posiciona el electrodistribuidor manual en posición “cierre”, el aceite a presión pasa a través del distribuidor manual y llega a la cámara superior del servomotor, contemporáneamente por medio de las válvulas 39 y 28.1 se pilotean las válvulas de frenado para su función de amortiguamiento. La velocidad de cierre de la compuerta está regulada por la válvula reguladora de flujo (41).

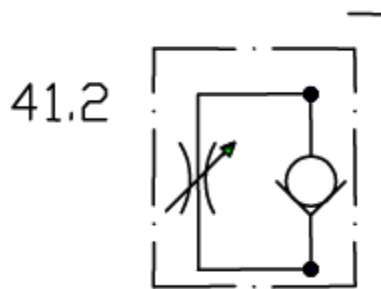


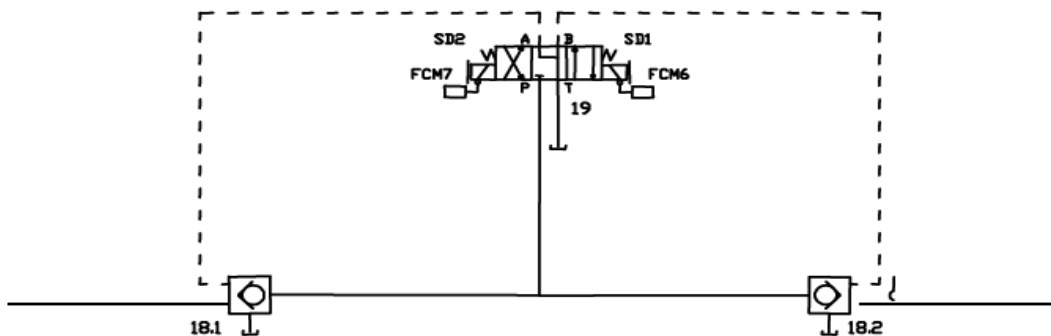
Fig. 4.27 Válvula reguladora de flujo 41.2

Cuando la compuerta llega al cierre total, el aceite se descarga a través de la válvula de control de presión (38). Para parar el grupo electrobomba, se posiciona el selector SMA en la posición “DESCONECTADO”.

### 4.3.7 GRUPO ELECTROBOMBA DE RESERVA

- En caso de avería de uno de los grupos de electrobombas, se puede utilizar el grupo electrobomba de reserva para el mando de la compuerta fuera de servicio.

- La operación para la inserción del grupo de reserva debe ser efectuada localmente y con mando voluntario.
- Se posiciona el selector SBR en la posición de la compuerta a la que se vaya a insertar el respaldo (Comp. 1 o 2).
- Con esta operación se predispone el circuito para el mando del grupo electrobomba M3 de respaldo. El electrodistribuidor de intercambio (19) es posicionado mediante la excitación de la bobina SA1.
- Y a la vez el mando del motor en falla es bloqueado, para impedir su funcionamiento.



**Fig. 4.28 Electro distribuidor 19 Para intercambio de bombas**



**Fig. 4.29 Válvula de retención 18.2**

Con el mando de apertura o cierre efectuado, después de que la velocidad nominal del grupo electrobomba ha sido alcanzada, el aceite a presión a través del electrodistribuidor 19, hace pilotear la válvula de retención 18.2, que se abre, y de esta forma el aceite a presión llega a la sección de mando, para realizar el izaje de la compuerta.

### 4.3.8 CIRCUITO DE RECUPERACIÓN EN EMERGENCIA.

En caso de una falla en el circuito que ocasione fallas excesivas o mantenimiento en los acumuladores de presión, se ha previsto un selector con llave SAL “RECUPERACIÓN EN EMERGENCIA” que permite entrar en la condición de recuperación automática de posición de las compuertas.

- Se acciona y bloquea el mando manual de la bobina SB1 del electrodistribuidor 25.2 de exclusión acumuladores.

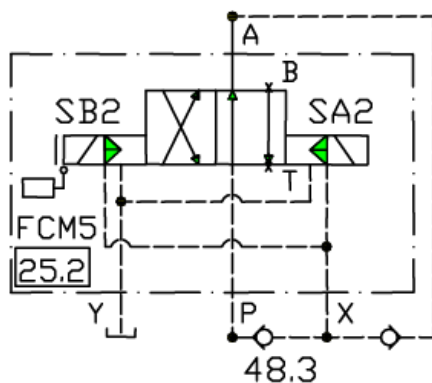


Fig. 4.30 Electro distribuidor 25.2 para el circuito acumulador

Se gira el selector con llave SAL, que predispone los circuitos para la recuperación automática.

