INTRODUCCIÓN.

La modernización de los equipos y los nuevos desarrollos tecnológicos han generado un cambio en las ideas sobre el mantenimiento, debido a la gran cantidad de variables presentes en el contexto operacional es difícil determinar una relación directa entre el tiempo de vida útil y la probabilidad de falla de los equipos. En este sentido se hace necesario adoptar nuevas filosofías de mantenimiento que permitan mantener la calidad de los procesos y garantizar la integridad de los equipos.

El presente proyecto se basa en la filosofía de la Confiabilidad Operacional. Estudia algunas de las herramientas de la confiabilidad, con el fin de integrarlas para desarrollar un sistema que permita evaluar el comportamiento de los equipos de una manera sistemática, determinar su operatividad y así establecer los compromisos de mantenimiento e inspección necesarios para garantizar la integridad mecánica de las instalaciones. Luego se presenta la conformación y aplicación del Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional implementado en la Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo (Peñitas), para finalmente desarrollar un programa de mantenimiento predictivo que se apoya en el contexto operacional de los equipos.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El departamento mecánico cuenta con un programa de mantenimiento predictivo anual en el cual se incluyen las actividades programadas para ejecución del mismo en el transcurso del año; sin embargo, no se lleva un control adecuado del mantenimiento, se ejecuta pero no en el tiempo que corresponde a lo programado.

Se ha pedido como parte fundamental del proyecto que se replantee el programa de mantenimiento donde se incluyan los equipos que recientemente se han adquirido con gran impacto sobre el funcionamiento de la turbina.

El Sistema Simag, es una herramienta en donde se pretende llevar la base de datos e historial de los equipos sujetos a mantenimiento predictivo, *mediante la captura de datos técnicos de los mismos, formatos de lecturas de operación e inspección, bitácoras, manuales del proveedor e informes de correcciones de fallas para generar el historial.*

La base de datos que cuenta el Simag no ha sido debidamente actualizada y no se establecen con certeza los cambios que se han hecho en los equipos y sistemas hasta el día de hoy, esto no permite priorizar las políticas de inversión, tareas de mantenimiento y demás estrategias que le permiten a un sistema mejorar la rentabilidad de los procesos productivos.

Tomando como referencia lo anterior nos lleva a la pregunta ¿Se cuenta con un historial fidedigno de las actividades que se realizan como mantenimiento predictivo?

En el siguiente proyecto se da solución a la pregunta antes descrita mediante la planeación de un mantenimiento predictivo en base a la implementación de herramientas del sistema integrado de confiabilidad operacional.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Comisión Federal de Electricidad tiene como objetivo principal “Generar energía eléctrica para el desarrollo de México a bajo costo, cuidando el ambiente”, cumpliendo con los estándares y requisitos de un buen servicio como son la calidad y la continuidad. Para esto, CFE (Comisión Federal de Electricidad) cuenta con un sistema eléctrico nacional interconectado, el cual tiene su centro de control en el CENACE (Centro Nacional de Control de Energía).

La Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo (Peñitas) inició su operación comercial desde 1987, acercándose cada vez más al fin de la vida útil de operación según los cálculos de diseño original. A la par de la generación de la energía eléctrica requerida en el país se realizan diversas operaciones, lo cual hace que durante la operación diaria, las turbinas estén expuestas a eventos tales como inducción de agua, rozamiento, amarre de chumaceras, rechazos de carga, etcétera; que causan un daño importante a éstas. En consecuencia, la evaluación de la vida útil remanente de estos turbogeneradores es imperativa para garantizar su integridad estructural y una operación confiable. Por lo tanto, el mantenimiento de las unidades generadoras es de gran importancia ya que contribuye directamente a las políticas establecidas por CFE, mejorando el índice de disponibilidad de la central.

El presente proyecto está basado en dos de las herramientas del Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional: el análisis de criticidad (CA) y el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) con fines de jerarquizar los equipos críticos para la unidad No. 1 y equipos generales de la central Peñitas; y definir sus fallas severas para la planeación de un programa de mantenimiento predictivo.

1.3. OBJETIVOS.

- ***Objetivo General*.**

Realizar un análisis basado en herramientas de confiabilidad operacional, para los equipos de las unidades generadoras, y equipos de servicios generales de la Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo (Peñitas), con la finalidad de elaborar un plan de mantenimiento predictivo.

- ***Objetivos Específicos.***

1. Identificar equipos críticos de la unidad generadora No. 1, y equipos para servicios generales de la central Peñitas.

2. Identificar los modos de fallas de estos equipos y su criticidad.

3. Actualizar la base de datos del Sistema Móvil de Adquisición de datos en Generación (Simag).

1.4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.

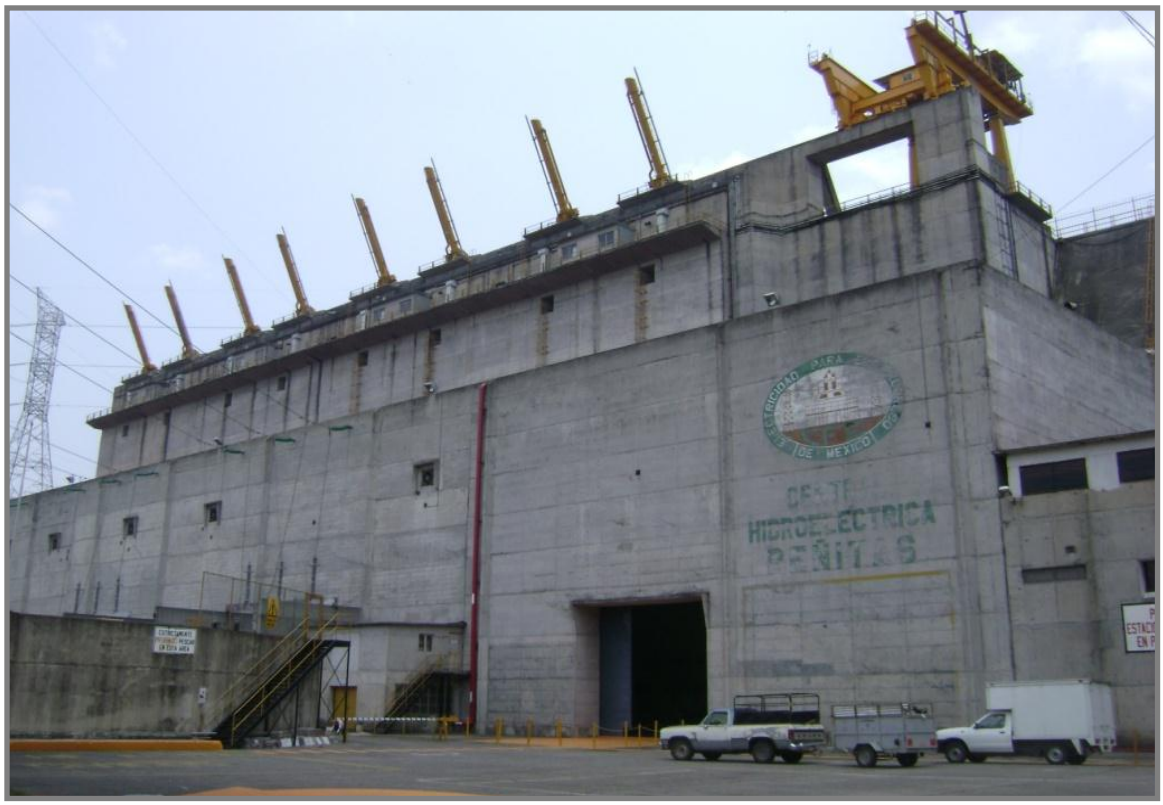


Figura 1.1 INSTALACIONES DE LA C.H PEÑITAS

La planta 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^3/seg. por unidad. Consta de las siguientes estructuras: Obra de Toma, Tuberías de Conducción, Casa de Máquinas y Canal de Desfogue.

La casa de máquinas es de cámara abierta con carcasa de concreto armado, para alojar 4 turbinas tipo Kaplan, desplantadas a la elevación 21 m. con una longitud aproximada de 106 m, un ancho de 21 m. y una altura de 29 m., el volumen de concreto colocado es de 84,833 m^3.

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 Ostuacán, 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.

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 Maquina y posteriormente restituir al Río el gasto utilizado a través del canal de desfogue. (Ver Figura 1.3).

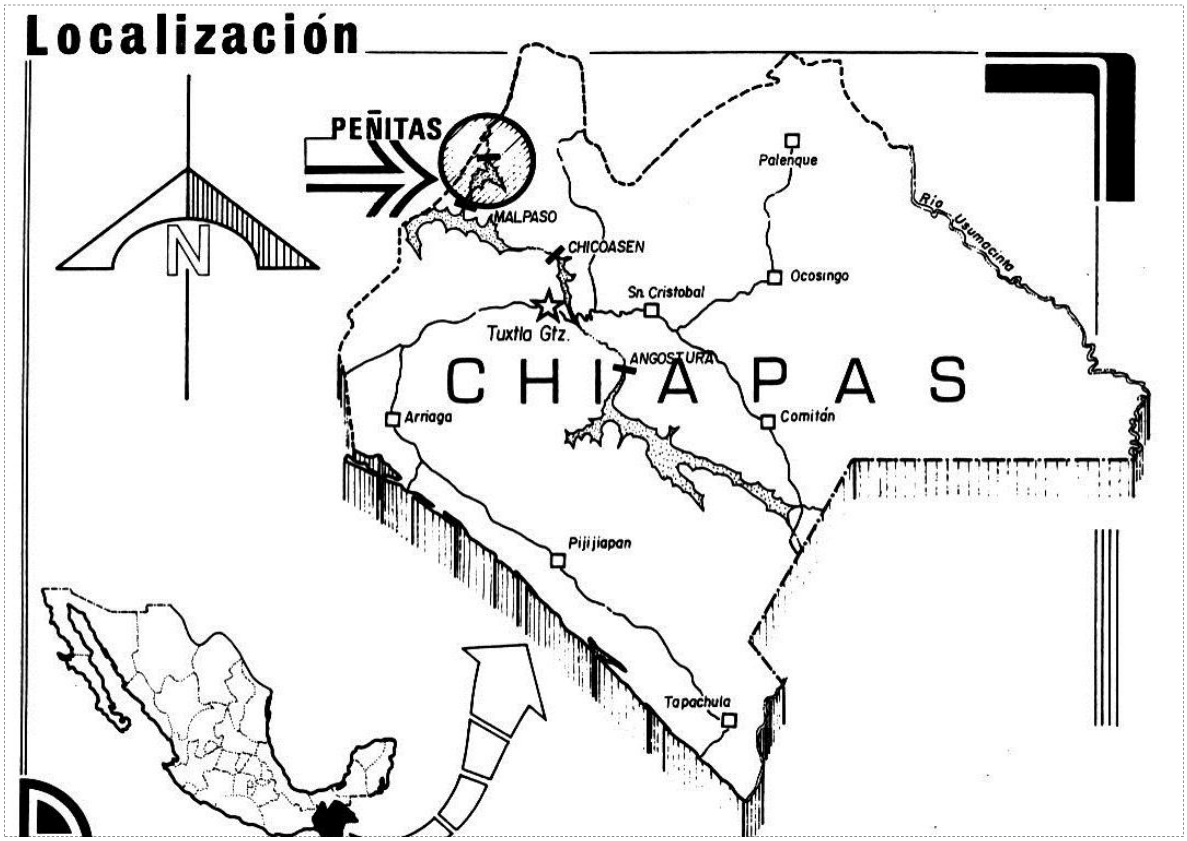


Figura 1.2 LOCALIZACIÓN DE LA C.H. PEÑITAS

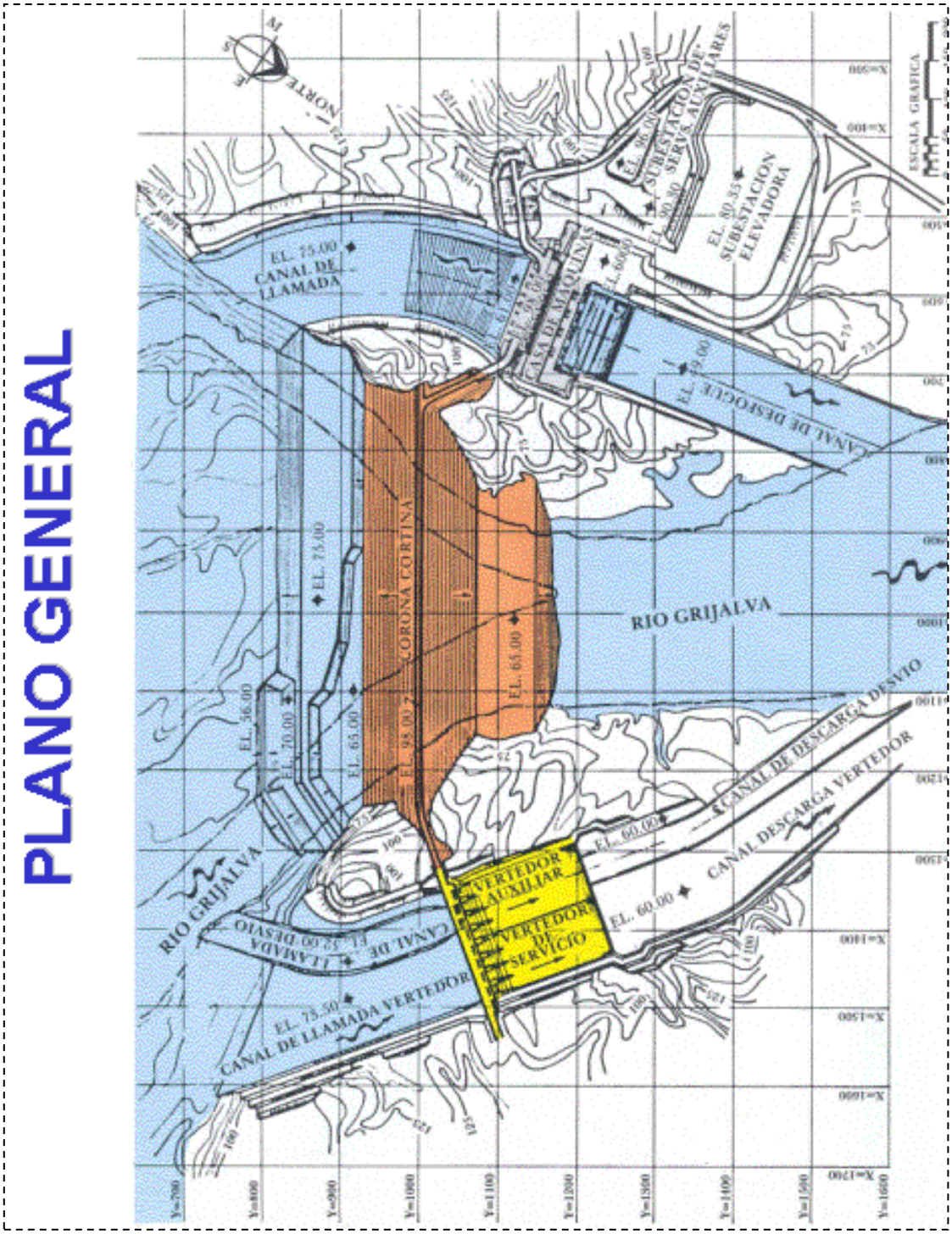


Figura 1.3 PLANO GENERAL DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ÁNGEL ALBINO CORZO

El canal de llamada de obra de toma tiene un ancho promedio de 110 m. y una longitud de 358 m.; las tuberías de conducción tienen una longitud aproximada de 34 m. con un ancho de 20 m. y una altura de 12 m. con una pila central de espesor de 2 m.; las tuberías de conducción son de son de concreto armado.

DESFOGUES

Los desfogues son dos tipos de secciones. La primera sección es un túnel en forma abocinada, con una longitud aproximada de 18.60 y un ancho de 17.60 m. por unidad, el cual tiene una pila central de 2 m. de espesor y a la salida del abocinamiento tiene instalada dos compuertas respectivamente en cada unidad. La segunda sección es en forma de canal con una longitud aproximada de 429 m. y un ancho de 102 m, con taludes recubiertos con concreto y bermas a la elevación 55 y 65 m. para estabilizar el talud izquierdo del canal de desfogue, y en el talud derecho a la elevación 59.5m, el volumen de concreto es de 43,600 m^3.

Figura 1.4 DESFOGUE DE LA C. H. PEÑITAS

OBRA DE CONTENCIÓN O CORTINA

La obra de contención o cortina (figura 1.5), es una estructura que permite almacenar los volúmenes de agua, producto de los escurrimientos generados por cuenca propia, por descarga de presas situadas agua arriba, por escurrimientos que provienen de otras cuencas cuando hay interconexión y por la precipitación pluvial directa sobre el vaso. Este

almacenamiento sirve para generar energía eléctrica por medio de equipos electromecánicos.

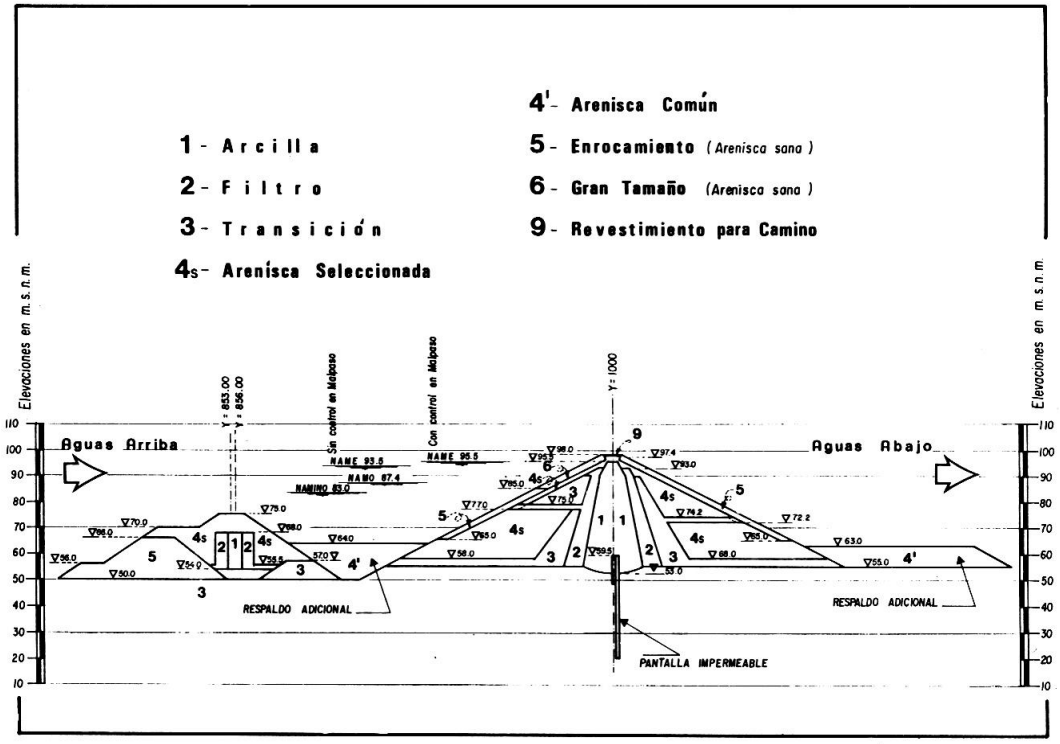


Figura 1.5 CORTE TRANSVERSAL DE LA CORTINA

EMBALSE

El embalse está formado por una presa de enrocamiento, con corazón impermeable de 54 m. de altura, permitiendo un almacenamiento a los niveles: máximo (87.40) y mínimo (85.00) de operación. Dentro de los tratamientos que se le dieron a la cortina para asegurar la impermeabilización de los aluviones, podemos destacar la compactación dinámica. Este método para mejoramiento es la primera vez que se utiliza en el país.