- Cuando las compuertas por efectos de las perdidas bajan hasta accionar los micros FCAL2, ponen en marcha el grupo electrobomba y la compuerta es izada hasta la máxima apertura. 1 segundo después de accionado dicho micro, el grupo electrobomba es puesto fuera de servicio.
- Durante la fase antes descrita, los circuitos de alarma “FALLA DE SUSTENTACIÓN COMPUERTAS” son excluidos.

### 4.3.9 CIRCUITOS DE ALARMAS

#### Mínimo nivel de aceite en el tanque.

- Si el nivel de aceite alcanza el valor mínimo permitido, el funcionamiento del grupo electrobomba es bloqueado y la señalización “MINIMO NIVEL DE ACEITE” es energizada.

### **Filtros de aspiración.**

- Si los filtros de aspiración de las bombas están sucios, los contactos de dichos elementos, bloquean eléctricamente el grupo electrobomba, y señala la avería por medio de las lámparas de alarma LF1-LF2 Y LF3.

### **Filtros de descarga**

- Si los filtros de descarga del sistema están sucios, el grupo electrobomba es bloqueado eléctricamente, y la avería es señalada mediante las lámparas LF4 y LF5.

### **Falla de apertura by-pass.**

- Si el final de carrera FCBA o el interruptor de presión 63Q están en falla, se enciende el botón luminoso “FALLA APERTURA BY-PASS”.

### **Falla sustentación compuerta y compuerta sin control**

- Por efecto de las pérdidas internas del aceite y por falla del circuito acumulador, cuando se accionan los finales de carrera FCAL, se prenden las lámparas intermitentes LST1 Y LAL1.

### **Cierre automático**

- Cuando por efecto de las pérdidas internas de aceite se accionan los finales de carrera FCAUT, se enciende el botón luminoso intermitente PB/LCAUT.

### **Circuito de mínima presión.**

- En el caso de que los grupos electrobombas estén fuera de servicio, y el timer estuviera dañado, el circuito oleodinámico esta sin presión, y el interruptor 63Q1 tiene sus contactos cerrados, los cuales señalan la falla del circuito “PRESION MINIMA”, por medio de los botones luminosos PB1/LPM (amarillo).

Estas señalizaciones de alarma, pueden ser restablecidas, por medio de los botones luminosos PB1/LPM.

### **Circuito de máxima presión.**

- Cuando durante la fase de apertura de la compuerta se produce una sobrepresión, los interruptores de presión 63Q4, 63Q5 y 63Q6, paran automáticamente el mando de apertura, y señalan la falla “PRESION MAXIMA” por medio de los botones luminosos PB4/LQ (rojo).

## 4.4 EQUIPO PRINCIPAL DEL SISTEMA OLEODINÁMICO DE OBRA DE TOMA

2 Electrobombas de doble estadio. Cada electrobomba está compuesta por una bomba de engranes y su motor eléctrico (WEG). Las características de las electrobombas son:

Motor eléctrico  $M_{1, 2,3}$ , da la fuerza motriz a la bomba de aceite del sistema oleodinámico, para el proceso de apertura de la compuerta y para el proceso de reposición de presión de aceite. 40 C.V, 1770 cps, 480 V, 60 hz.

Bombas de engranes  $P_{1-6}$ , impulsa el aceite a 155-107 l/min hacia el servomotor a una presión de 54-110 kg/cm<sup>2</sup> durante el proceso de apertura de la compuerta.

Tanque de aceite almacena aceite del sistema oleodinámico que se emplea para bombear aceite hacia el servomotor para el izaje de la compuerta y durante el proceso de reposición de presión de aceite. La capacidad es de 2000 litros.

8 Servomotores hidráulicos y equipos de mando y accesorios, 4 centrales electrohidráulicas de mando y accesorios, Filtro de aspiración con by-pass, Filtro de descarga con by-pass, válvula de retención, válvula de máx. presión, válvula de min presión, electrodistribuidor, válvula de interceptación, válvula de retención, válvula de control de flujo, acumulador de gas, válvula de contrapresión, válvula de cambio de velocidad en frenadura.