VERTEDOR DE DEMASÍAS

El vertedor de Demasías se localiza al margen derecho del río Grijalva, su función es controlar la descarga de los volúmenes de agua que se consideran excedentes de la capacidad útil en el caso almacenador, que a través de sus estructuras componentes el agua será captada, conducida, controlada y restituida al río aguas abajo de la presa.

Figura 1.6 VERTEDOR DE DEMASÍAS

La energía eléctrica generada en la central es elevada de 13.8 a 230 Kv y llega a una subestación de donde se distribuye para integrarse al sistema oriental con 2 alimentadores a la C.H. Malpaso, otros 2 a la S.E. Km 20 en Villahermosa, Tabasco y otra más a la S.E. Cárdenas II, ubicada en Cárdenas, Tabasco cuenta además con una subestación reductora de 115 KV, para los servicios propios de la planta. Esta alimentación se toma de la línea Malpaso – Mezcalapa.

DATOS TÉCNICOS DE LA TURBINA

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^3/s
Velocidad de Régimen (Nn)	112.5 rpm
Velocidad de Embalamiento (Np)	291 rpm
Masa Inerte (GD^2)	18.778 tm^2
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 1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS TURBINAS.

DATOS TÉCNICOS DEL GENERADOR

Marca	Asea
Capacidad Nominal	110,465 KVA
Capacidad para Diseño Mecánico	0.95
Factor de Potencia ($\cos \emptyset$)	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
Número de Polos	64
Número de Fases	3
Número de Enfriadores de aire	12

Tabla No. 2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL GENERADOR.

UNIDAD AUXILIAR

La C.H. Peñitas, cuenta con una unidad auxiliar de respaldo y emergencia para la alimentación de los servicios propios de la central, como son: Bombas y compresores de regulación, Bombas de Prelubricación, Circulación de Aceite en Chumaceras, etc.

Figura 1.7 UNIDAD AUXILIAR

Para el funcionamiento de las unidades generadoras de la central, siendo dicha alimentación muy importante para el arranque de las Unidades Principales, por lo que es recomendable tenerla siempre disponible y en condiciones de operación.

Esta unidad es de tipo Francis horizontal tipo F 30H con un diámetro de 880 mm acoplada directamente con el Generador eléctrico de síncrono trifásico de 60 Hz de frecuencia, 480 volts de tensión y una potencia de 1220 KW, el acoplamiento es a través de una flecha de acero soportada y guiada por chumaceras.

El departamento mecánico de la C.H. Ángel Albino Corzo, tiene como misión tener 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:

- 01 Ingeniero Mecánico (Jefe del depto. Mecánico).
- 01 Jefe de Taller Mecánico (Encargado del Taller Mecánico).
- 01 Técnico Superior
- 03 Técnicos.
- 06 Ayudantes.

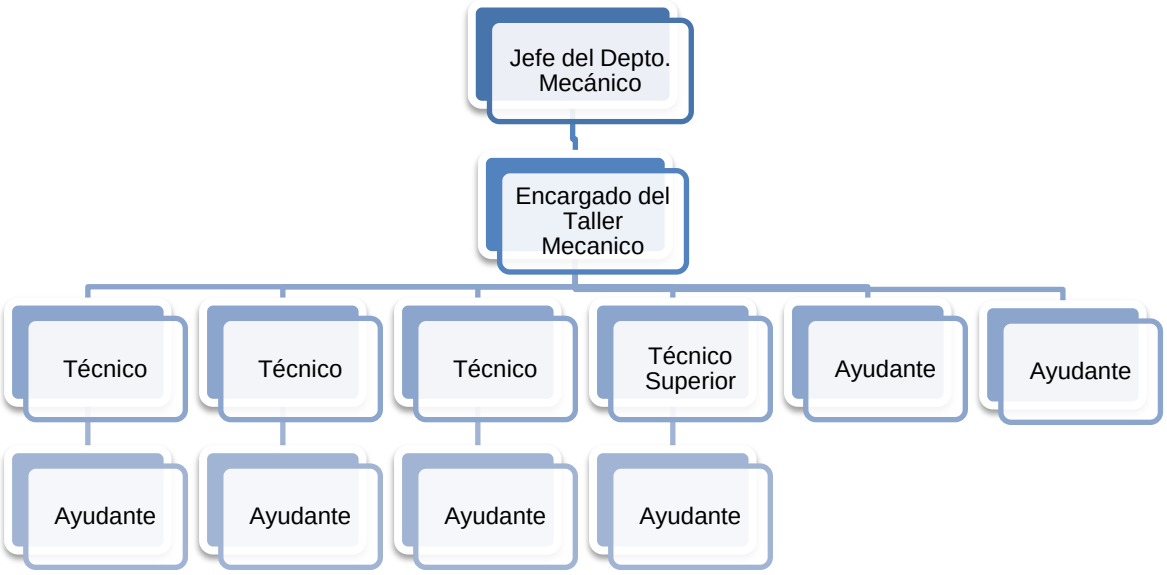


Tabla 3 ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO MECÁNICO.

1.5. PROBLEMAS A RESOLVER.

Durante el desarrollo del proyecto, se encontró en la base de datos del Simag para mantenimiento predictivo, que los códigos de clasificación de equipos estaban erróneos o no existían. Lo que trae como consecuencia que la ubicación del archivo no era el adecuado; bien puede estar refiriéndose a una bomba del sistema de regulación de velocidad, mientras que la ubicación del equipo en el Simag nos indicaba que se trataba de un compresor de tiro forzado para servicios generales.

Otro de los problemas, fue la limitante del tiempo necesario para elaborar el proyecto: para poder dar mantenimiento a un equipo, primero se necesita conocerlo, cuál es su función, ubicación, parámetros de operación, etc., esto acorta el tiempo para el desarrollo del proyecto.

En el presente año, la Central Hidroeléctrica Peñitas adquirió equipos nuevos, los cuales deben ser dados de alta en el Simag ya que son equipos sujetos a mantenimiento predictivo.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.

Este trabajo se basa en la implementación del sistema integral de confiabilidad operacional para planear un mantenimiento predictivo de los equipos de la unidad generadora No. 1, y equipos de servicios generales, para la Central Ángel Albino Corzo (Peñitas). Debido a la semejanza de equipos entre unidades generadoras, este trabajo puede aplicarse para las otras unidades.

La investigación realizada fue exclusivamente para los equipos sujetos a mantenimiento predictivo, incluidos en el sistema Simag.

La planeación de mantenimiento predictivo que en este trabajo se presenta fue elaborada para el departamento mecánico de la central.

Para el análisis de criticidad de equipos, se tomaron en cuenta equipos propuestos por el ingeniero a cargo del departamento mecánico de la central, esto fue por lo extenso que es hacer un análisis para todos los componentes de una unidad generadora.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que involucran en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la planeación y gestión de la productividad industrial. La Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de la empresa, para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional. [1]

La Confiabilidad Operacional, es la capacidad de una instalación o sistema (integrado por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante puntualizar que en un programa de Confiabilidad Operacional, es necesario el análisis de tres factores habilitadores: Confiabilidad humana, Confiabilidad de los Procesos y la Confiabilidad y Mantenimiento de los equipos. [2]

La variación en conjunto o individual de cualquiera de los tres parámetros presentados en la figura, afecta el comportamiento global de la Confiabilidad Operacional de un determinado sistema: [2]

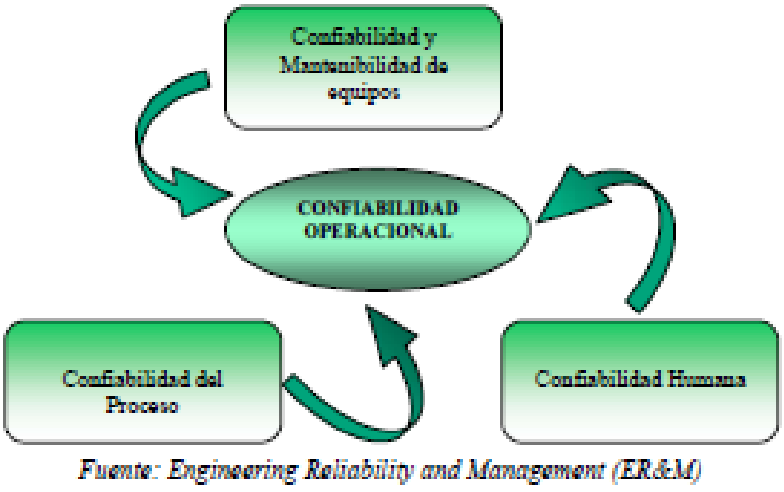


Figura 2.1 LOS TRES PARÁMETROS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

[1] Ing. Oliverio García Palencia, "*El análisis causa raíz, estrategia de confiabilidad de operación*", Reliability world latín américa 2005; Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia.
[2] Ing. Guillermo Becerra Solórzano, "*Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el área de servicios industriales de Bavaria S.A. Cervecería de Boyacá",* VII congreso internacional de mantenimiento ACIEM

- Confiabilidad Humana
  Se requiere de un alto compromiso de la gerencia para liderar los procesos de capacitación, motivación e incentivación de los equipos de trabajo, generación de nuevas actitudes, seguridad, desarrollo y reconocimiento, para lograr un alto involucramiento de los talentos humanos. [3]
- Confiabilidad de los Procesos.
  Implica la operación de equipos entre parámetros, o por debajo de la capacidad de diseño, es decir sin generar sobrecarga a los equipos, y el correcto entendimiento de los procesos y procedimientos.
- Confiabilidad y Mantenimiento de equipos.
  Es decir, la probabilidad de que un equipo pueda ser restaurado a su estado operacional en un periodo de tiempo determinado. Depende de la fase de diseño de los equipos (confiabilidad inherente de diseño), de la confiabilidad de los equipos de trabajo.

El enfoque de la cultura de la Confiabilidad Operacional permitirá entre otras cosas:

- ✓ Solución de problemas recurrentes en equipos e instalaciones, que afectan los costos y la efectividad de operaciones. [3]
- ✓ Determinación de tareas que permitan minimizar los riesgos de los procesos, equipos y medio ambiente.

HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del componente de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operatividad, la magnitud del riesgo y las demás acciones de mitigación y de mantenimiento que requiere el mismo para asegurar al dueño del activo su integridad y continuidad operacional.

El empleo de algunas herramientas de confiabilidad permite detectar la condición más probable en cuanto al comportamiento de un activo, ello a su vez proporciona un marco referencial para la toma de decisiones que van a direccionar la formulación de planes estratégicos. A continuación se describen algunas de las herramientas más usadas:

Análisis de Criticidad (CA). Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

[3] Ing. Carolina Altmann, "*El análisis de causa raíz, como herramienta en la mejora de la confiabilidad*"

Inspección Basada en Riesgos (RBI). Es una metodología que permite determinar la probabilidad de falla de un equipo que transporte y/o almacene fluidos y las consecuencias que estas pudieran generar sobre la gente, el ambiente y los procesos.

Análisis Causa Raíz (RCA). Es una herramienta sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para luego mitigarlas o suprimirlas.

Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA). Es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presenten.

Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA). Es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de hacer una actividad y los logros o beneficios que la actividad genere, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal acción.

Costo de Ciclo de Vida (LCC). El análisis LCC es una metodología que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de incremento de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total el ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

La confiabilidad en mantenimiento se estudia como la probabilidad que un equipo sobreviva sin fallas un determinado período de tiempo bajo determinadas condiciones de operación. Sin embargo, esta definición no demuestra en realidad todos los alcances que conlleva. La confiabilidad es más que una probabilidad; es una nueva forma de ver el mundo, en realidad es una cultura que debe implementarse a todos los niveles de la industria desde la alta dirección hasta el empleado de más bajo nivel. La confiabilidad como cultura busca que todas las actividades de producción y en general todas las tareas se efectúen bien desde la primera vez y por siempre; no se acepta que se hagan las cosas precariamente o a medias.

Las estrategias de confiabilidad operacional se usan ampliamente en los casos relacionados con:

- Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos en instalaciones industriales.
- Solución de problemas recurrentes en los activos fijos que afectan los costos y la efectividad de las operaciones.

2.2. SISTEMA INTEGRADO DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

Un Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional es una herramienta que permite establecer los compromisos de mantenimiento e inspección necesarios para garantizar la integridad mecánica de las instalaciones. Es un enfoque que enlaza una serie de elementos técnicos, de negocios y filosóficos en una estrategia global, cuyo objetivo es lograr una serie de efectos positivos en la categoría de clase mundial. Dentro de la filosofía de la confiabilidad, un sistema integrado de Confiabilidad Operacional es la unión de las mejores metodologías de inspección y análisis de mantenimiento, con el fin de que los procesos y sistemas cumplan sus funciones dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. [1]

2.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta es limitado, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa.

Pero, ¿Cómo diferenciamos los equipos que tienen una gran influencia en los resultados de los que no la tienen? Cuando tratamos de hacer esta diferenciación, estamos realizando el Análisis de Criticidad de los equipos de la planta. [2]

Análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y quipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlado y auditable. La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para: [1]

- Priorizar ordenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.
- Priorizar proyectos de inversión
- Diseñar políticas de mantenimiento.

[1] Ing. Guillermo Becerra Solórzano, "*Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el área de servicios industriales de Bavaria S.A. Cervecería de Boyacá",* VII congreso internacional de mantenimiento ACIEM
[2] Santiago García Garrido, *"Organización y gestión integral de mantenimiento*", *Capítulo 2.6 Análisis de Criticidad*. Ed. Díaz de Santos S.A., 2003

- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.

Un modelo básico de análisis de criticidad es equivalente al mostrado en la siguiente figura. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis. [3]

Figura 2.2 MODELO BÁSICO DE CRITICIDAD

En el ámbito de mantenimiento. Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se puede establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento tipo predictivo, preventivo, correctivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

En el ámbito de la inspección. El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

En el ámbito de materiales. La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de la planta, es decir, se puede minimizar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo óptimo de inventario.

En el ámbito de disponibilidad de la planta. Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida

[3] Ing. Leonardo Montaña Riveros, Ing. Elkin Gustavo Rosas Niño, *"Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de Coque de fabricación primaria en la empresa Acerías Paz del Río S.A*

para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

A nivel del personal. Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentran las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

La condición ideal sería de disponer de datos estadísticos de los sistemas a evaluar que sean bien precisos, lo cual permite cálculos "exactos y absolutos". Sin embargo, desde el punto de vista práctico, dado que pocas veces se dispone de una data histórica de excelente calidad, el análisis de criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál es la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis siempre estará referida con la frecuencia de fallas y sus consecuencias. [3]

PRECONDICIONES PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

Antes de comenzar un análisis de criticidad, es necesario tener en cuenta dos aspectos importantes del lugar al que se le aplica el estudio:

- Descripción técnica de los sistemas de planta o producción.
    1. Detalles de la planta y descripción del sistema.
    2. Requerimientos para el desarrollo del estudio.
    3. Condiciones de operación.
    4. Descripciones de los equipos.
- Diagramas de flujo o dibujos técnicos que contengan datos del proceso, variables, productos, códigos de comunicación, etc.

PASOS PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

1. IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS A ESTUDIAR.

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de equipos es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella. Realizar un inventario de los activos de la planta es algo más complejo de lo que pueda parecer en un primer momento.

Una simple lista de todos los motores, bombas, sensores, etc., de la planta no es útil ni práctica. Una lista de estas características no es más que una lista de datos, no es información. Si queremos elaborar una lista de equipos realmente útil, debemos expresar esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se identifiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes. [4]

En una planta industrial podemos distinguir los siguientes niveles, a la hora de elaborar esta estructura arbórea:

[3] Ing. Leonardo Montaña Riveros, Ing. Elkin Gustavo Rosas Niño, *"Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de Coque de fabricación primaria en la empresa Acerías Paz del Río S.A*

[4] Santiago García Garrido, *"Organización y gestión integral de mantenimiento"*, *Capítulo 2 Análisis de Equipos*. Ed. Díaz de Santos S.A., 2003

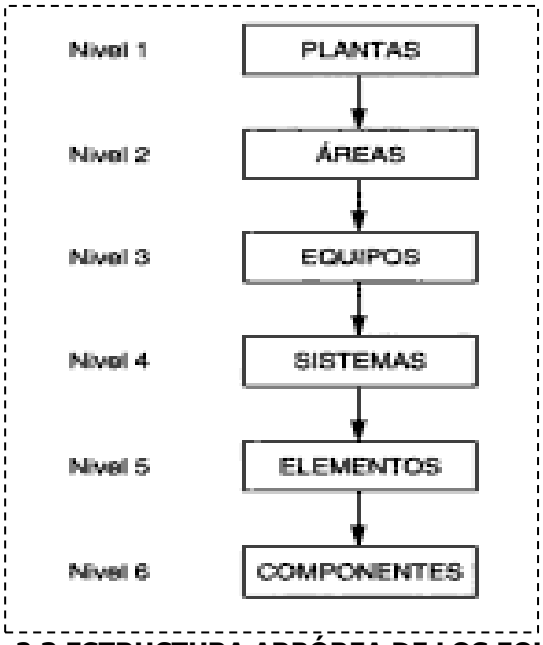


Figura 2.3 ESTRUCTURA ARBÓREA DE LOS EQUIPOS

Planta: Centro de trabajo
Área: Zona de la planta que tiene una característica común
Equipo: Cada uno de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único.
Sistema: Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo.
Elementos: Cada uno de las partes que integran un sistema.

Indicar la familia a la que pertenece el elemento tiene una gran ventaja: nos permite hacer listados de válvulas, motores, bombas, instrumentos, etc. Estas listas pueden ser interesantes en muchos casos; por ejemplo, si quisiéramos saber cuántos y que motores tenemos en la planta para estudiar su posible estandarización; o saber cuántos instrumentos de medida hay instalados, para hacer un plan de calibración.

2. SELECCIÓN DEL PERSONAL A ENTREVISTAR

Formar un equipo de trabajo integrado por un facilitador (experto en análisis de criticidad y quien será el encargado de conducir la actividad) y personal de las organizaciones involucradas en el estudio como lo son operaciones, mantenimiento y especiales, quienes serán los puntos focales para identificar, seleccionar y conducir al personal conocedor de la realidad operativa de los sistemas objeto del análisis [3]

Este personal debe conocer el sistema y formar parte de las áreas de: operaciones, mecánica, electricidad, instrumentación, estructura, programadores, especialistas en proceso, diseñadores, etc.; adicionalmente deben formar parte todos los estratos de la organización, es decir, personal gerencial, capataces y obreros, dado que cada uno de

[3] Ing. Leonardo Montaña Riveros, Ing. Elkin Gustavo Rosas Niño, *"Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de Coque de fabricación primaria en la empresa Acerías Paz del Río S.A*

ellos tiene el nivel particular de conocimiento asi como diferente visión del negocio. Mientras mayor sea el número de personas involucradas en el análisis, se tendrán mayores puntos de vista evitando resultados parcializados, además el personal que participa nivela conocimientos y acepta con mayor facilidad los resultados, dado que su opinión fue tomada en cuenta.

3. ESTABLECIMIENTOS DE CRITERIOS A EVALUAR.

Para determinar los criterios que se usarán, debemos considerar la influencia que una anomalía tiene, en cuatro aspectos:

- Producción.
- Calidad.
- Mantenimiento.
- Seguridad y Medio Ambiente.

4. RECOLECCIÓN DE DATOS.

5. RESULTADOS DEL ESTUDIO.

La ecuación de criticidad vista desde un punto de vista matemático para el análisis realizado dentro del estudio se presenta: [4]

CRITICIDAD = FRECUENCIA X CONSECUENCIA.

Dónde: consecuencia = a + b

a = costo de reparación + impacto seguridad personal + impacto ambiental + impacto satisfacción al cliente.

b = impacto en la producción x tiempo promedio para reparar la falla.

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

2.4. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA).

El FMEA es una herramienta clave para mejorar la confiabilidad de procesos y productos. La metodología del *análisis de* modo y efecto de las fallas, (*Failure Mode and Effects Analysis*), proporciona la orientación y los pasos que un grupo de personas debe seguir para identificar y evaluar las fallas potenciales de un producto o un proceso, junto con el efecto que provocan éstas. A partir de lo anterior, el grupo establece prioridades y decide acciones para intentar eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran las fallas potenciales que más vulneran la confiabilidad del producto o el proceso.

Aplicar FMEA se ha vuelto un actividad casi obligada para garantizar que los productos sean confiables, en el sentido que logren funcionar bien en el tiempo que se ha

[4] Rosendo Huerta Mendoza "*El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*", http//confiabilidad.net/artículos/el-analisis-de-criticidad-una-metodología-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/

establecido como su periodo de vida útil, pero también cada día se hace más común su aplicación en muchos otros campos con el objetivo de detectar fallas potenciales y prevenirlas, y de esa forma mejorar la eficiencia de procesos. Si un producto o un proceso se analizaran como un edificio, aplicarles un FMEA es revisar sus cimientos y estructura, para asegurar que ambas sean confiables y seguras, para disminuir la probabilidad de que fallen. *En éste sentido, un edificio, (proceso) no está realmente caracterizado, sino hasta que se le ha aplicado el FMEA, y a partir de éste se fundamentan acciones para su mejora integral.* [1]

La frecuencia con que ocurren las fallas junto con su severidad es una medida de la confiabilidad de un sistema. Mientras mayor sean estas, menor será tal confiabilidad. De ésta forma una tarea fundamental cuando se busca caracterizar y mejorar un proceso es aplicar la metodología del FMEA, con la idea de conocer mejor las debilidades del producto o proceso y a partir de ahí generar soluciones a nivel proceso o rediseño de producto. [2]

ACTIVIDADES PARA REALIZAR UN FMEA

A continuación se describen las siguientes actividades generales para realizar un FMEA:

1. FORMAR EL EQUIPO QUE REALIZARÁ EL FMEA Y DELIMITAR AL PRODUCTO O PROCESO QUE SE LE APLICARÁ.

En la práctica, el personal de mantenimiento no puede responder a todas estas preguntas por sí solo. Muchas de las respuestas, si no la mayoría, sólo las puede dar personal de producción o de operaciones. Esto se aplica especialmente a las preguntas relacionadas con las funciones, efectos de falla, funcionamiento deseado, y consecuencias de falla.

Por esta razón la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo deben llevarse a cabo en pequeños grupos incluyendo al menos a una persona de la función de mantenimiento, y una de la función de operaciones. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de tener un conocimiento profundo del activo físico bajo revisión.

2. IDENTIFICAR Y EXAMINAR TODAS LAS FORMAS POSIBLES EN QUE PUEDAN OCURRIR FALLAS DE UN PRODUCTO O PROCESO (IDENTIFICAR LOS MODOS DE FALLA).

Para cada una de las áreas sensibles a fallas determinadas en el punto anterior se deben establecer los modos de falla posibles. *Modo de falla* es la manera en que podría presentarse una falla o defecto. Para determinarlas nos cuestionamos ¿De qué forma podría fallar la parte o proceso? Los modos o formas de falla típicos son: [1]

[1] Dr. Primitivo Reyes Aguilar, "*Análisis del Modo y Efecto de falla (PFMEA)*", Febrero 2007
[2] www.mantenimientoplanificado.com

- Abertura inadecuada
- Corto circuito
- Falla del material
- Herramienta desgastada
- Operación faltante
- Parte dañada
- Sistema de control inadecuado
- Velocidad incorrecta
- Daño por manejo
- Herramental incorrecto
- Lubricación inadecuada
- Medición inadecuada
- Falta de lubricación
- Sobrecalentamiento
- Fuera de tolerancia

3. PARA CADA FALLA, IDENTIFICAR SU EFECTO.

Este efecto negativo puede darse en el proceso mismo, sobre una operación posterior o el cliente final. De esta forma, suponiendo que la falla ha ocurrido, en esta etapa se deben describir todos los efectos potenciales de los modos de falla señalados en el paso previo. Una pregunta clave para esta actividad es *¿qué ocasionará el modo de falla identificado?* La descripción debe ser tan específica como sea posible. Las descripciones típicas de los efectos potenciales de falla son: [1]

- El producto no funciona
- Eficiencia final reducida
- Áspero
- Calentamiento excesivo
- Ruido
- Olor desagradable
- Inestabilidad
- Mala apariencia
- No abrocha.

4. ENCONTRAR LAS CAUSAS DE LA FALLA.

Hacer una lista de todas las posibles causas para cada modo de falla. Entendiendo como causa de falla a la manera como podría ocurrir la falla. Las causas típicas de falla son: [1]

[1] Dr. Primitivo Reyes Aguilar, "*Análisis del Modo y Efecto de falla (PFMEA)*", Febrero 2007

- Abertura inadecuada
- Capacidad excedida
- Operación faltante
- Daño por manejo
- Sistema de control inadecuado
- Falla de material
- Herramienta desgastada
- Lubricación inadecuada
- Herramienta dañada
- Parte dañada
- Preparación inadecuada
- Sobrecalentamiento
- Velocidad incorrecta
- Medición inexacta
- Falta lubricación
- Herramental incorrecto

5. IDENTIFICAR EL GRADO DE OCURRENCIA DE LA FALLA.

Es estimar la frecuencia con la que se espera ocurra la falla debido a cada una de las causas potenciales listadas antes (que tan frecuente se activa tal mecanismo de falla). La posibilidad de que ocurra cada causa potencial (mecanismo de falla), se estima en una escala del 1 al 10.

6. IDENTIFICAR EL NIVEL DE DETECCIÓN DE LA FALLA.

Es estimar la probabilidad de detectar la falla (su efecto) una vez que ha ocurrido, antes de que el producto salga hacia procesos posteriores o antes de que salga del área de manufactura o ensamble. Se debe suponer que la causa de falla ha sucedido y entonces evaluar la eficacia de los controles actuales para prevenir el embarque del defecto. Es decir, es una estimación de la probabilidad de detectar, suponiendo que ha ocurrido la falla, y no es una estimación sobre la probabilidad de que la falla ocurra. Las verificaciones aisladas hechas por el departamento de calidad son inadecuadas para detectar un defecto y, por tanto, no resultarán en un cambio notable del grado de detección. Sin embargo, el muestreo sobre una base estadística es un control de detección válido.

7. IDENTIFICAR LA SEVERIDAD DE LA FALLA.

Representa la gravedad de la falla para el cliente o para una operación posterior, una vez que esta falla ha ocurrido. La severidad solo se refiere o se aplica al efecto.

Se puede consultar a ingeniería del producto para grados de severidad recomendados.

8. CALCULAR EL NÚMERO DE PRIORIDAD DEL RIESGO (NPR)

Calcular el NPR para efecto-causas-controles, que es el resultado de multiplicar la puntuación dada a la severidad (S) del efecto de falla, por las probabilidades de ocurrencia (O) para cada causa de falla, y por las posibilidades de que los mecanismos de control detecten (D) cada causa de falla. Es decir, para cada efecto se tienen varias causas y para cada causa un grupo de controles.

$$NPR = (S)x\ (O)\ x\ (D)$$

El NPR cae en un rango del 1 al 180 y proporciona un indicador relativo de todas las causas de falla. Los NPR caen en la siguiente clasificación:

90 - 180	Alto riesgo de falla
23 – 89	Riesgo de falla medio
1 – 22	Riesgo de falla bajo
0	No existe riesgo de falla

Se deben atacar los problemas con NPR alto, así como aquellos que tengan un alto grado de ocurrencia no importando si el NPR es alto o bajo.

RESULTADOS DE UN FMEA

Si es aplicado en la forma sugerida anteriormente, un análisis RCM da tres resultados tangibles:

- Planes de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados y actualizados, para los operadores.
- Una lista de cambios que deben hacerse al diseño del activo físico, o a la manera en que es operado para lidiar con situaciones en las que no puede proporcionar el funcionamiento deseado en su configuración actual.

Dos resultados menos tangibles son que los participantes del proceso aprenden mucho acerca de cómo funciona el activo físico, y que ellos tienden a funcionar mejor como miembros de un equipo.

2.5 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

En la aplicación de estrategias de mantenimiento de acuerdo al estándar SAE-JA1011 se tiene el siguiente orden de importancia: [1]

1.- Actividades con base en condición.
2.- Actividades de rehabilitación programada.
3.- Actividades de reemplazo programado.
4.- Combinación de estrategias de mantenimiento.
5.- Estrategias a falta de actividades de mantenimiento preventivo.

[1] R. Rea Soto, R. Calixto Rodríguez, S. Sandoval Valenzuela, *"Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Basado en Confiabilidad en la Industria Petrolera",* CIIDET 2008, 6° Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico, 2008, Cuernavaca, Morelos, México

2.5.1 ACTIVIDADES CON BASE EN CONDICIÓN

El realizar actividades con base en condición es la estrategia deseable de adoptar para mantener todos nuestros equipos, sin embargo, se requiere de ciertas condiciones para su aplicación:

- Identificar al menos una variable que indique la tendencia hacia la ocurrencia de la falla (Vibración, Temperatura, Presión diferencial, Espesor, etc.).
- Que la medición y la frecuencia de la medición de la variable sea técnicamente posible y que el intervalo P-F sea suficientemente amplio (F = falla).

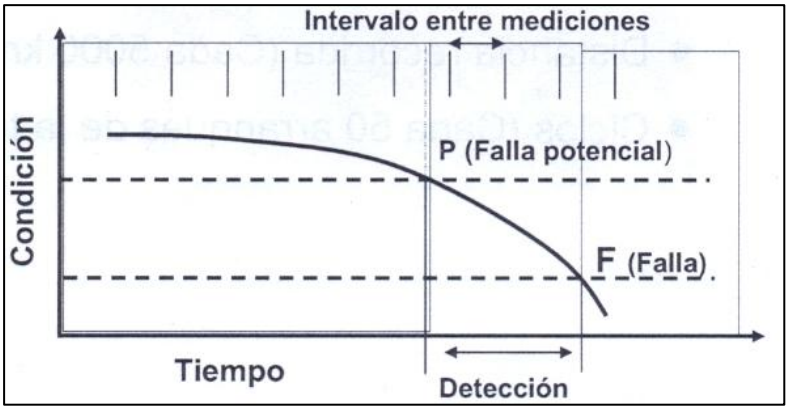


Figura 2.4 GRÁFICA CONDICIÓN-TIEMPO

2.5.2 ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN Y DE REEMPLAZO PROGRAMADO.

Son acciones a realizar periódicamente para restablecer la capacidad del equipo a su estado inicial. Se aplica cuando las fallas del equipo presentan una consistencia aceptable en su tiempo de vida útil o periodo de desgaste. Este tipo de mantenimiento pierde su efectividad si la consistencia del tiempo de vida útil no es buena. Estas estrategias usualmente aplican a equipos con mecanismos de falla causados por deterioro (desgaste, acumulación de suciedad, oxidación, fatiga)

Las estrategias de rehabilitación o reemplazo programado son factibles técnicamente cuando:

- Existe una edad identificable a la cual los equipos muestran un evidente incremento en la tasa de fallas.
- La mayoría de los equipos sobrevive a dicha “edad”.
- Para los equipos sujetos a rehabilitación, debe ser posible regresarlos a un valor de confiabilidad cercano al inicial.

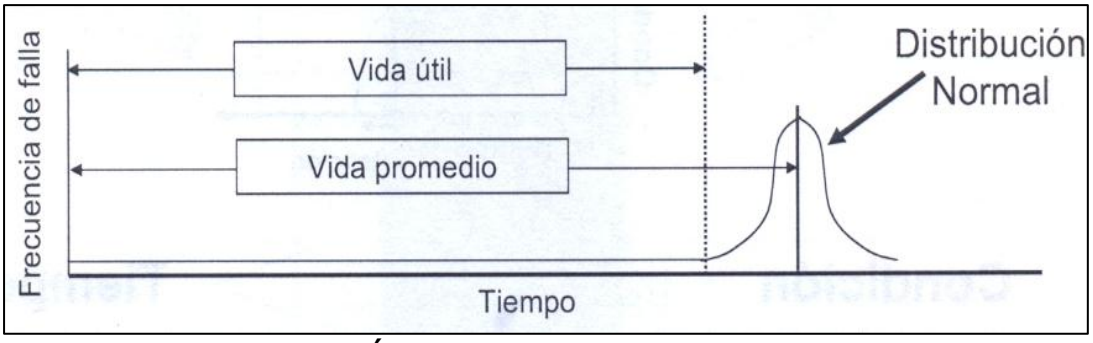


Figura 2.5 GRÁFICA FRECUENCIA DE FALLA - TIEMPO

2.5.3 COMBINACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.

Cuando las consecuencias de una falla estén relacionadas con seguridad o ambiente y sean inaceptables, la falla sea evidente o se prevea que una sola estrategia podría no reducir el riesgo, o las consecuencias, de una falla a un nivel tolerable, la estrategia aplicable es la combinación de estrategias de mantenimiento “con base en condición” y de “rehabilitación o reemplazo programado”.

2.5.4 ACCIONES A FALTA DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.

Cuando no es posible seleccionar una tarea de mantenimiento suficientemente efectiva como para evitar la falla y obtener el nivel de riesgo aceptado, se toman acciones por omisión o “a falta de”:

- Programar actividades de búsqueda de fallas. (verificar operatividad periódicamente).
- Rediseño. (Cambios físicos a la configuración o capacidad de un equipo, o cambios a procedimientos).
- No programar mantenimientos. (Tolerar la falla).

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1. ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS.

La Central Hidroeléctrica Peñitas cuenta con aproximadamente 214 equipos funcionando actualmente. Dentro de este gran número de equipos, fueron seleccionados los equipos que componen a la unidad No. 1 y los equipos que componen los servicios generales de la planta, ya que realizar el estudio para los 214 equipos es muy extenso. Los equipos que se incluyeron dentro del estudio fueron seleccionados por el ingeniero a cargo del depto. Mecánico de la central.

3.1.1. ELABORACIÓN DEL LISTADO DE EQUIPOS.

Para implementar cualquier estrategia de mantenimiento en un proceso es necesario conocer las variables que lo conforman, así como el número de equipos que en el operan, los niveles de producción, modos operativos, instalaciones, materias primas, productos finales, etc. La mayoría de metodologías o sistemas de mantenimiento exigen una base detallada de los sistemas, instalaciones o equipos para comenzar a desarrollarse.

En esta etapa del proyecto se muestra el listado completo de equipos y componentes de la turbina sujetos a mantenimiento que operan en la Planta, los códigos de clasificación utilizados y como fue actualizada la base de datos para la C.H. Peñitas.