## 4.5 MANTENIMIENTO AL SISTEMA OLEODINÁMICO DE OBRA DE TOMA

Las actividades más importantes del mantenimiento al sistema oleodinámico fueron las siguientes:

Cambio del acumulador de gas del cilindro N° 4 del sistema oleodinámico.



Fig. 4.31 Cilindros n. 3 y 4 del sistema oleodinámico

Los datos técnicos característicos del acumulador de gas son:

Fabricante:	AVIQUEI
Tipo:	HY-AV-50-211 N
Presión Máxima:	210 Kg/cm <sup>2</sup>
Presión Precarga:	44 Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad:	50 lts.

Tabla 4.1 Datos técnicos del acumulador de gas

### **FUNCIONAMIENTO DEL ACUMULADOR DE GAS**

Los fluidos hidráulicos son prácticamente incompresibles y no pueden, por este hecho, mantener ellos mismos una energía de presión. En los acumuladores hidráulicos se aprovecha la comprimibilidad de un gas para acumular el fluido.

Los acumuladores del sistema oleodinámico de peñitas se basan en este principio, con el nitrógeno como medio comprimible.

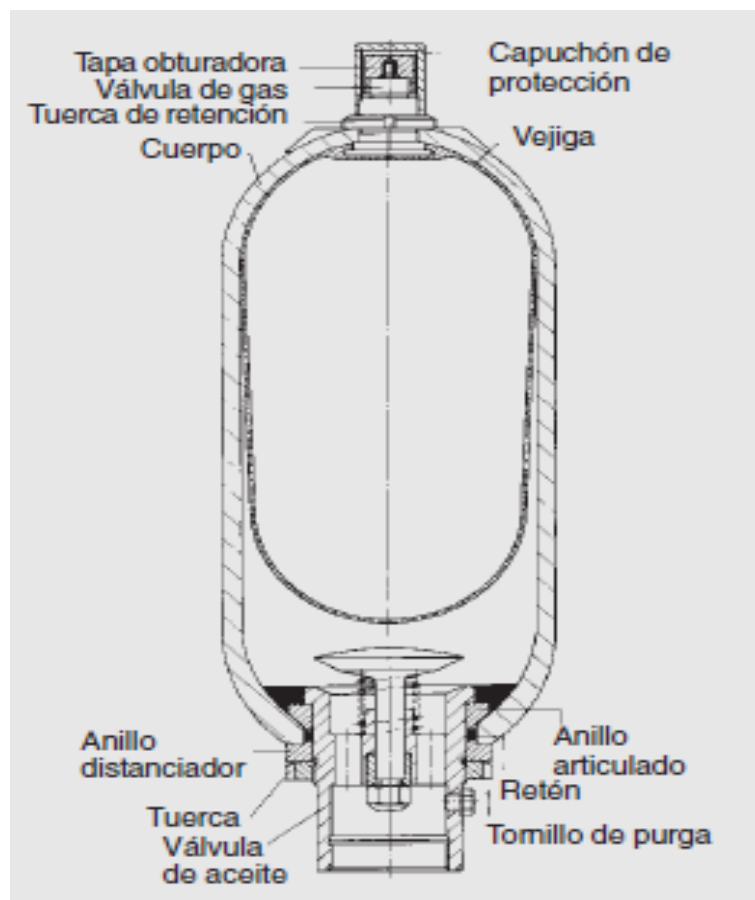
Se componen de dos partes, uno contiene el fluido hidráulico y el otro, el gas; estas dos partes están aisladas la una de la otra por un elemento separador estanco.

La parte hidráulica exterior a la vejiga está unida al circuito hidráulico de la instalación de manera que al arranque de aquella, el acumulador se carga directamente y se pone bajo presión. Una caída de presión en el circuito expande el gas comprimido y el acumulador restituye así el fluido hidráulico al circuito.

Los acumuladores de gas tienen multitud de aplicaciones, entre otras:

- Acumulación de energía
- Accionamiento de emergencia
- Compensación de fuerzas
- Compensación de fuga de aceite
- Compensación de volumen
- Absorción de choques
- Amortiguación de vehículos
- Amortiguación de pulsaciones

## **CONSTRUCCIÓN DEL ACUMULADOR DE GAS**



**Fig. 4.32 Construcción de un acumulador de gas**



Los acumuladores de gas están constituidos por un depósito de presión, una vejiga con válvula de gas y el cuerpo de conexión hidráulica con válvula antirretorno. El depósito de presión sin soldadura se fabrica con acero de alta resistencia.