1. Sistema de regulación de velocidad.
    - Bomba de Regulación M-311
    - Bomba de Regulación M-312
    - Bomba de Regulación M-313
    - Compresor Reciprocante M-111
    - Compresor Reciprocante M-112
    - Válvula de Regulación 26-D
    - Válvula de Regulación 26-R
2. Sistema de achique de aceite infiltrado.
    - Bomba de aceite infiltrado M-371
    - Bomba de aceite infiltrado M-372
3. Sistema de achicado de agua infiltrada.
    - Bomba de agua infiltrada M-361

- Bomba de agua infiltrada M-362

4. Sistema de agua de enfriamiento.
    - Enfriamiento del generador
        - Enfriadores de agua/aire.
        - Enfriadores de agua/aceite de la chumacera guía superior generador.
    - Enfriamiento chumacera combinada.
        - Enfriadores de agua/aceite
    - Enfriamiento guía inferior turbina.
        - Enfriadores de agua/aceite
    - Enfriamiento prensa estopas.
    - Enfriamiento del aceite de regulación.
        - Enfriador de agua/aceite del tanque sin presión VK-300.
5. Sistema de aereación.
    - Válvulas de aereación.
6. Sistema de Izaje.
    - Bomba de Izaje.
7. Chumaceras de la unidad generadora.
    - Chumacera Guía Superior Generador.
    - Chumacera de carga de la Turbina
    - Chumacera Guía Superior de la Turbina
    - Chumacera Guía Inferior de la Turbina

También se incluyeron equipos para servicios generales de la Planta:

1. Sistema de Achicado de Agua
    - Bomba de Achique No. 1 de 50 HP
    - Bomba de Achique No. 2 de 50 HP
    - Bomba de Achique No. 3 de 50 HP
    - Bomba de Achique No. 4 de 300 HP
    - Bomba de Achique No. 5 de 300 HP
    - Bomba de Achique No. 6 de 300 HP
2. Compresores de Servicios Generales.
    - Compresor de servicios generales No.1
    - Compresor de servicios generales No. 2
3. Ventilador de Tiro Forzado.
    - Ventilador de tiro forzado No.1
    - Ventilador de tiro forzado No.2
    - Ventilador de tiro forzado No.3
    - Ventilador de tiro forzado No.4
    - Ventilador de tiro forzado No.5

3.1.2. CÓDIGOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS.

Tabla 4 MATRIZ DE CÓDIGOS DE EQUIPOS

ide_dep	tipo_1	tipo_2	tipo_3		descripción
7	**0**	**0**	**0**	**7000**	**BOMBAS DIVERSAS**
7	0	1	0	7010	BOMBA PARA ACEITE
7	0	2	0	7020	BOMBA PARA AGUA
7	0	3	0	7030	BOMBA PARA COMBUSTIBLE
7	0	4	0	7040	BOMBA DE LODOS
7	**3**	**0**	**0**	**7300**	**INTERCAMBIADORES DE CALOR**
7	3	1	0	7310	INTERCAMBIADORES DE CALOR AGUA/AIRE
7	3	2	0	7320	INTERCAMBIADORES DE CALOR AGUA/ACEITE
7	3	3	0	7330	INTERCAMBIADORES DE CALOR AIRE/ACEITE
7	3	4	0	7340	INTERCAMBIADORES DE CALOR AGUA/AGUA
					CHUMACERAS
7	4	1	0	7410	CHUMACERA DE CARGA
7	4	2	0	7420	CHUMACERA GUIA GENERADOR
7	4	3	0	7430	CHUMACERA COMBINADA
7	4	4	0	7440	CHUMACERA GUIA TURBINA
7	4	5	0	7450	CHUMACERA GUIA INFERIOR GENERADOR
7	4	6	0	7460	CHUMACERA GUIA SUPERIOR GENERADOR
7	4	7	0	7470	SEGMENTOS DE CHUMACERA
					TURBINA
7	5	1	3	7803	RODETE
7	**8**	**0**	**0**	**7800**	**COMPRESOR**
7	**8**	**4**	**0**	**7840**	**VENTILADOR**
7	**9**	**0**	**0**	**7900**	**COMPUERTA**
7	9	1	0	7910	COMPUERTAS DE OBRA DE TOMA
7	9	2	0	7920	COMPUERTAS DE DESFOGUE
7	9	3	0	7930	COMPUERTAS DE VERTEDOR
7	9	4	0	7940	OBTURADORES DE VERTEDOR
7	9	5	0	7950	COMPUERTA DE DESCARGA DE FONDO
7	9	6	0	7960	ESLABONES DE COMPUERTA
8	**9**	**0**	**0**	**8900**	**VALVULA HIDRAULICA**
8	9	1	0	8910	VALVULA DISTRIBUIDORA

8	9	2	0	8920	VALVULA PILOTO
8	9	3	0	8930	SERVOVALVULAS HIDRAULICAS
8	**7**	**4**	**0**	**8740**	**VALV.DE CONTROL DE PRESION**
8	7	4	1	8741	VALVULA DE SEGURIDAD
8	7	4	2	8742	VALVULA DE ALIVIO
8	7	4	3	8743	VALVULA REGULADORA DE PRESIÓN

La clasificación antes expuesta en la C.H. Peñitas maneja todos los equipos de las unidades generadoras y sus componentes así como los equipos auxiliares de la central. Para el presente trabajo solo se presentan los equipos que han de estudiarse, por tal motivo se omitieron los equipos de la clasificación que no han de ser objeto de estudio.

A continuación se presenta otra clasificación de la planta Peñitas tomando como base a los sistemas que pertenecen los equipos. Para poder definir un código de algún sistema, primero se debe seleccionar el número de la instalación o parte de la central que forma parte el equipo (columna) seguido del sistema al que pertenece (fila).

Por ejemplo: para definir el código el cual pertenece al sistema de regulación de velocidad hidráulico de la turbina, primero se determina la instalación o parte de la central que forma parte, en este caso, forma parte de la turbina (número 1 en columna); luego se busca en la fila el número que representa al sistema de regulación hidráulico de la turbina (número 3 en fila). Formando de esta forma el número 13.

MATRIZ NORMALIZADA DE CÓDIGOS DE SISTEMAS Proceso Hidroeléctrico											
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
0	**PRESA**	Vaso y Cuenca	Cortina	Vertedor (Obra de Excedencias)	Obra de toma y su control	Tubería a presión	Canales y túneles de conducción	Obras de Regulación	Descarga de Fondo		
1	**TURBINA**	Válvula de Admisión	Turbina	Regulador de Velocidad (Eléctrico)	Regulación de Velocidad (Hidráulico)	Condensador Síncrono	Sistema de Engrase de la Turbina	Desfogue	Sistema de Agua de Enfriamiento Turbina	Chumaceras de la Turbina	Sistema de Aereación Turbina
2	**GENERADOR**	Generador (Rotor y Estator)	Sistema de Excitación	Sistema de Frenado e Izaje	Bus de Fase Aislada y Cables de Potencia	Chumaceras del Generador	Sistema de Enfriamiento del Generador				
3	**SERVICIOS DE CD Y CA DE LA CENTRAL**	Corriente Directa de la Central	Alumbrado de la Central	Servicios Propios de la Central	Servicios de Emergencia de la Central						
4	**SERVICIOS GENERALES**	Aire de Servicios	Agua de Servicios	Aire Acondicionado	Sistema de Ventilación de la Central	Sistema de Comunicaciones	Sistema de Aguas Negras de la Central	Sistema de Achique de la Central	Grúa Viajera y Polispastos de la Central	Sistema Contraincendios de la Central	
5	**EDIFICIOS, ACCESOS E INSTALACIONES**	Casa de Máquinas	Edificios y Almacenes	Campamentos	Accesos	Galería y Lumbreras	Subestación (Obra Civil)				
6	**SUBESTACIÓN**	Subestación de Alta Tensión (230 - 400 KV)	Subestación Media Tensión (115 - 161 KV)	Subestación de Baja Tensión (13.2 - 69 KV)	Transformadores	Corriente Directa de Subestación	Sistema Contraincendios de Subestación	Servicios Propios de Subestación	Sistema de Comunicaciones de Subestación	Aire Acondicionado de Subestación	Sistema de Ventilación de Subestación
7	**CONTROLES DE SECUENCIA**	Control Automático de Unidades	Control Automático de Transformadores	Control Regional de Generación	Control Automático de Subestaciones	Control automático de Vertedores	Control Automático de Servicios Propios				
8	**SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**	Protecciones de Linea	Protecciones de Unidades Generadoras	Protecciones de Subestación	Multimedición de Unidades Generadoras	Multimedición de Subestaciones				Equipo de Calibración	
9	**SISTEMAS INDEPENDIENTES**	Equipos de buceo	Líneas de Distribución								

Tabla 5 MATRIZ NORMALIZADA DE CODIGOS DE SISTEMAS

Los equipos que se encuentran archivados en la base de datos del sistema Simag en el departamento mecánico son los siguientes:

Tabla 6 EQUIPOS ARCHIVADOS EN LA BASE DE DATOS DEL SIMAG

Sistema	Código	Componente	Nombre del equipo/componente	Número de Equipos por Unidad	Número de Equipos Totales
Regulación de velocidad	13	7010	Bomba de regulación M-311	1	4
Regulación de velocidad	13	7010	Bomba de regulación M-312	1	4
Regulación de velocidad	13	7010	Bomba de regulación M-313	1	4
Regulación de velocidad	13	7010	Bomba de regulación M-314	0	0
Regulación de velocidad	13	7800	Compresor Reciprocante M-111	1	4
Regulación de velocidad	13	7800	Compresor Reciprocante M-112	1	4
Regulación de velocidad	13	8910	Válvula de Regulación 26-D	1	4
Regulación de velocidad	13	8910	Válvula de Regulación 26-R	1	4
Achique Aceite Infiltrado	13	7010	Bomba Aceite Infiltrado M-371	2	8
Achique Aceite Infiltrado	13	7010	Bomba Aceite Infiltrado M-372	2	8
Achique Agua Infiltrada	17	7020	Bomba Agua Infiltrada M-361	2	8
Achique Agua Infiltrada	17	7020	Bomba Agua Infiltrada M-362	2	8
Agua de Enfriamiento	25	7310	Enfriador Agua/Aire del Generador	12	48
Agua de Enfriamiento	25	7320	Enfriador Agua/Aceite Chum. Guia Generador	2	8
Agua de Enfriamiento	17	7320	Enfriador Agua/Aceite Chum. Combinada Turbina	4	16
Agua de Enfriamiento	17	7320	Enfriador Agua/Aceite Chum. Guía Turbina	6	24
Agua de Enfriamiento	17	7320	Enfriador Agua/aceite Tanque VK-300	1	4
Aereación	19	8743	Válvula de aereación	4	16
Izaje	22	7010	Bomba de Izaje	1	4
Chumaceras	24	7420	Chumacera Guía Superior Generador	1	4
Chumaceras	18	7410	Chumacera de Carga de la Turbina	1	4
Chumaceras	18	7440	Chumacera Guía Superior de la Turbina	1	4

Chumaceras	18	7440	Chumacera Guía Inferior de la Turbina	1	4
Achicado de Agua	46	7020	Bombas de Achique de 300 HP	0	3
Achicado de Agua	46	7020	Bombas de Achique de 600 HP	0	3
Compresor de Servicios Generales	40	7800	Compresor de Servicios Generales	0	2
Ventilador de Tiro Forzado	43	7840	Ventilador de Tiro Forzado	0	5
Rodete de la Turbina	11	7513	Rodete de Álabes Móviles	1	4
Rodete de la Turbina	11	7513	Rodete de Álabes Fijos	0	1
			TOTAL	50	214

La C.H. Peñitas cuenta con un procedimiento para la ubicación de los equipos que se dan de alta en el sistema Simag, tiene el siguiente orden:

Central	Unidad	Sistema	Componente	Consecutivo
2151	x	xx	xxxx	xx

Por ejemplo, para una bomba de aceite del sistema de regulación de velocidad se tiene:
Central: 2151 – Pertenece a la central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo “Peñitas”
Unidad: 1 – El equipo pertenece a la unidad generadora No. 1
Sistema: 13 – Pertenece al sistema No. 13; sistema de regulación de velocidad.
Componente: 7010 – Pertenece al grupo de bombas de aceite.
Consecutivo: 01 – Es la bomba No. 1 del sistema de regulación de velocidad, en este caso la bomba M-311.

La ubicación del equipo dentro del sistema Simag queda de la siguiente forma:

Central	Unidad	Sistema	Componente	Consecutivo
2151	1	13	7010	01

3.1.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS.

3.1.3.1. SISTEMA DE REGULACIÓN 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 desbalanceo en la reacción de 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 la turbinas Kaplan de la central hidroeléctrica Peñitas está concebido para soportar una unidad de procesamiento de error de velocidad de 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.

En este sistema en especial, se cuenta con un depósito acumulador con una capacidad de 5000 L, el cual bajo condiciones normales de operación, es llenado hasta un tercio de su altura con aceite y otras dos terceras partes con aire. El aire con su excelente característica de compresibilidad, representa un eficiente medio para acumular energía, misma que es usada posteriormente por el sistema. Como fuente de suministro de aceite, se cuenta con 3 motobombas.

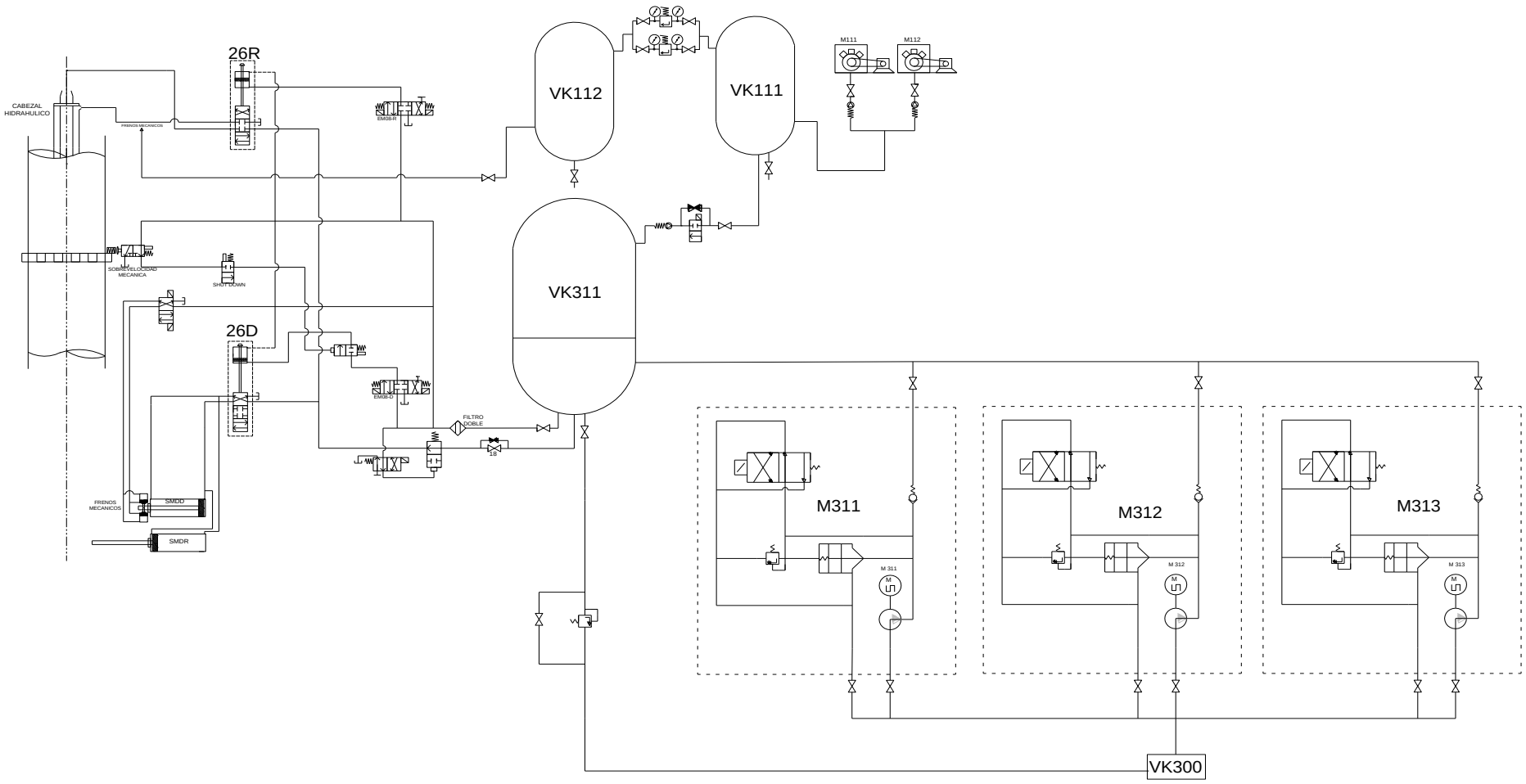


Figura 3.1 SISTEMA DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD.

BOMBAS DE REGULACIÓN

Son las encargadas de inyectar la presión de 38 Kg/cm^2 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^2) y forzar a que circule (cerrándose) hacia el mismo, cuando la presión desciende hasta los 36 Kg/cm^2.

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/cm^2)	Paro (Kg/cm^2)
M-311	36	38
M-312	35.5	37.5
M-313	35	37

Tabla 7 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LAS BOMBAS DE REGULACIÓN

Figura 3.2 BOMBAS DE REGULACIÓN (M-311, M-312 Y M-313)

Marca: KRAL
Motobomba de tornillo montaje vertical
Caudal de trabajo: 600 l/min.
Tipo de aceite: heavy medium
Tipo de balero:
Presión: 40 kg/cm^2
Frecuencia: 60hz
rpm: 3400 rpm.
Potencia del motor: 66 kw
Voltaje:380/ 480 v
Peso: 380 kg.

COMPRESOR RECIPROCANTE DE AIRE.

La función de estos compresores es introducir aire presurizado a 38 Kg/cm^2 al sistema de regulación de velocidad, el aire es usado luego para controlar el nivel de aceite en el tanque aire/aceite a presión (VK – 300), este, a la vez, contiene el aceite de regulación para todo el sistema.

El sistema cuenta con dos compresores por unidad generadora, cada uno con interruptores de arranque y paro (36 y 38 Kg/cm^2 respectivamente). El compresor de respaldo entra en operación cuando el primer compresor reciprocante no es capaz de levantar los kilogramos de presión necesarios, este equipo está automatizado mediante la aplicación de un PLC.

Figura 3.3 COMPRESORES RECIPROCANTES M-111 Y M.112.

Velocidad: 730 rpm
Presión de trabajo: 4 MPa
Motor:
190/380 volts. 230/460 volts
Corriente:33 /17 amperes. 39/19 amperes.
rpm: 1460/1760.
Frecuencia:50/60 Hz
Temperatura: 40 °C

VÁLVULAS DISTRIBUIDORAS 26D Y 26R.

Su función es permitir el paso de aceite a presión hacia los servos que mueven los álabes del distribuidor (26D) y del rodete (26R); 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 26D 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^2 (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 26D o 26R

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 26D, cuando el pistón de la válvula 26D baja, deja pasar aceite al servo para abrir los álabes del distribuidor. Este proceso es igual para la válvula 26R.

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 26D, cambia de posición y deja que el aceite regrese al tanque VK-300 cerrando los álabes del distribuidor.

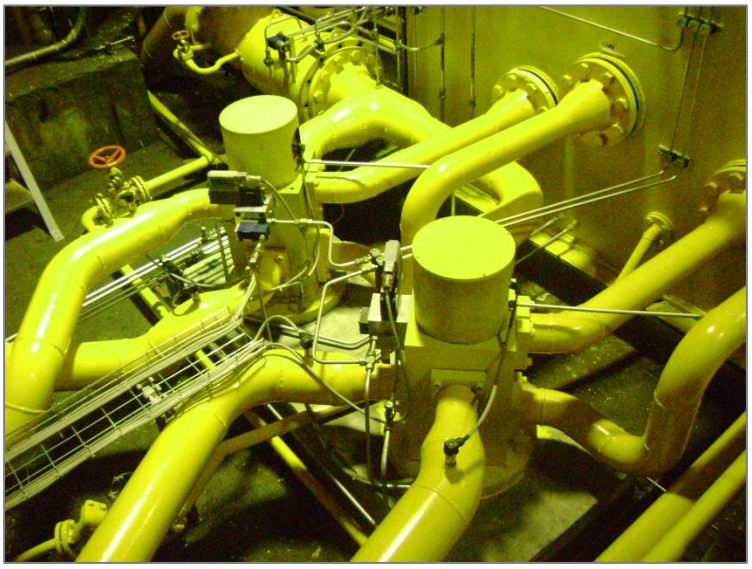


Figura 3.4 VÁLVULAS DISTRIBUIDORAS 26D Y 26R.

Marca: ANDRITZ HYDRO
Tipo de fluido: aceite hidráulico heavy medium
Presión de trabajo: 38 kg/cm^2
Material del cuerpo: acero al carbón
Válvula de 5/3 vías

3.1.3.2. SISTEMA DE ACHIQUE DE ACEITE INFILTRADO.

El sistema de bombeo de aceite infiltrado tiene la finalidad de achicar el aceite infiltrado de las varillas del pistón de los servomotores de la rueda distribuidora, válvulas 26D y 26R, y del sistema de frenado y restituirlo al tanque de regulación sin presión VK-300.

El aceite infiltrado está bombeado por dos motobombas M-371 y M-373. El motor M-371 de la bomba principal es operado por el interruptor flotante (S371) y el motor de bomba de reserva por el interruptor flotante (S372). El motor de reserva está conectado al nivel

máximo de aceite infiltrado. Durante la marcha de la bomba de reserva está conectada simultáneamente la señalización del nivel máximo de aceite infiltrado. El equipo de bombeo trabaja independientemente y sin dependencia a la marcha del grupo.

BOMBAS DE ACHIQUE DE ACEITE INFILTRADO M-371 Y M-372.

Las motobombas succionan el aceite infiltrado del tanque colector, el cual se halla colocado en la tapa de la turbina. El tiempo de achicado depende de la cantidad de fugas de aceite, lo cual es también indicativo de las condiciones de operación de la turbina.

Figura 3.5 BOMBAS DE ACEITE INFILTRADO M-371, M-372

Motor:
Voltaje: 460 – 265 volts
Factor de potencia: 0.85
Corriente: 213 amperes
rpm: 1710
Frecuencia: 60/50 Hz

3.1.3.3. SISTEMA DE ACHIQUE DE AGUA INFILTRADA.

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 sello de carbones, manguitos de los álabes del distribuidor o de las válvulas de aereación.

Las fugas de agua mencionadas anteriormente, se acumulan en el lugar más bajo del adaptador de la tapa de la turbina y de ahí mediante un interruptor flotante de conexión

(S361) el cual acciona a la motobomba (M-361) es achicada el agua descargando al desfogue. Se tiene una motobomba de reserva (M-362) para el aumento del nivel del agua infiltrada, la cual es accionada por el interruptor flotante de contactos (S362), desconectándose al descender el nivel del agua.

En caso de que se incremente el nivel de agua infiltrada aun cuando se trabaje con las dos motobombas, se tiene un interruptor flotante (S363) que manda el paro por falla de la unidad. El equipo de bombeo trabaja independientemente de la marcha de la unidad, siendo indicativo de las infiltraciones la cantidad de agua achicada.

Figura 3.6 BOMBAS DE ACHIQUE DE AGUA INFILTRADA M-361 Y M-362

Marca: FLYGT
Tipo de bomba: sumergibles autocebantes
Altura máxima de descarga: 14m.
Potencia: 820 w
Caudal máximo: 5.8 l/s

3.1.3.4. 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.

.

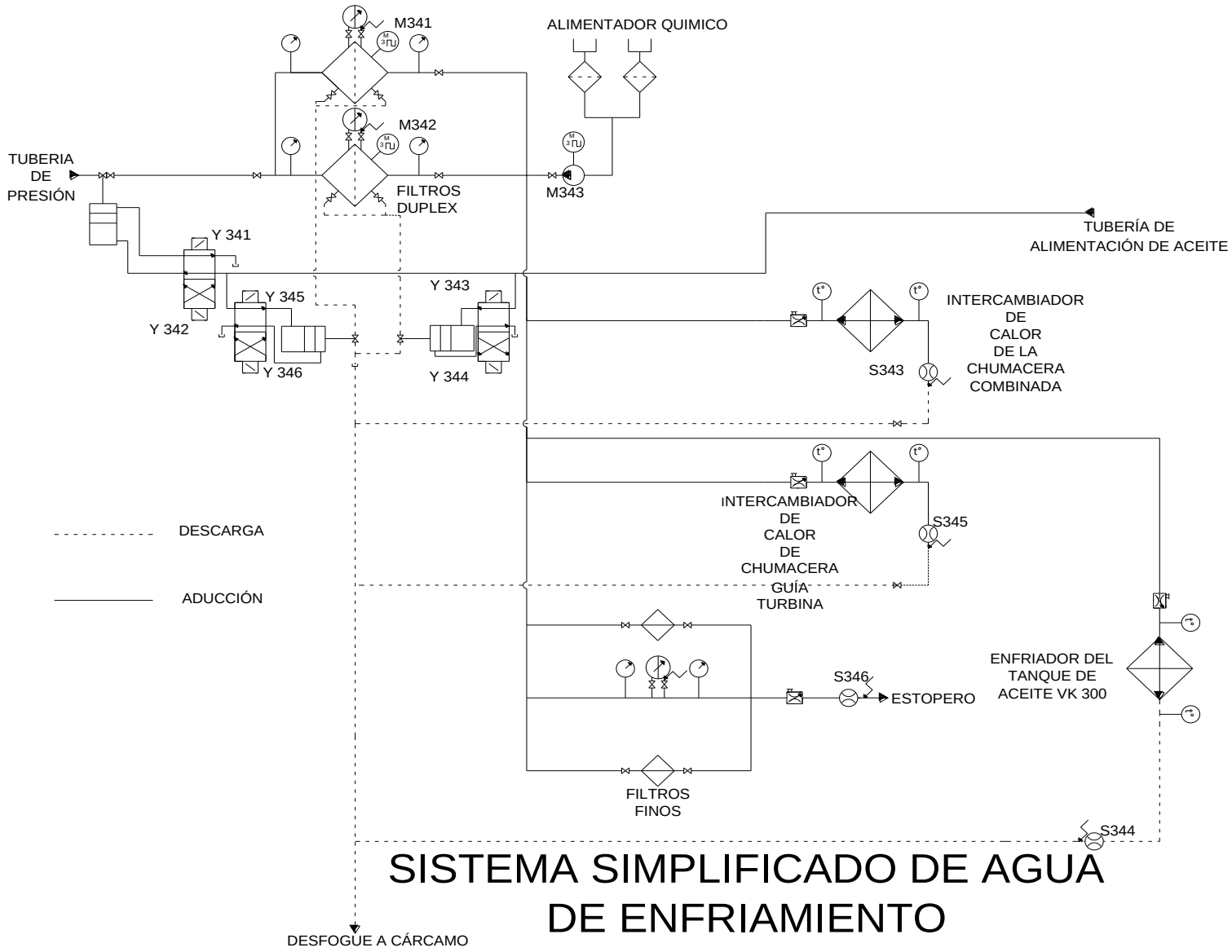


Figura 3.7 SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

RADIADORES AGUA/AIRE DEL ESTATOR.

Cada unidad generadora, tiene 12 intercambiadores de calor para enfriar el estator del generador.

Considerando como elementos para enfriamiento del generador a los enfriadores de aire (radiadores) y los enfriadores de la chumacera guía turbina, se tiene lo siguiente:

Datos para un Enfriador	A carga normal	A sobre carga
Flujo de aire.	5.1 m^3/seg.	5.1 m^3/seg.
Flujo de agua.	17.75 m^3/h	17.75 m^3/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 8 DATOS TÉCNICOS DE LOS RADIADORES DEL ESTATOR.

El flujo total de agua a los enfriadores es de 213 m^3/h.

Total de caída de presión para enfriadores, tuberías e indicadores de flujo……...……..……150KPa.

Figura 3.8 DESMONTAJE DEL RADIADOR.

ENFRIADORES DE LA CHUMACERA GUÍA SUPERIOR 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 m^3/h.; los enfriadores están constituidos por cuatro tubos de cobre, en forma de U, expandidos dentro de una placa tubular de latón.

Figura 3.9 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE LA CHUM. GUÍA GENERADOR

Haz de tubos: 8
Caudal del agua alimentación: 45 Lts/ min.
No de intercambiadores: 2
El flujo del agua para los enfriadores: 1.2 m^3/Hr.
Los intercambiadores están constituidos por 4 Tubos de Cu, en forma de U, expandidos dentro de una placa tubular de latón.

INTERCAMBIADOR DE CALOR AGUA/ACEITE DE LA CHUMACERA COMBINADA DE LA TURBINA.

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.

Figura 3.10 INTERCAMBIADORES DE CALOR DE LA CHUM. COMBINADA

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

Referencia de plano: 0 VTU 8412 - 096
Cantidad por unidad: 4 intercambiadores
Capacidad: 300lts
El gasto del agua: 57.5 lts/seg
Haz de tubos: 414
Peso neto: 1440 Kg
Longitud del tubo: 2085 mm
Material del tubo: 70% cu y 30% ni
Espesor del tubo: 3mm
Diámetro de tubo: 16mm
Total de la superficie refrigeradora: 40 m^2

INTERCAMBIADOR DE CALOR AGUA/ACEITE DE LA CHUMACERA GUÍA INFERIOR DE LA TURBINA

Desde el ramal hacia los refrigeradores de la chumacera combinada va un ramal de diámetro de 50mm. Hacia la chumacera guía turbina. La chumacera cuenta con 6 enfriadores, teniendo una interconexión circular común. Cada enfriador puede ser puesto fuera de servicio. En el conducto común se tiene instalado un diafragma de regulación,

sondas termométricas de resistencia a la entrada y salida, flujómetro de contactos y una válvula corrediza manual.

La cantidad de agua necesaria para estos enfriadores es de 150 L/min una carga de 11-12 m.

Figura 3.11 MANTENIMIENTO A ENFRIADOR DE LA CHUM. GUÍA TURBINA.

Cantidad de agua por enfriadores: 150 lts/min
Presión de prueba: 8.4 kg/cm^2.
Numero de intercambiadores: 6 pza

INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL TANQUE SIN PRESIÓN VK-300

Del ramal de descarga de los filtros de lavado automático, se toma una tubería de 50mm. 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 300mm de diámetro, la cual cuenta con una válvula corrediza manual y desemboca en el canal de desfogue.

Figura 3.12 ENFRIADOR DE ACEITE/AGUA DEL TANQUE DE ACEITE SIN PRESIÓN VK-300.

3.1.3.5. SISTEMA DE AEREACIÓN

Con el objeto de disminuir o evitar que se presente en el interior de la turbina el efecto de "cavitación", se efectúa la inyección de aire al tubo de aspiración.

VÁLVULAS DE AEREACIÓN.

El sistema de aereación cuenta con 4 válvulas colocadas sobre la tapa de la turbina, con el perfil de paso de 4X400cm^2, las cuales bajo ciertos estados de funcionamiento, conducen forzadamente el aire atmosférico de la tapa de la turbina.

La válvula de aereación es fabricada de material anticorrosivo y se compone de cuerpo, en el cual esta ubicado el plato principal de la válvula siendo accionado por un resorte. En la parte baja está el plato de la válvula de retroceso. Siendo accionado moderadamente también por un resorte. La apertura y cierre, ajustadas cronológicamente, son ejecutados el cilindro interno, el cual está lleno de aceite. Las cuatro válvulas están controladas por medio del anillo de regulación, a través de una palanca, que acciona al plato principal de la válvula.

La válvula de retroceso se abre automáticamente por influencia de la depresión debajo de la tapa de la turbina y cierra por ayuda del resorte. El cilindro interno es llenado de aceite y proviene de un diafragma de aguja para dirigir la velocidad de cierre, el cual es dado por el resorte. Al movimiento súbito del anillo de regulación en el cierre del distribuidor, la palanca de la válvula aprieta el pistón contra el resorte del plano principal abriendo la válvula y por acción de la depresión debajo de la tapa va a abrirse también el plato de la válvula de retroceso. El tiempo de cierre es determinado por la fuerza del resorte y la dimensión del orificio estrangulado por la aguja.

Durante los cambios lentos de la regulación, la compresión del pistón es lenta y facilita que el aceite en el cilindro se desborde a través del orificio con el diafragma de aguja, sin causar el movimiento del cilindro. La aereación en el espacio de la turbina, termina en el momento que el plato principal de la válvula ajusta sobre el asiento, regresando el pistón a su posición inicial de trabajo.

Figura 3.13 VÁLVULA DE AEREACIÓN.

La carrera del plato principal de la válvula: 60 mm
Fuerza máxima del resorte: 430 kg

3.1.3.6. SISTEMA DE IZAJE

En ocasiones es necesario levantar el rotor de la máquina, por ejemplo, para el cambio de segmentos de la chumacera de carga, teniendo para esto un sistema de Izaje. Durante el Izaje del rotor, es necesario observar el control de la presión en el manómetro conectado a la bomba de Izaje, si este corresponde al valor de la carga levantada (12 mm) y si el rotor no se ha apoyado en alguna parte.

Para izar el rotor del generador y rodete de la turbina, se usan los gatos de frenado, siendo operadas mediante una bomba manual o una bomba con motor eléctrico, para esto la turbina del sistema de frenado debe estar completamente llena de aceite.

Figura 3.14 BOMBA DE IZAJE.

Caudal: 4 l/min
Presión: 150 bar
Capacidad del depósito de aceite: 35 l

Motor:
Tensión: 480 v
Frecuencia: 60 Hz
Potencia: 2.2 KW

3.1.3.7. CHUMACERAS

CHUMACERA GUÍA INFERIOR TURBINA.

La turbina está equipada con una chumacera de guía inferior y una chumacera de guía superior. La chumacera de guía superior está combinada con la chumacera de carga. Como otro lugar de apoyo, hay una chumacera guía en la parte superior del generador denominada chumacera guía generador. La chumacera consta de 12 segmentos radiales con dimensión de 300x300 mm los cuales guían el eje sobre el diámetro de 1500 mm teniendo una tolerancia de 0.2-0.3 mm.

Las fuerzas radiales que se presentan en la chumacera guía inferior se transmiten a través de la carcasa de chumacera a la tapa de turbina superior y en la chumacera de guía superior el apoyo de la chumacera de carga superior.

La lubricación de los segmentos de la chumacera son mediante aceite, siendo refrigerado este mediante enfriadores de agua. El volumen de aceite es de 700 L.

Las temperaturas permisibles son:

Temperatura máxima del metal …….75 ^{o}C
Temperatura máxima del aceite…….65 ^{o}C

Figura 3.15 CHUMACERA GUÍA TURBINA

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 medium.
Intercambiador de calor: 6 (agua aceite).
1 termómetro de distancia a mercurio, en el aceite, con 1 contacto de alarma.
1 termómetro de distancia a mercurio, en el metal de chumacera con 1 contacto de alarma y 1 contacto de desconexión.
2 sensores de temperatura a resistencia, en el metal de la chumacera para el registro de temperatura.
Temperatura máxima del metal: 75°c.
Temperatura máxima del aceite: 65°c.
Caudal de alimentación de agua: 75-80 lts/min

CHUMACERA COMBINADA DE LA TURBINA.

La chumacera combinada está compuesta por segmentos axiales y radiales, funcionando guía superior turbina respectivamente. Sobre la chumacera de carga se transmiten todas las cargas desde el rotor, las cuales son transmitidas a su vez a la tapa de la turbina y los álabes del ante distribuidor y de ahí a la cimentación de la obra. La capacidad de carga de la chumacera axial es de 1800 tons. Estando formada por 12 segmentos de acero forjado con revestimiento de metal blanco. Los segmentos están colocados sobre un inter-anillo elástico de acero, el cual está colocado sobre el cuerpo de la chumacera.

La chumacera radial soporta las fuerzas radiales de la turbina y está formada por 24 segmentos radiales de acero forjado con revestimiento de metal blanco. Tiene una capacidad de carga radial máxima de 126 ton. Teniendo un volumen en el recipiente de 6000 L durante el arranque y después del paro la lubricación está asegurada por una bomba de alta presión con 12 salidas, hacia cada segmento directamente en la superficie de antifricción. El funcionamiento de la bomba esta conectado en el proceso automático de arranque y paro de la unidad.

La chumacera guía está lubricado por orificios radiales sesgados, taladrados parcialmente en el cabezal portador y parcialmente en la planta. El nivel de aceite se eleva durante la rotación y los segmentos son inundados por el aceite. El aceite excedente corre por los orificios de vertedero en el cuerpo de la chumacera guía

hacia atrás en el tanque principal. Durante la marcha todo el aceite está en movimiento. El nivel de aceite en el tnque está mantenido por una válvula de aceite alrededor del eje. El aceite es refrigerado por 4 intercambiadores de calor horizontales, cada uno con una superficie refrigeradora de 40 m^2.

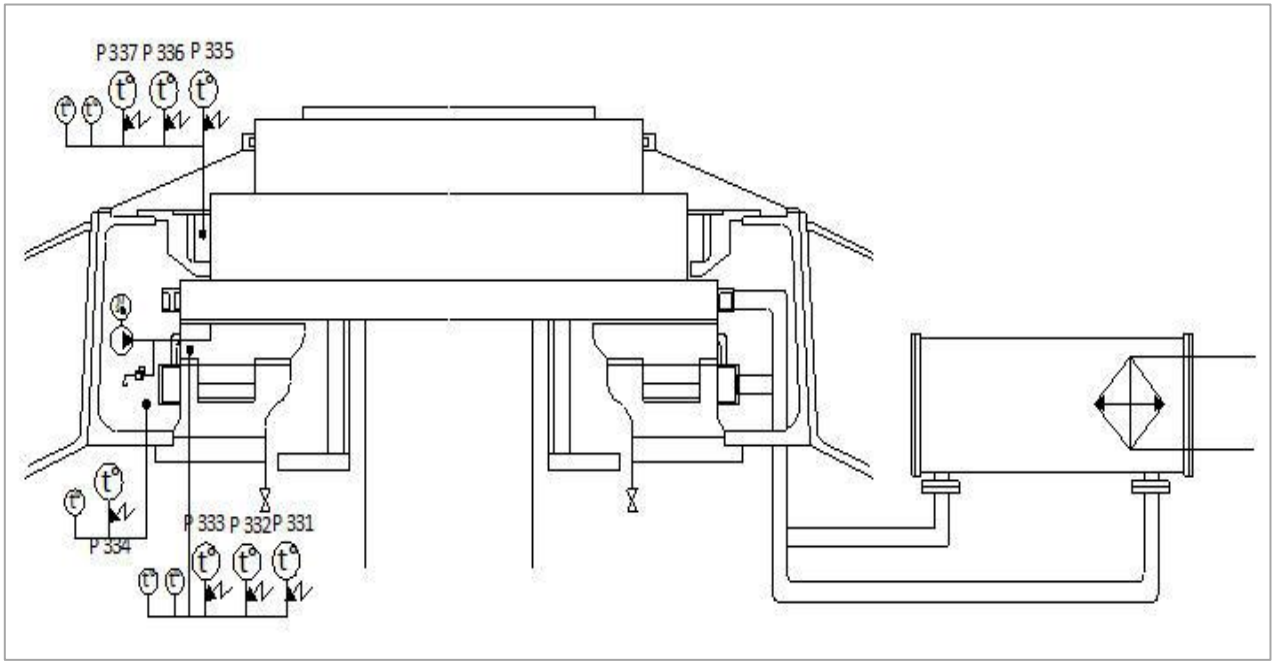


Figura 3.16 CHUMACERA COMBINADA DE LA TURBINA.