Para hacer el cambio del acumulador de nitrógeno el primer paso fue trasegar el aceite utilizando charolas para después depositarlos en tambos de aceite sucio.



**Fig. 4.33 Trasegado de aceite**

Como segundo paso se quitó el bloque de cierre del acumulador (Fig. 4.34) del cilindro y parte de la tubería para mayor comodidad a la hora de sacar el acumulador de nitrógeno rota.

Para realizar los 2 pasos anteriores se utilizó la siguiente herramienta:

- Llaves españolas # 17
- Martillo
- Desarmador plano
- Llave perica # 18 y 24
- Matraca con dado # 17
- Llave stillson # 18 y 10



**Fig. 4.34 Bloque de cierre del acumulador**

## FUNCIONAMIENTO DEL BLOQUE DE CIERRE DEL ACUMULADOR

El bloque de cierre de acumulador sirve para la protección, cierre y descarga de un acumulador hidráulico.

La conexión entre el bloque de cierre y el acumulador se realiza por medio de un adaptador.

Con ayuda de la válvula limitadora de presión se protege al acumulador ante una sobrepresión inadmisibles. Esta válvula limitadora de presión no debe asumir tareas de regulación.

Se debe prestar atención a que la presión de servicio máxima tenga una desviación suficientemente grande con respecto a la presión de trabajo. Se debería evitar, en lo posible, la respuesta de la válvula limitadora de presión.