No. de segmentos: 12 segmentos axiales
Capacidad en litros de la cuba: 8000 lts
Tipo de aceite: heavy medium
Capacidad de carga radial: 1800 tons
Capacidad de carga axial: 128 tons
1 termómetro de distancia a mercurio en el aceite con un contacto de alarma.
1 termómetro de distancia a mercurio en el metal de la chumacera con 1 contacto de alarma y 1 contacto de desconexión.
3 sensores de temperaturas a resistencia en el metal de la chumacera par
Temperatura máxima del metal es de 75°c
Temperatura máxima del aceite es de 65°c
Chumacera guía intermedia:
No. de segmentos: 24 segmentos radiales
Holgura entre segmentos: 0.33 mm (+- 0.40 mm)
Intercambiador de calor: 4 (agua aceite)

CHUMACERA GUÍA DEL 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

Figura 3.17 CHUMACERA GUÍA DEL GENERADOR

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

Se incluyeron para mantenimiento equipos de usos generales de la Planta:

3.1.3.8. SISTEMA DE ACHIQUE DE AGUA.

La finalidad del sistema de drenaje y achique es la de captar las filtraciones y escurrimientos de agua, tanto de las máquinas como de la construcción misma y

canalizarlas hacia el cárcamo de bombeo, de manera tal, que se evite los daños que pueda causar el agua en los diferentes equipos y las posibles inundaciones, ya sea por cuestiones climatológicas (lluvia) o por fugas mayores en los elementos de conducción de agua de las unidades.

El cárcamo de bombeo tiene una capacidad de diseño calculada de tal manera, que se tenga la seguridad en cuanto a la capacidad de almacenamiento de agua y la capacidad de bombeo de la misma, descargando esta agua hacia el canal de desfogue, tomando en cuenta también el desagüe (vaciado) de la conducción principal de agua como es la carcasa espiral y la toma de agua cuando sea necesario realizar esta actividad.

Una vez canalizada el agua de escurrimientos, filtraciones y descarga de la carcasa espiral hacia el cárcamo de bombeo a través de la galería de drenaje, el agua es expulsada hacia desfogue mediante 6 motobombas acopladas a una tubería de descarga común.

Las 6 motobombas están acopladas a un ángulo de 45° respecto al cabezal de descarga, siendo 3 motobombas chicas con una tubería de descarga de 153 mm. De diámetro y 203mm. A la succión, las 3 bombas grandes tienen un diámetro de 355mm. En la tubería de descarga y lo mismo en la succión, descargando en el cabezal común con un diámetro de 610 mm.

El cabezal tiene a la descarga una válvula Check y una derivación hacia el cárcamo de bombeo para el vaciado en una tubería de 305 mm. De diámetro con una válvula de compuerta y una de alivio.

Tanto las bombas de 50 HP como las de 300 HP tienen a la descarga una junta dresser, una válvula eliminadora de aire y de vacío, válvula de control de bombas, válvula de compuerta y una válvula de alivio de presión.

Entrada en operación:
Elevación 22.90; arranca una de las bombas de 50 HP
Elevación 23.00; arranca otra de las bombas de 50 HP
Elevación 23.15; arranca una de las bombas de 300 HP
Elevación 23.30; arranca otra de las bombas de 300HP
Elevación 34.00; señal de alarma y arrancan las bombas de reserva, una de 50 HP y otra de 300 HP
Paro:
Elevación 22.00; paran las bombas de 300HP
Elevación 21.50; paran las bombas de 50 HP

Figura 3.18 BOMBAS DE ACHIQUE DE AGUA DE 50 HP

BOMBA:
Marca: FAIRBANKS MORSE, S.A.
Gasto: 62 lts/seg
Eficiencia total: 70%
Potencia: 50hp
Carga dinámica total: 41.2m
Velocidad: 1770 rpm
Tipo: centrifuga vertical
Temperatura: 40 °c
Lubricación: por goteo.
Tipo de aceite: heavy medium
Gotas por minuto:
Flujo de diseño: 360lts/seg
Carga de diseño: 4 mca
Carga de gasto: 79.2 mca
No. de pasos: 2
Peso: 2440kg
Motor:
Potencia: 37.3 kw
Tipo de armazón: apg.
Amperes por línea: 224/62
Velocidad: 1770rpm
Fases: 3
Frecuencia: 60hz
Peso: 320kg

Figura 3.19 BOMBAS DE ACHIQUE DE 300 HP

Marca: FAIRBANKS MORSE, S.A.
Gasto: 360 lts/seg
Eficiencia total: 74%
Potencia: 300hp
Carga dinámica total: 43m
Velocidad: 1170 rpm
Tipo: centrifuga vertical
Temperatura: 60°c
Lubricación: por goteo.
Tipo de aceite: heavy medium
Gotas por minuto:
Flujo de diseño: 660 lts/ seg.
Carga de diseño: 43 mca.
Carga de gasto: 79.2 mca
No. de pasos: 2
Peso: 9370kg
Potencia del motor:223.8 KW
Tipo de armazón: A.P.G.
amp. por línea : 342 amp.
Voltaje: 440 volts
Velocidad: 1170rpm
Fases: 3
Frecuencia: 60 Hz
Peso: 1315kg

3.1.3.9. COMPRESOR DE SERVICIOS GENERALES.

COMPRESOR DE SERVICIOS GENERALES.

Figura 3.20 COMPRESOR DE SERVICIOS GENERALES.

Marca: ATLAS COPCO
Tablero digital:
ELEKTRONIKON
ATLAS COPCO
GA 75
Frecuencia: 60 hz
Velocidad: 3580r.p.m
Temperatura: 40°c
Tensión: 440/220 V
Corriente: 122/244 amperes
cfm: 469
Hp : 100
Psi: 107

3.1.3.10. VENTILADORES DE TIRO FORZADO.

VENTILADORES DE TIRO FORZADO.

Figura 3.21 VENTILADOR DE TIRO FORZADO

Marca: FLAHT
Velocidad máxima: 825 rpm.
Motor:
Marca: ASEA
Voltaje: 440/220 volts
Corriente: 21/42 amperes
Temperatura: 40°c
rpm: 1740

3.1.4. ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS DEL SISTEMA SIMAG.

En base a la información recolectada anteriormente para los equipos que están sujetos a mantenimiento dentro del sistema Simag, se realizó una comparación entre los equipos que deben estar dados de alta en el sistema contra los que actualmente están en la base de datos, de esta forma se encontraron los equipos que deben ser actualizados:

Tabla 9 EQUIPOS QUE SERÁN ACTUALIZADOS

	Nombre del equipo/componente	Código	Componente	Acción a Realizar
1	Bomba de regulación M-311	13	7010	Actualizar datos, equipo nuevo; corregir ubicación
2	Bomba de regulación M-312	13	7010	Actualizar datos, equipo nuevo; corregir ubicación
3	Bomba de regulación M-313	13	7010	Actualizar datos, equipo nuevo; corregir ubicación
4	Bomba de regulación M-314	13	7010	Eliminar del sistema, equipo dado de baja
5	Compresor Reciprocante M-111	13	7800	Corregir ubicación del equipo
6	Compresor Reciprocante M-112	13	7800	Corregir ubicación del equipo
7	Válvula de Regulación 26-D	13	8910	Actualizar datos, equipo nuevo; corregir ubicación
8	Válvula de Regulación 26-R	13	8910	Actualizar datos, equipo nuevo; corregir ubicación
9	Bomba Aceite Infiltrado M-371	13	7010	Corregir ubicación del equipo
10	Bomba Aceite Infiltrado M-372	13	7010	Corregir ubicación del equipo
11	Bomba Agua Infiltrada M-361	17	7020	Actualizar datos, equipo nuevo; corregir ubicación
12	Bomba Agua Infiltrada M-362	17	7020	Actualizar datos, equipo nuevo; corregir ubicación
13	Enfriador Agua/Aire del Generador	25	7310	Corregir ubicación del equipo
14	Enfriador Agua/Aceite Chum. Guia Generador	25	7320	Corregir ubicación del equipo
15	Enfriador Agua/Aceite Chum. Combinada Turbina	17	7320	Dar de alta en el sistema
16	Enfriador Agua/Aceite Chum. Guía Turbina	17	7320	Corregir ubicación del equipo
17	Enfriador Agua/aceite Tanque VK-300	17	7320	Actualizar datos, equipo nuevo; corregir ubicación
|8	Válvula de aereación	19	8743	No se realizó ninguna acción
19	Bomba de Izaje	22	7010	No se realizó ninguna acción
20	Chumacera Guía Superior Generador	24	7420	Dar de alta en el sistema
21	Chumacera de Carga de la Turbina	18	7410	Dar de alta en el sistema

22	Chumacera Guía Superior de la Turbina	18	7440	Dar de alta en el sistema
23	Chumacera Guía Inferior de la Turbina	18	7440	Dar de alta en el sistema
24	Bombas de Achique de 300 HP	46	7020	No se realizó ninguna acción
25	Bombas de Achique de 600 HP	46	7020	No se realizó ninguna acción
26	Compresor de Servicios Generales	40	7800	No se realizó ninguna acción
27	Ventilador de Tiro Forzado	43	7840	No se realizó ninguna acción
28	Rodete de Álabes Móviles	11	7513	No se realizó ninguna acción
29	Rodete de Álabes Fijos	11	7513	No se realizó ninguna acción

Actualizado el sistema, se tienen 50 equipos por unidad y un total de 214 equipos en la central.

Simag es un programa informático auxiliar en el mantenimiento predictivo de la C.H. Peñitas, en el periodo Noviembre 2009 - Julio 2010, se realizó la actualización de equipos en los sistemas de las unidades generadoras, entre los más importantes fue el sistema de regulación de velocidad.

El sistema Simag requiere que se actualice o elabore una base de datos de los diferentes equipos de cada sistema o familia, debido a que está programado para no procesar una orden de trabajo a menos que estén completos estos requisitos.

A continuación se explica en forma breve, el proceso para la actualización de la base de datos del Simag.

Figura 3.22 PANTALLA PRINCIPAL DEL SISTEMA SIMAG (SISTEMA MÓVIL DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN GENERACIÓN)

El área de menús contiene 6 menús que son: Catálogos, Operación, Reportes, Mantenimiento, Seguridad y Ayuda.

Menú Catálogos.
Encontramos 3 submenús: Organización, Personal y Tablas. También los comandos Bombas, Compresores, Deshollinadores, Generador Vapor, Intercambiadores, Precalentadores, Turbinas, Turbo Compresor, Válvulas, Ventiladores y Salir.

Dentro del Submenú Organización encontramos los comandos Regiones, Subgerencias, Centrales, Unidades, Sistemas, Tipos de Equipos, Equipos.

Figura 3.23 SUBMENÚ ORGANIZACIÓN.

Cuando seleccionamos el Menú de Catálogos-Organización-Equipos, se despliega la ventana de Equipos. La ventana de Equipos está dividida en 3 partes, área de campos, área de consulta y área de botones. Todos los subsistemas mencionados están divididos en tres partes.

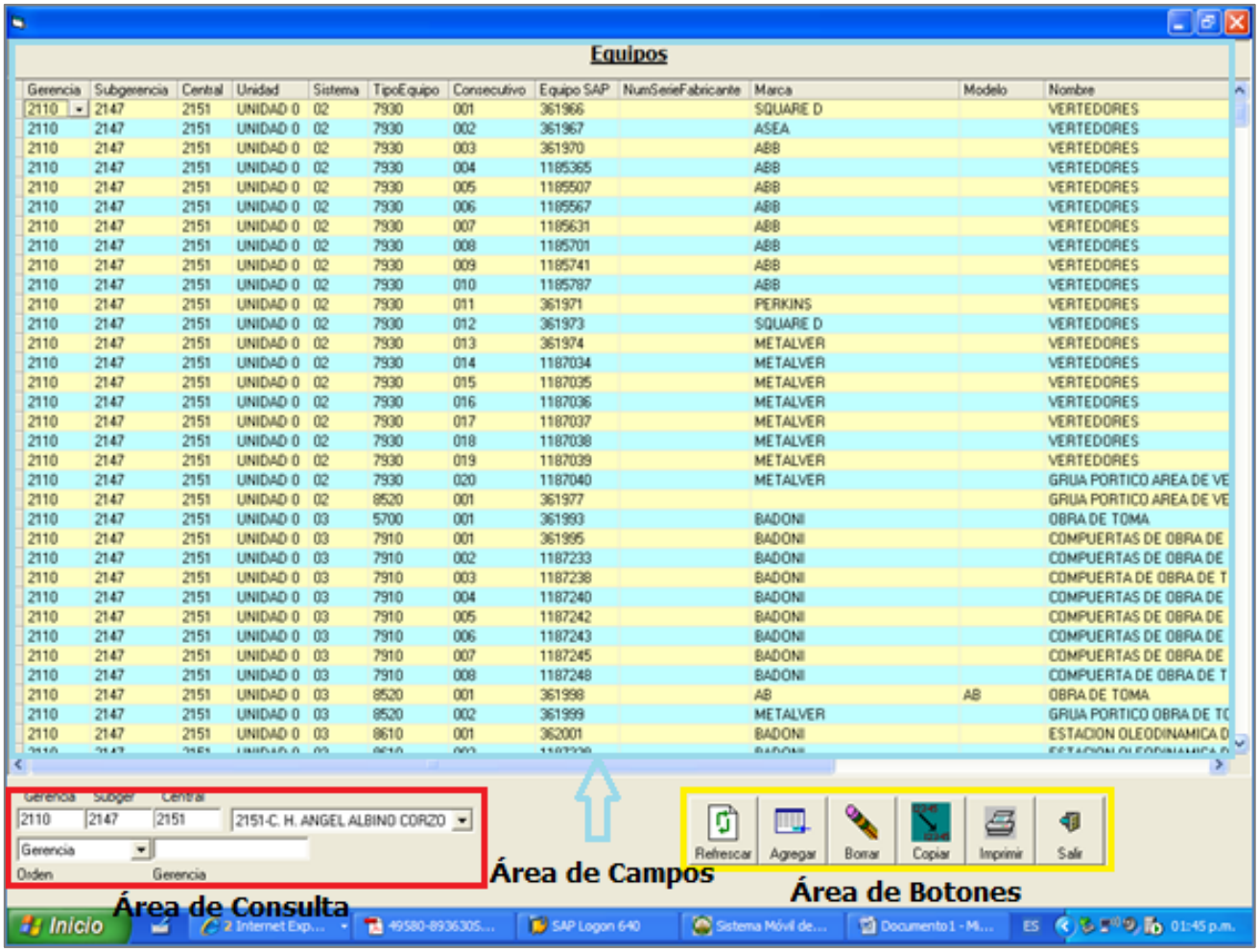


Figura 3.24 VENTANA EQUIPOS

El *área de campos* se presenta toda la información de la base de datos acerca de los equipos como son datos clave de región, clave de subgerencia, clave de la central, unidad a la que pertenece, código del sistema, código de tipo de equipo, consecutivo, equipo SAP, marca, modelo, nombre y nombre corto.

El *área de consulta* nos permite buscar un equipo en específico.

En el *área de botones* encontramos 6 botones:
Refrescar: despliega el catálogo en su orden original.
Agregar: inserta un renglón más a la lista de campos, actualizando la base de datos con la información nueva.
Borrar: elimina un renglón de la lista de campos, siempre debemos estar posicionados en el renglón a eliminar.
Copiar: Opción que solo adquiere utilización cuando el catálogo es mandado llamar desde otra aplicación
Imprimir: permite visualizar el listado antes de imprimirlo.

Salir: nos regresa a la pantalla anterior cerrando la ventana actual.

Agregar Equipos al sistema

Para dar de alta a un equipo dentro del sistema Simag, se debe realizar la siguiente secuencia:

1.- En el submenú *Región*, se agrega la gerencia junto con su código, este aplica el mismo para todos los equipos.
2.- En el submenú *Subgerencia*, se agrega la subgerencia junto con su código, este aplica el mismo para todos los equipos.
3.- En el submenú C*entral*, se agrega la central junto con su código, para la central Peñitas su código es el 2151.
4.- En el submenú *Unidad*, se agrega la unidad que se encuentra el equipo; si es un equipo para servicios generales, se incluye dentro de la unidad auxiliar asignada esta como Unidad 0.
5.- En el submenú *Sistema*, se agrega el sistema al cual pertenece el equipo, el código se obtiene mediante el proceso descrito anteriormente. En caso que se cuenten con equipos diversos para un mismo sistema, el sistema solo se agregará una sola vez.
6.- En el submenú *Tipo de equipo*, se agrega tipo de equipo o componente introduciendo el código que se obtiene mediante el proceso descrito anteriormente.
7.- En el submenú *Equipos*, se agrega el equipo con su consecutivo, equipo SAP, marca, modelo, nombre y nombre corto. En este submenú se debe verificar que la dirección del equipo sea la correcta sino desde esta misma ventana se pueden hacer las modificaciones correspondientes.

Una vez creada la ubicación del equipo, salga de la ventana Equipos y regresa a la pantalla principal. En la pantalla principal se encuentran los íconos de Bombas, Compresores, Deshollinadores, Generador de Vapor, Intercambiadores, Precalentadores, Turbinas, Turbo Compresor, Válvulas, Ventiladores. Dependiendo del equipo que se trate se da click en el ícono y se despliega otra página. Para poder agregar el equipo es necesario que ingrese la ubicación exacta del equipo en el área de consulta, generada en la secuencia anterior. Hecho esto, se procede en dar click en el botón Agregar en el área de botones, se genera un renglón en el área de campos, donde aparece el equipo con su dirección. Se pone un nombre al equipo.

En la parte inferior se visualiza un cuadro con datos de placa que requieren ser llenados para cada equipo que esté dado de alta en el sistema.