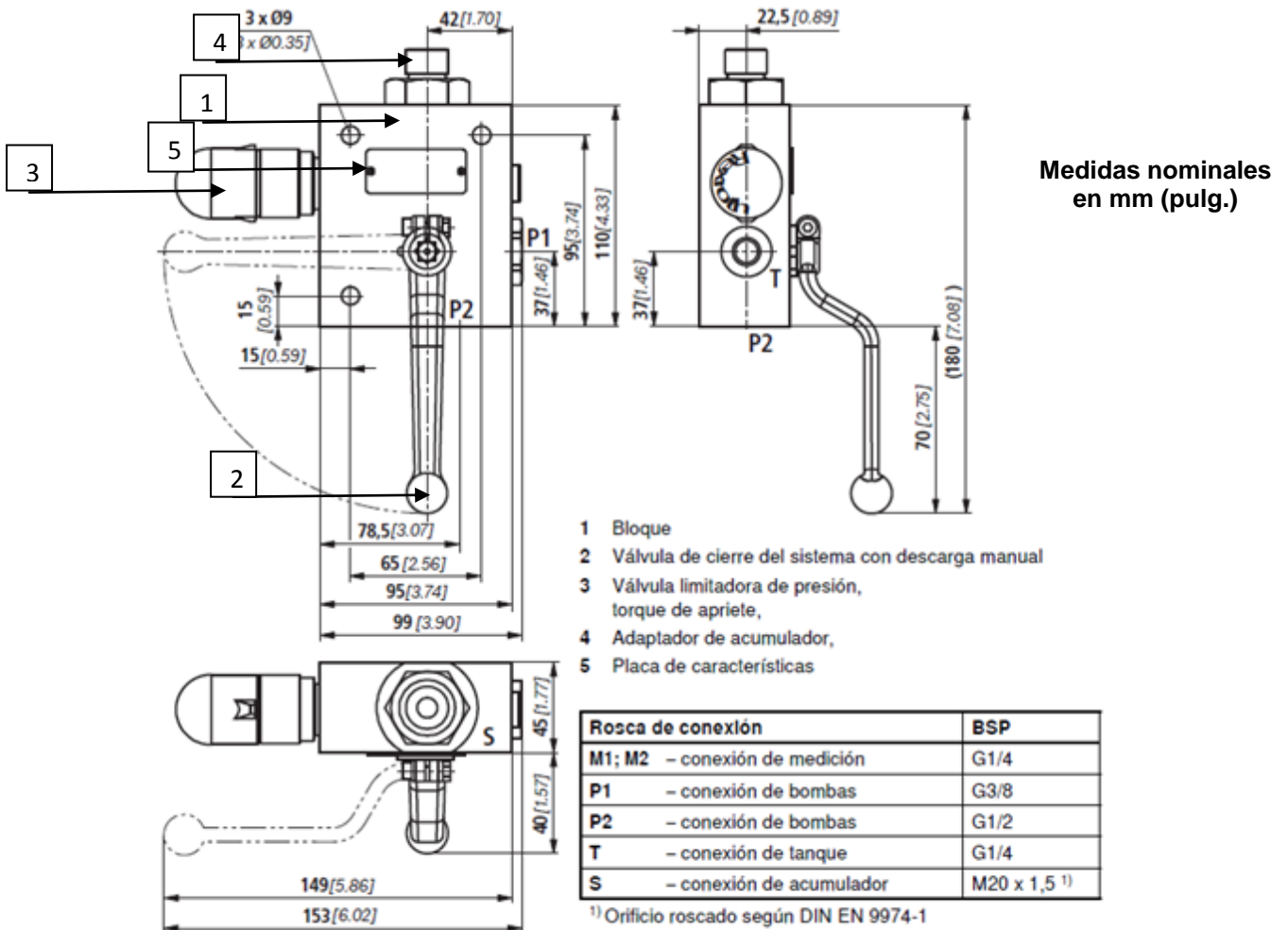


Fig. 4.35 Dimensiones del bloque de cierre del acumulador

Como tercer paso se desmontó la válvula de aceite y retén (Fig. 4.36), anillo distanciador y el anillo articulado (Fig.4.37) para poder liberar al acumulador de nitrógeno.



**Fig. 4.36 Válvula de aceite y retén**



**Fig. 4.37 Anillo distanciador y articulado**

En el cuarto paso se logró sacar el acumulador roto para luego montar el nuevo



**Fig. 4.38 Vista del acumulador  
Dentro del cilindro**



**Fig. 4.39 Acumulador roto**

Como quinto paso, se colocó dentro del cilindro el acumulador de gas nuevo y se reguló hasta alcanzarla presión requerida. Para esta operación fue necesario utilizar una botella de nitrógeno industrial y se conectó al acumulador mediante un tubo flexible.

Se abrió lentamente la llave de la botella y se controló en el manómetro el aumento de la presión hasta llegar a un valor un poco superior a lo requerido (50kg/cm<sup>2</sup>).

Para realizar el procedimiento anterior se llevó la presión del circuito oleodinámico a cero, se sacó del acumulador la tapa de la válvula de gas y capuchón de seguridad. (Fig. 4.40)



Fig. 4.40 Operador regulando el acumulador de gas

## **MANTENIMIENTO DE VÁLVULAS**

La siguiente actividad que se realizó en el mantenimiento al sistema oleodinámico fue el cambio de las válvulas de control de flujo con check integrado (Fig. 4.41 y 4.42), esto fue con el motivo de eliminar fugas de aceite que existían en el sistema.

La actividad anterior se realizó con la herramienta siguiente:

- Llave española # 17
- Martillo
- Desarmador plano
- Llave perica # 24



Fig. 4.41 y 4.42 Cambio de válvulas de control de flujo con check integrado

También se le realizó limpieza a válvulas del sistema acumulador, ya que tenían residuos de aceite y polvo y esto afectaba en el accionamiento de algunas de ellas.

La actividad anterior se realizó con la herramienta siguiente:

- Llave Allen de 6 y 14 mm
- Liber-ox (agentes penetrantes y humectantes que permiten la desintegración de sarro, óxidos y grasa. evita el daño a las piezas que van a desensamblarse ya que no se requiere el uso de fuerzas excesivas, golpes o calentamiento)
- Desarmador.



Fig. 4.43 Limpieza a la válvula 12.2 de Max. Presión para apertura



Fig. 4.44 limpieza al electrodistribuidor 25.1

Cuando se presenta un desperfecto en el sistema oleodinámico, es bueno buscar sus causas para eliminarlas lo más pronto posible, la siguiente información nos presenta una guía para esta búsqueda y algunas posibles soluciones:

## **RUIDOS EXCESIVOS**

En la transmisión	Mala alimentación	
	Juntas aflojadas	
En la bomba	Resistencia excesiva en la tubería de aspiración	Limpiar el filtro
	Presión excesiva	Reducir
	Bomba defectuosa	Revisar
	Rotación inversa	Invertir y revisar
	Nivel del fluido más bajo	Restablecer