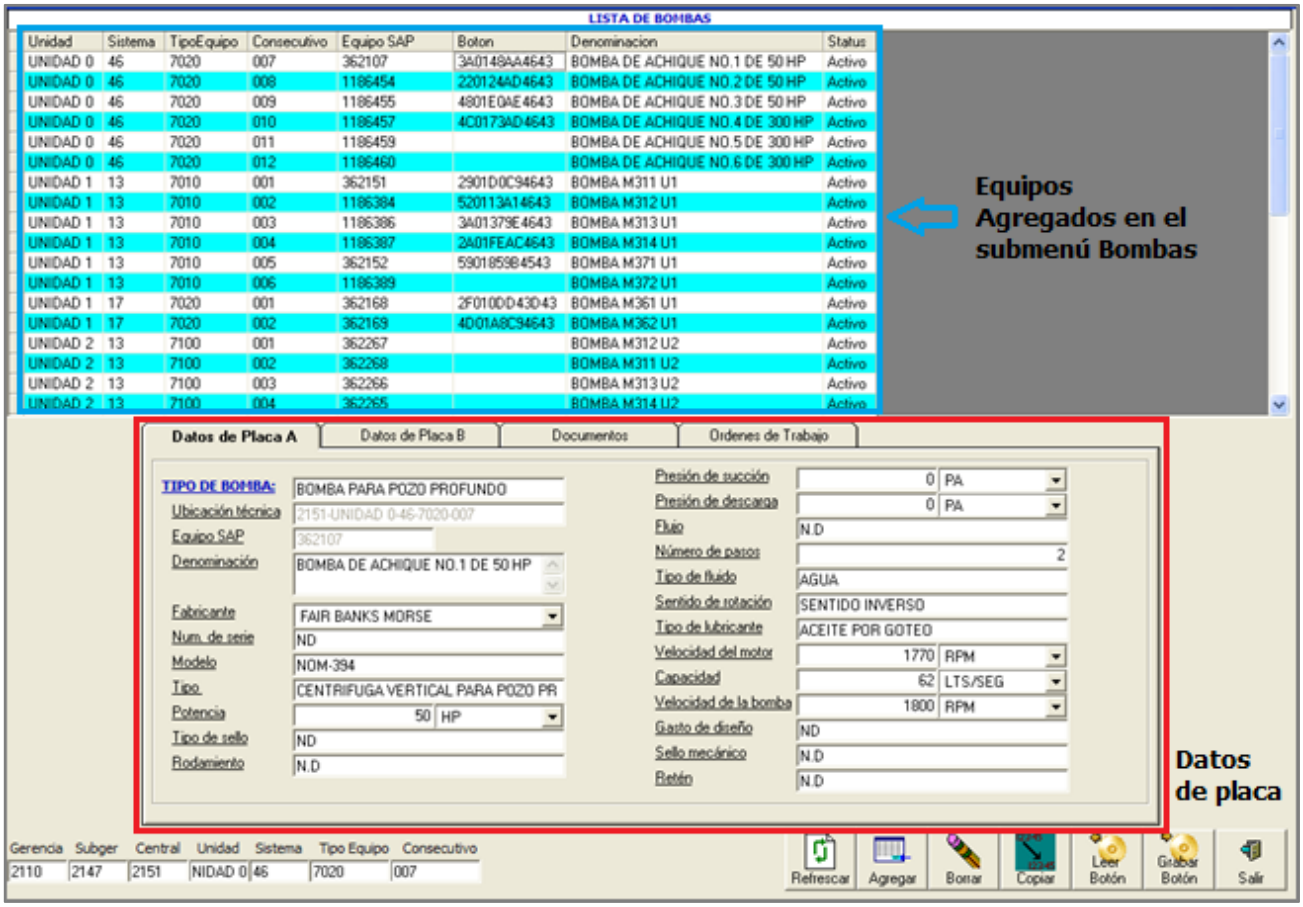


Figura 3.25 VENTANA DE BOMBAS

Métodos para accesar a la información de los equipos.

El usuario tiene 3 formas diferentes para poder accesar a la información. La primera y más simple es mediante la lectura de un botón de memoria la cual se hace tocando un botón de memoria con el button link, el sistema leerá el equipo que está asociado al botón de memoria, lo alojará en el área de campos y mostrará toda la información correspondiente al equipo. El botón Leer botón, esta opción lee la información de un botón de memoria. El usuario podrá decidir qué orden tomar para llevar a cabo la lectura del botón de memoria. Como primera opción tiene el tocar el botón de memoria con el Button link y después dar click a este botón, como segunda opción tiene el dar click a este botón y después tocar el botón de memoria con el button link. Una vez que se ha habilitado el área de información el usuario puede seguir haciendo uso de esta opción para la búsqueda de sus equipos.

La segunda forma en la cual el usuario habilita el área de información es seleccionando dentro del área de campos un equipo, el sistema mostrará toda la información asociada a ese equipo.

La tercera forma y última en la que el usuario habilita el área de información es utilizando el área de consulta en la cual especifica la búsqueda de un equipo o conjunto de equipos. Una vez que se han llenado los campos en el área de consulta el usuario deberá dar click al botón refrescar. El área de campos mostrará todos aquellos equipos que hayan cumplido con las condiciones especificadas por el usuario y mostrará por omisión en el área de información los datos del primer equipo resultante.

Eliminar Equipos del sistema.

Para dar de baja a un equipo, primero se tiene que revisar si existe algún formato en uso, si es así, abrir el formato y terminar su sesión, cerrarlo y luego subir (o eliminar) el formato.

Existen dos modos para eliminar un botón registrado para un equipo:

A. Borrado en forma Manual.
   Se requiere accesar al a la siguiente ubicación “mantenimiento/borrar botón de memoria/”. En este último aparecen dos opciones para eliminar un botón que ya está registrado para determinado equipo, se procede a elegir de manera manual, esto es: copiar el código del button link registrado en la ubicación del equipo que se desea eliminar; se prosigue con escribir el código y oprimir la tecla “borrar botón”. De esta manera el botón queda eliminado del equipo.

B. Borrado en forma Automática.
   Si se cuenta con el botón físico, se lee el botón en el servidor mediante el button link, el código aparece automáticamente, se procede en oprimir la tecla “borrar botón”.

Figura 3.26 VENTANA BORRAR BOTÓN DE MEMORIA

Si el equipo que se desea eliminar ya tiene asignado un botón, es indispensable eliminar el botón del equipo, como consecuencia se pierde el historial guardado en el botón.

Para dar de baja un equipo, se selecciona el equipo (bomba, ventilador, compresor, etc.) dentro de la familia correspondiente y se oprime el botón “borrar”, aparece una leyenda diciendo si “está seguro eliminar el equipo” se oprime aceptar. Hecho esto, el equipo queda dado de baja de la base de datos del Simag.

3.2. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en área donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad.

3.2.1 LISTADO DE EQUIPOS A ESTUDIAR DENTRO DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

Los equipos incluidos dentro del análisis de criticidad, se encuentran las bombas de regulación, bombas de achique de agua infiltrada, bombas de achique de aceite infiltrado, bomba de Izaje, bombas de achique de la central; compresores de regulación, compresores de servicios generales, ventiladores de tiro forzado.
Como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 10 EQUIPOS SUJETOS A ESTUDIO EN EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Sistema	Código	Componente	Nombre del equipo/componente.
Regulación de velocidad	13	7010	Bomba de regulación M-311
Regulación de velocidad	13	7010	Bomba de regulación M-312
Regulación de velocidad	13	7010	Bomba de regulación M-313
Regulación de velocidad	13	7800	Compresor Reciprocante M-111
Regulación de velocidad	13	7800	Compresor Reciprocante M-112
Achique Aceite Infiltrado	13	7010	Bomba Aceite Infiltrado M-371
Achique Aceite Infiltrado	13	7010	Bomba Aceite Infiltrado M-372
Achique Agua Infiltrada	17	7020	Bomba Agua Infiltrada M-361
Achique Agua Infiltrada	17	7020	Bomba Agua Infiltrada M-362
Izaje	22	7010	Bomba de Izaje
Achicado de Agua	46	7020	Bombas de Achique No.1 de 50 HP
Achicado de Agua	46	7020	Bombas de Achique No.2 de 50 HP
Achicado de Agua	46	7020	Bombas de Achique No.3 de 50 HP
Achicado de Agua	46	7020	Bombas de Achique No.4 de 300 HP
Achicado de Agua	46	7020	Bombas de Achique No.5 de 300 HP
Achicado de Agua	46	7020	Bombas de Achique No.6 de 300 HP

Compresor de Servicios Generales	40	7800	Compresor de Servicios Generales No.1
Compresor de Servicios Generales	40	7800	Compresor de Servicios Generales No.2
Ventilador de Tiro Forzado	43	7840	Ventiladores de Tiro Forzado No.1
Ventilador de Tiro Forzado	43	7840	Ventiladores de Tiro Forzado No.2
Ventilador de Tiro Forzado	43	7840	Ventiladores de Tiro Forzado No.3
Ventilador de Tiro Forzado	43	7840	Ventiladores de Tiro Forzado No.4
Ventilador de Tiro Forzado	43	7840	Ventiladores de Tiro Forzado No.5

Esta selección de equipos fue propuesta por el ingeniero a cargo del depto. Mecánico de la central Peñitas, a falta de tiempo no se analizan todos los equipos de la base de datos del Simag.

3.2.2. SELECCIÓN DEL PERSONAL A ENTREVISTAR.

El personal seleccionado para contestar las encuestas del estudio de análisis de criticidad para cada equipo es el siguiente:

- Jefe del departamento mecánico.
- Jefe del departamento auxiliar de superintendencia.
- Encargado del taller mecánico.
- Técnicos mecánicos de la central.

A todas las personas involucradas en el estudio se les realiza una presentación del tema donde se explica la metodología, los alcances y la importancia de los resultados. Se dan las instrucciones sobre cómo llenar el formato de encuesta, además se puntualiza el compromiso que se debe tener para que el estudio arroje los mejores resultados.

3.2.3. SELECCIÓN DE CRITERIOS A EVALUAR.

Los criterios o parámetros que se utilizaron para la elaboración de las encuestas, las tablas de ponderación y el cálculo de los valores de criticidad de los sistemas fueron los siguientes:

- *Frecuencia de Fallas*. Representa las veces que falla cualquier componente del sistema que produzca la pérdida de su función, es decir, que implique una parada, en un periodo de un año.

- *Nivel de producción*. Representa la producción aproximada por día de la instalación y sirve para valorar el grado de importancia de la instalación a nivel económico.
- *Tiempo Promedio para Reparar*. Es el tiempo promedio por día empleado para reparar la falla. Se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente. Mide la efectividad que se tiene para restituir la unidad o unidades del sistema en estudio a condiciones óptimas de operatividad.
- *Impacto en la producción*. Representa la producción aproximada porcentualmente que se deja de obtener (por día), debido a fallas ocurridas (diferimiento de la producción). Se define como la consecuencia inmediata de la ocurrencia de la falla, que puede representar un paro total o parcial de los equipos del sistema estudiado y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad.
- *Costo de Reparación.* Se refiere al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.
- *Impacto en la seguridad personal.* Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.
- *Impacto ambiental*. Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.
- *Impacto Satisfacción al cliente*. En él se evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría a las expectativas del cliente. En este caso se considera cliente las áreas a las cuales se les suministran los servicios industriales.

3.2.4. RECOLECCIÓN DE DATOS.

La recolección de la información fue realizada a partir de las encuestas contestadas por los ingenieros y técnicos de la planta. El formato de encuesta, la tabla de ponderaciones y la ecuación de criticidad fueron adaptados tomando como base el análisis de criticidad hecho por petróleos de Venezuela (PDVSA), [1] debido a que los factores de ponderaciones ya están estandarizados y su formulación depende de un estudio profundo de criterios de ingeniería. Esta encuesta está compuesta por 7 preguntas. Cada pregunta tiene una serie de respuestas con una ponderación diferente.

[1] Ing. Rosendo Huerta Mendoza "*El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*", http//confiabilidad.net/artículos/el-analisis-de-criticidad-una-metodología-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ANGEL ALBINO CORZO

FORMATO PARA ENCUESTA ANÁLISIS DE CRITICIDAD

PERSONA_____ ÁREA O SECCIÓN_____

EQUIPO _____ FECHA_____

1.- FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA)	
	No más de 1 por año
	Entre 2 y 15 por año
	Entre 16 y 30 por año
	Más de 30 por año

2.- TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR LA FALLA	
	Menos de 4 horas
	Entre 4 y 8 horas
	Entre 8 y 24 horas
	Más de 24 horas

3.- IMPACTO SOBRE LA PRODUCCÓN	
	No afecta la producción
	25% de impacto
	50% de impacto
	75% de impacto
	La afecta totalmente

4.- COSTO DE REPARACIÓN	
	Menos de 100mil pesos
	Entre 100 y 500mil pesos
	Entre 500mil y 1 millón de pesos
	Más de 1 millón de pesos

5.- IMPACTO AMBIENTAL	
	No origina ningún impacto ambiental
	Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta
	Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta
	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios.

6.- IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	
	No origina heridas ni lesiones
	Puede ocasionar lesiones leves no incapacitantes
	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 dias
	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente

7.- IMPACTO EN SATISFACCIÓN AL CLIENTE (DEPARTAMENTOS DE LA EMPRESA A LA QUE SE LE PRESTAN SERVICIOS)	
	No ocasiona pérdidas económicas en las otras área de la planta
	Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 5 veces el salario mínimo
	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 del salario mínimo
	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 25 veces el salario mínimo

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD CENTRAL HIDROELÉCTRICA ANGEL ALBINO CORZO **PONDERACIONES DE LOS PARÁMETROS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD**	
1.- FRECUENCIA DE FALLA (Todo tipo de falla)	**Puntaje**
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 15 por año	2
Entre 16 y 30 por año	3
Más de 30 por año	4
2.- TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR	**Puntaje**
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 8 y 24 horas	3
Más de 24 horas	4
3.- IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN (Por el número de fallas al año F)	**Puntaje**
No afecta la producción	0.05F
25% de impacto	0.3F
50% de impacto	0.5F
75% de impacto	0.8F
La afecta totalmente	F
4.- COSTOS DE REPARACIÓN	**Puntaje**
Menos de 100mil pesos	3
Entre 100 y 500mil pesos	5
Entre 500mil y 1 millón de pesos	10
Más de un millón de pesos	25
5.- IMPACTO AMBIENTAL	**Puntaje**
No origina ningún impacto ambiental	0
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de la planta	5
Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	10
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad	25
6.- IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	**Puntaje**
No origina heridas ni lesiones	0
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	5
Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 dias	10
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 dias o incapacidad parcial permanente.	25
7.- IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE (áreas de la planta a las cuales se le suministran los servicios industriales).	**Puntaje**
No ocasiona pérdidas económicas en las otras áreas de la planta	0
Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 5 veces el salario mínimo	5
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 del salario mínimo	10
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 25 veces el salario mínimo	20

Tabla 11 CUESTIONARIO Y PONDERACIONES DE LOS PARÁMETROS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

3.2.5. VERIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

Los resultados obtenidos en la encuesta fueron mostrados e inspeccionados al ingeniero a cargo del depto. Mecánico, dando una total aceptación; las personas entrevistadas mostraron una conducta seria y accesible, lo que mejoró el proceso de recolección de datos y da confiabilidad en las respuestas obtenidas en la encuesta.

Para ver las hojas de encuesta realizadas a ingenieros y trabajadores de la planta, y los resultados obtenidos, se anexa un CD al final del trabajo, con el nombre de la carpeta "*Resultados de las encuestas*".

3.2.6. RESULTADOS DEL ESTUDIO.

El primer paso para obtener los resultados del análisis de criticidad es establecer los puntajes de los parámetros dependiendo de las respuestas de las personas entrevistadas. Como ejemplo es el mostrado en la siguiente tabla, donde se muestra las respuestas para la bomba de regulación M-311, hechas por el ingeniero a cargo del depto. Mecánico con sus respectivos puntajes.

Nombre del entrevistado: Ing. Oscar Mendoza Solís			
Equipo: Bomba de Regulación M-311			
	Parámetros	Respuesta	**Puntaje**
1	Frecuencia de falla	No más de 1 por año	**1**
2	Tiempo Promedio en Reparar la falla	Menos de 4 horas	**1**
3	Impacto Sobre la Producción	75% de impacto	**0.8F**
4	Costo de Reparación	Entre 100mil y 500mil	**5**
5	Impacto Ambiental	Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta	**5**
6	Impacto en Salud y Seguridad Personal	Puede ocasionar lesiones leves no incapacitantes	**5**
7	Impacto en Satisfacción al cliente	No ocasiona pérdidas en otras áreas de la planta	**0**

Tabla 12 TABLA DE RESPUESTAS CON SU PUNTAJE, HECHAS POR EL INGENIERO A CARGO DEL DEPTO. MECÁNICO.

Donde F es el número de fallas al año. En el archivo "*Listado de fallas Año 2009*", anexo en el CD al final del trabajo, se muestran las fallas ocurridas en el periodo enero – diciembre del año 2009 en la Central Peñitas. Encontrándose un total de 20 fallas entre equipos de la unidad No.1 y equipos para servicios generales. Las

fallas fueron marcadas con color rojo para una mejor visualización sobre las demás fallas.
En la carpeta "*Puntajes de los parámetros*" anexa en el CD, se muestran los puntajes para cada respuesta dada por las personas entrevistadas.

Luego se realiza un promedio de los puntajes correspondientes a cada una de las personas entrevistadas para cada equipo. Este promedio se ingresó a una hoja de cálculo para obtener la criticidad final.

Equipo: **Bomba de regulación M-311**						
	Parámetros	Puntaje de las Respuestas				**Puntaje Final**
		Oscar	Albino	Dámaso	Julián	
1	Frecuencia de falla	1	2	1	1	**1.25**
2	Tiempo Promedio en Reparar la falla	1	1	2	2	**1.5**
3	Impacto Sobre la Producción	16	6	6	1	**7.25**
4	Costo de Reparación	5	3	3	3	**3.5**
5	Impacto Ambiental	5	0	10	5	**5**
6	Impacto en Salud y Seguridad Personal	5	0	5	0	**2.5**
7	Impacto en Satisfacción al cliente	0	10	5	0	**3.75**

Tabla 13 PUNTAJES FINALES PARA LA BOMBA DE REGULACIÓN M-311

Este procedimiento se realizó a cada equipo; las tablas donde se muestran los puntajes finales para cada equipo se localizan en el CD anexo al final del trabajo. En el archivo "*Resultados de Análisis de Criticidad*".

Obtenido los puntajes finales para cada equipo, ahora se procede en aplicar la ecuación de análisis de criticidad: [1]

Criticidad = Frecuencia de falla X Consecuencia

Consecuencia = *A* + *B*; donde:

A = Costo de Reparación + Impacto Seguridad Personal + Impacto Ambiental + Impacto Satisfacción al Cliente.

[1] Rosendo Huerta Mendoza "*El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*", http//confiabilidad.net/artículos/el-analisis-de-criticidad-una-metodología-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/

B = Impacto en la producción X Tiempo Promedio para Reparar la Falla.