	Aire en la tubería de aspiración	Añadir aceite en el tanque
En las tuberías	Fijación ineficiente	Mejorar
	Aire en el circuito	Purgar
En las válvulas	Cursor que baila por desgaste	Reemplazar
	Electroimán débil	Verificar la tensión
En el tanque	Nivel del fluido más bajo	Restablecer el nivel

### **PRESIÓN DÉBIL**

	Resistencia a la aspiración	Limpiar el filtro
	Rotación de la bomba invertida	Invertir y revisar
	Aire en la tubería de aspiración	Añadir aceite en el tanque
	Pérdidas excesivas	Revisar
	Válvula de seguridad fuera de regulación	Regular
	Válvula de seguridad desgastada	Revisar
	Resorte de la válvula de seguridad quebrado	Reparar
	Defectos en los circuitos de pilotaje	

### **FLUCTUACIONES DE PRESIÓN Y DE CAUDAL**

	Inestabilidad de la válvula de seguridad	Regular, amortiguar
	Válvula de regulación del caudal regulada a un valor superior al caudal efectivo	Regular

## PÉRDIDAS DEL FLUIDO

Cerraje insuficiente

Empaquetaduras defectuosas

Partes averiadas

### **CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIÓN**

La experiencia de hacer un proyecto residencia en una empresa de clase mundial como lo es CFE fue muy productiva para mi formación profesional, trabaje al lado de Ingenieros que compartieron sus conocimientos y experiencia conmigo, aprendí cosas nuevas en muchos ámbitos tanto técnicos como administrativos.

El aprendizaje obtenido a través del trabajo del personal del Sindicato Único de Trabajadores Electricistas de la República Mexicana (SUTERM) fue fundamental para la realización de este proyecto y para poder entender el funcionamiento y características no solo del sistema oleodinámico de obra de toma, sino de muchas máquinas en general.

Estar presente en el mantenimiento menor de una unidad generadora programado para 2 meses fue muy gratificante, debido a que es un proceso muy completo que requiere de la participación de todos los departamentos de la central (mecánico, eléctrico, de control, etc) y quienes en conjunto deben de resolver los problemas que se presentan y definir cuáles son sus prioridades.

A nivel personal, las actividades realizadas dentro de CFE en estos 4 meses de residencia profesional rebasaron por mucho mis expectativas, tuve la gran fortuna de llegar a un departamento en donde el trabajo es continuo y donde recae mucha responsabilidad de forma técnica, humana y laboral, además recibí diversas capacitaciones en los departamentos de higiene y seguridad, superación personal y del sistema de calidad de la empresa que se llevó a cabo en el CECAP (Centro de Capacitación), de igual manera apoyé a personal de la empresa al ser guía técnico en recorridos con estudiantes o diferentes visitas que se presentaron en la central.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el mantenimiento con mayor frecuencia a los equipos del sistema oleodinámico de la Central, ya que de todos los sistemas incluidos en este proyecto es el que menos mantenimiento se le da, a menos de que ocurra una falla.
- Se recomienda adquirir equipos de repuesto del sistema oleodinámico (válvulas de presión, válvulas check, filtros, etc.), ya que el almacén de la central carece de la mayoría de ellos.
- El mantenimiento preventivo y correctivo que se lleva a cabo en el sistema oleodinámico de la Central puede ser potencialmente mejorado por medio de la incorporación de un programa de Mantenimiento Predictivo y así eliminar fallas comunes como fugas de aceite y/o desgaste de válvulas.
- Se recomienda hacer el análisis del proceso de mantenimiento al sistema oleodinámico para las demás unidades generadoras que no se tomaron en cuenta en este proyecto (U-1, U-3 y U-4), ya que tienen 25 años en servicio y son de mucha importancia para la central.

## BIBLIOGRAFIA

1. *<http://www.mantenimiento/mundial>*
2. *Ingeniería de mantenimiento – Rabelo – nueva librería – 1997*
3. *Curso práctico de capacitación operación de la C.H Peñitas, Chiapas. C.F.E.*
4. *Instrucciones de operación. Turbina Kaplan-Turbina Francis Libro no.1 skoda export Praga Checoslovaquia P.H. Peñitas, Chiapas México.*
5. *Manual de especificaciones del sistema oleodinámico de obra de toma. P.H. Peñitas, Chiapas México.*
6. *<http://www.mantenimiento-industrial>*