Para este ejemplo de la bomba de regulación M-311:

$$A = 3.5 + 5 + 2.5 + 3.75 = 14.75$$
$$B = 7.25 * 1.5 = 10.875$$
$$\boldsymbol{Criticidad = 1.25 * (14.75 + 10.875) = 32.03}$$

Los cálculos fueron obtenidos en base a una hoja de cálculo de Excel; en la siguiente tabla se muestran los resultados para la bomba de regulación M-311.

Equipo: **Bomba de Regulación M-311**			
Frecuencia de fallas	A	B	**Criticidad**
1.25	14.75	10.875	**32.03**

Tabla 14 CRITICIDAD PARA LA BOMBA DE REGULACIÓN M-311

Este proceso fue realizado para los demás equipos. Para analizar los resultados se puede ver el archivo "*Resultados de análisis de Criticidad*" anexo en el CD.

Como resultado final del análisis de criticidad, se observa en la gráfica los equipos que presentan mayor criticidad numérica:

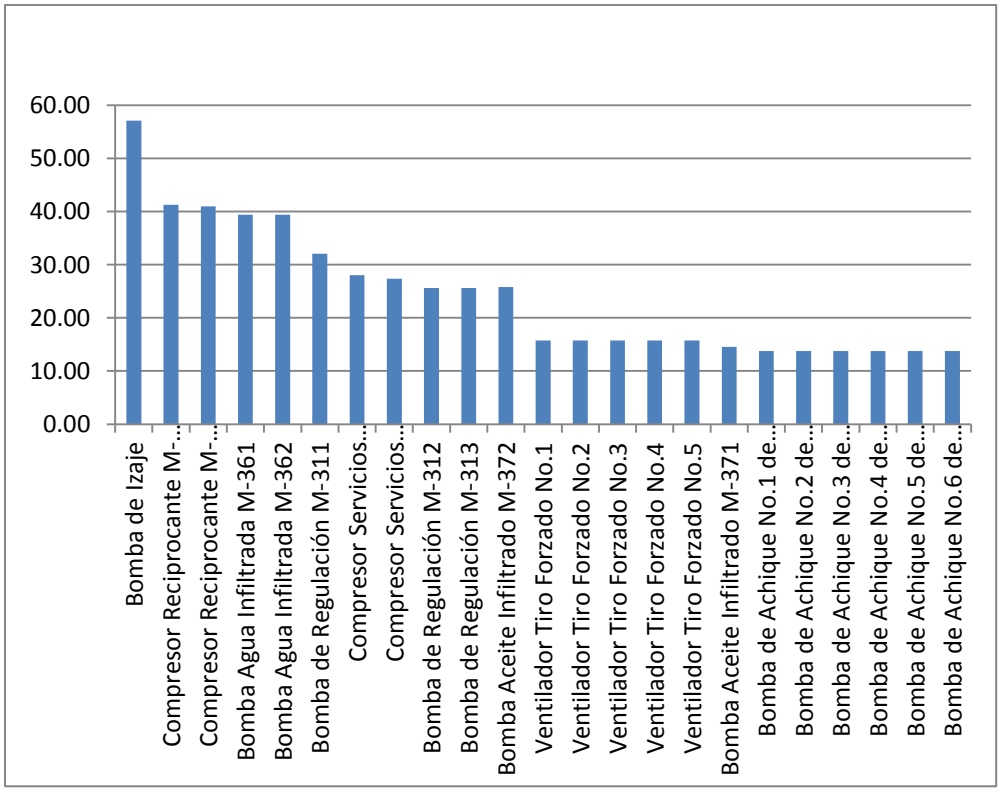


Tabla 15 GRÁFICA DE CRITICIDAD

Equipo	Criticidad Numérica
Bomba de Izaje	57.11
Compresor Reciprocante M-112	41.25
Compresor Reciprocante M-111	40.97
Bomba Agua Infiltrada M-361	39.38
Bomba Agua Infiltrada M-362	39.38
Bomba de Regulación M-311	32.03
Compresor Servicios Generales No.1	28.03
Compresor Servicios Generales No.2	27.38
Bomba de Regulación M-312	25.63
Bomba de Regulación M-313	25.63
Bomba Aceite Infiltrado M-372	25.78
Ventilador Tiro Forzado No.1	15.75
Ventilador Tiro Forzado No.2	15.75
Ventilador Tiro Forzado No.3	15.75
Ventilador Tiro Forzado No.4	15.75
Ventilador Tiro Forzado No.5	15.75
Bomba Aceite Infiltrado M-371	14.56
Bomba de Achique No.1 de 50HP	13.75
Bomba de Achique No.2 de 50HP	13.75
Bomba de Achique No.3 de 50HP	13.75
Bomba de Achique No.4 de 300HP	13.75
Bomba de Achique No.5 de 300HP	13.75
Bomba de Achique No.6 de 300HP	13.75

Tabla 16 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El color verde representa Baja criticidad
El color naranja representa Media Criticidad
El color Rojo representa Alta Criticidad

En base a los resultados anteriores, se observa que los equipos con una criticidad alta son:

- Bomba de Izaje
- Compresor Reciprocante M-112
- Compresor Reciprocante M-111
- Bomba de Agua Infiltrada M-361
- Bomba de Agua Infiltrada M-362

3.3. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.

En este capítulo se explica el desarrollo el análisis de modos y efectos de falla a los cinco equipos más críticos obtenidos en el capítulo anterior. Se describen en un formato la función del componente, los modos de falla (de qué forma falla) y los efectos asociados a las mismas. Este estudio permite identificar las fallas de diseño y proceso antes que ocurran, para facilitar la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo. Se realizó bajo la norma SAE-JA 1011 y JA 1012[1], debido a la importancia en el desarrollo de una metodología confiable.

3.3.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO PARA REALIZAR EL FMEA.

El personal entrevistado en el capítulo anterior, fue seleccionado para realizar los FMEA (failure mode and effect analysis) para los equipos críticos. Se necesita de la experiencia de los trabajadores para conocer las fallas de estos equipos así como del conocimiento de los ingenieros para estimar costos de reparación, horas perdidas por mantenimiento correctivo; además, otras fuentes de información usadas para realizar un FMEA completo fueron las siguientes:

- Manual del fabricante o proveedor del equipo.
- Listas genéricas de modos de falla.
- Listas genéricas de mecanismos de falla.
- Tablas para determinar la severidad, detección y frecuencia de la falla.
- Registros de antecedentes técnicos.
- Personas a cargo del mantenimiento del equipo.

3.3.2. IDENTIFICAR LOS MODOS DE FALLA

Se elaboró una lista de los principales componentes de los equipos y se definió la función que cumple cada uno en el proceso. Una vez que se tuvo las funciones bien definidas, se procedió a resolver la pregunta: ¿De qué forma podría fallar la parte o proceso? La respuesta obtenida se usó para determinar los modos de falla.

Para el análisis de modos de falla de los equipos, se basó en una lista genérica elaborada por EL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS (IIE), para CFE, como parte de la implementación del *mantenimiento basado en confiabilidad* (RCM).

[1] Ing. Santiago Sotuyo Blanco; ELLMANN, SUERIRO Y ASOCIADOS *"Los 10 mandamientos del RCM, claves para el éxito de un proyecto de implementación RCM",* Reliability world latin america 2006; Junio 5 al 9, 2006, Monterrey, N.L. México centro CONVEX

Apéndice A

Algunos modos de falla

Descripción	Ejemplo	Código
Lectura anormal de instrumentos	Falsas alarmas, indicación de instrumentos defectuosos	AIR
Rotura	Daño serio por rotura	BRD
Fuga externa (proceso)	Crudo, gas, condensado, agua	ELP
Fuga externa (suministros)	Aceite lubricante, agua de enfriamiento	ELU
Descarga errática	Descarga inestable u oscilatoria	ERO
Falla en frecuencia de salida	Frecuencia incorrecta u oscilante	FOF
Falla en voltaje de salida	Voltaje incorrecto o inestable	FOV
Falla a cerrar a la demanda	No cierra a la demanda	FTC
Falla a abrir a la demanda	No abre a la demanda	FTO
Falla a regular	No regula como se requiere	FTR
Falla a iniciar a la demanda	No arranca cuando se le requiere	FTS
Descarga alta	Sobrevelocidad/descarga por arriba del valor aceptable	HIO
Transferencia de calor insuficiente	Enfriamiento o calentamiento por debajo de lo aceptable	IHT
Fuga interna	Fuga interna de fluidos del proceso o suministros	INL
Fuga en posición cerrada	Fuga a través de la válvula en posición cerrada	LCP
Descarga baja	Descarga por abajo del valor aceptable	LOO
Ruido	Ruido anormal	NOI
Sobrecalentamiento	Partes de la máquina, escape, agua de enfriamiento	OHE
Otros	Modos de falla no descritos	OTH
Desviación de parámetros	Monitoreo de parámetros arriba del límite (alarmas por alta o baja)	PDE
Tapado/estrangulado	Restricción del flujo	PLU
Problemas menores	Pérdida de partes, decoloración, suciedad	SER
Operación espúria	Operación inesperada	SPO
Deficiencia estructural	Daños en material (fracturas, corrosión, desgaste)	STD
Falla a parar a la demanda	No para cuando se le requiere	STP
Falla a sincronizar	Falla a sincronizar	SYN
Desconocido	Existe poca información para definir un modo de falla	UNK
Paro espúrio	Se detiene de forma inesperada	UST
Vibración	Vibración anormal	VIB

Tabla 17 MODOS DE FALLAS TÍPICOS

3.3.3. IDENTIFICAR LOS MECANISMOS DE FALLA.

Una vez que se establecieron los modos de falla para cada componente de los equipos, es decir, la forma en como dejan de cumplir con su función los componentes; el siguiente paso es identificar los mecanismos de falla (¿Por qué se presentó la falla?), o las causas físicas por las cuales se puede presentar un modo de falla particular.

Para el desarrollo de este punto, se usó como herramienta una lista genérica de mecanismos de falla típicos elaborados por el IIE.

Se realizó en conjunto con el equipo seleccionado, un análisis exhaustivo de los posibles mecanismos de falla para cada modo de falla, existen dos formas de clasificar una causa de fallo: esta puede ser por diseño o en proceso.

Apéndice A

Algunos mecanismos de falla

Tipo	Mecanismo	Descripción
Falla mecánica	General	Falla relacionada con algún defecto mecánico. No se conocen detalles adicionales.
	Fuga	Fuga interna o externa, ya sea líquido o gas. Si el modo de falla al nivel de equipo es fuga, entonces debe utilizarse, donde sea posible, la posible causa de esa fuga.
	Vibración	Vibración anormal. Si el modo de falla al nivel de equipo es vibración, entonces debe utilizarse, donde sea posible, la posible causa de esa vibración.
	Falla en alineación	Falla ocasionada por una mala alineación.
	Deformación	Distorsión, inclinación, abolladura, arrastre.
	Falta de fijación	Partes sueltas, desconexión.
	Atascado	Atascado, ruptura u otras razones diferentes a falla en alineación.
Falla de material	General	Falla relacionada con algún defecto en el material. No se conocen detalles adicionales.
	Cavitación	Relevante para equipos como bombas y válvulas.
	Corrosión	Cualquier tipo de corrosión (debida a humedad o por proceso químico).
	Erosión	Desgaste erosivo.
	Desgaste	Desgaste abrasivo como excoriaciones o ralladuras
	Ruptura	Fractura, grieta.
	Fatiga	Si la causa de ruptura puede deberse a fatiga, entonces debe usarse este mecanismo de falla.
	Sobrecalentamiento	Daño de material debido a sobrecalentamiento.
	Reventado	Explosión, implosión, reventado.
Falla de instrumentos	General	Falla relacionada con instrumentos. No se conocen detalles adicionales
	Falla de control	Sin regulación o falla de regulación.
	Sin señal, alarma o indicación	Sin señal, alarma o indicación cuando se esperaba ocurriera.
	Falla en señal o alarma o indicación	Señal, alarma o indicación es errónea con respecto al proceso actual. Podría ser espuria, intermitente, oscilatoria o arbitraria.
	Fuera de ajuste	Error de calibración.
	Falla de *software*	Control / monitoreo / operación inexistente o fallada debido a falla del *software*.

Tabla18 MECANISMOS DE FALLA TÍPICOS 1.

CFE Comisión Federal de Electricidad
GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

Seminario – Taller
Mantenimiento Basado en Confiabilidad

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS

Tipo	Mecanismo	Descripción
	Causa común /modo de falla	Varios instrumentos fallados de forma simultanea (por ejemplo detectores de gas y fuego redundantes).
Falla Eléctrica	General	Fallas relacionadas con el suministro y transmisión de energía eléctrica. No se conocen detalles adicionales.
	Corto circuito	Corto circuito
	Circuito abierto	Desconexión, interrupción, cable roto
	Sin voltaje	Pérdida o insuficiente suministro de energía eléctrica
	Falla de voltaje	Falla del suministro de energía eléctrica (por ejemplo sobrevoltaje)
	Falla de tierra o aislamiento	Falla a tierra o baja resistencia eléctrica
Factores externos	General	La falla fue ocasionada por algún evento externo o sustancia que está fuera de la frontera del análisis, pero no se tiene información adicional
	Bloqueo o taponamiento	Restricción o bloqueo del flujo debido a suciedad, contaminación, etc.
	Contaminación	Contaminación del fluido o gas (por ejemplo contaminación de aceite de lubricación)
	Factores externos misceláneos	Impacto de objetos, medio ambiente, sistemas contiguos.

Tabla 19 MECANISMOS DE FALLA TÍPICOS 2

3.3.4. INDENTIFICAR EL EFECTO DE FALLA

En este paso, se analizó la secuencia de efectos, puede ocurrir una vez que la falla se ha presentado, empezando describiendo el efecto que provoca la falla a los componentes del equipo, la manera en que la función del equipo se ve afectada, seguido del daño o efecto hacia el sistema en que se ubica el equipo y por último hacia la unidad generadora. Si existen controles de detección se señalan al final de la descripción del efecto de falla.

3.3.5. IDENTIFICAR LA CONSECUENCIA DE FALLA.

Al describir la serie de eventos que se produce por la falla, se da un indicativo para determinar de las consecuencias hacia el sistema, equipo o bien, para la unidad generadora.

3.3.6. IDENTIFICAR EL GRADO DE SEVERIDAD, FRECUENCIA DE FALLA Y DETECCIÓN DE LA FALLA.

El siguiente paso a seguir para terminar el FMEA de los equipos críticos mencionados en capítulos anteriores, es definir la ponderación para la severidad, frecuencia de falla y detección de la falla.

Para determinar la ponderación, se usaron las siguientes tablas, elaboradas por el IIE para CFE.

Categorías de frecuencia para aplicación en la C.H. Ángel Albino Corzo (Peñitas)

Clasificación	Tipo	Descripción de la Frecuencia de ocurrencia
6	Muy Frecuente	Ocurre una o más veces por año
5	Frecuente	Ocurre una vez en un periodo entre 1 y 3 años
4	Poco frecuente	Ocurre una vez en un periodo entre 3 y 5 años
3	Raro	Ocurre una vez en un periodo entre 5 y 10 años
2	Muy raro	Ocurre solamente una vez en la vida útil de la planta.
1	Extremadamente raro	Evento que es posible que ocurra, pero que a la fecha no existe ningún registro.

Tabla 20 PONDERACIÓN PARA LA FRECUENCIA DE FALLA

Categorías de consecuencia para aplicación en la C.H. Ángel Albino Corzo (Peñitas)

Categoría de consecuencia	Daños al personal	Impacto ambiental	Pérdida de producción (PESOS)	Daños a la instalación (PESOS)
6	Heridas o daños físicos que pueden resultar en más de 15 fatalidades	Daños que no se controlan en una semana.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
5	Heridas o daños físicos que pueden resultar de 4 a 15 fatalidades	Daños que se controlan en una semana.	De 15 MM a 50 MM	De 15 MM a 50 MM
4	Heridas o daños físicos que pueden resultar en hasta 3 fatalidades	Daños que se pueden controlar en un día.	De 5 MM a 15 MM	De 5 MM a 15 MM
3	Heridas o daños físicos que generan incapacidad médica	Daños que se pueden controlar en algunas horas.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
2	Heridas o daños físicos reportables y/o que se atienden con primeros auxilios	Daños que se pueden controlar en menos de una hora.	De 250 mil a 500 mil	De 250 mil a 500 mil
1	No se esperan heridas o daños físicos	Daños que no requieren remediación.	Hasta 250 mil	Hasta 250 mil

Tabla 21 PONDERACIÓN PARA LA SEVERIDAD DE LA FALLA

Probabilidad	Rango	Criterio
Alta	1	El defecto es una característica funcionalmente obvia
Medianamente alta	2	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia.
Baja	3	El defecto es una característica fácilmente identificable.
Muy Baja	4	No es fácil detectar la falla por métodos usuales o pruebas manuales. El defecto es una característica oculta o intermitente
Improbable	5	La característica no se puede checar fácilmente en el proceso. Ej: Aquellas características relacionadas con la durabilidad del producto.

TABLA 22 PONDERACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE LA FALLA

En cada tabla, existen diversas respuestas, cada una con un valor ya ponderado, para definir qué respuesta era la más idónea, primero se hizo un análisis tomando en cuenta diversos factores, como es la pérdida de producción en pesos: se hizo un aproximado de cuanto pierde en la central en pesos por un día sin generar energía; el tiempo determinado en corregir la falla; posibles pérdidas en pesos por daños a la instalación, si existen daños al ambiente o si la falla puede repercutirse en la seguridad del personal.

Todo este análisis fue necesario para contestar y determinar el grado de detección, frecuencia de falla y la severidad.

A continuación se presenta el formato diseñado para los FMEA elaborados, se dividieron en dos tablas: en la primera se presenta: No. De componente, componente a analizar, función, sus modos de falla, mecanismos de falla, efectos y consecuencias; en la segunda tabla se presenta No. del componente, frecuencia de falla, severidad, detección de la falla, NPR, mantenimiento programado y mantenimiento propuesto. Esto fue debido al poco espacio en la hoja.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA, TABLA 1

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
CFE Una empresa de clase mundial			SISTEMA	**Sistema de Izaje**		
			SUBSISTEMA	**Bomba de Izaje**	HOJA 1 de 1	**TABLA 1**
No.	Componente	Función	Modo de Falla	Mecanismo de Falla	Efectos	Consecuencias
1	Acoplamiento	Transmitir el par torsor del eje del motor al eje de la bomba	Falla a iniciar la demanda	Falla de material (ruptura del cople)	Si se fractura el acoplamiento se pierde la transmisión del par y se pierde la función de bombeo. Se presenta ruido excesivo. Cuando se va a iniciar el rodado de la turbina y se presenta la falla de esta bomba, no se da permisivo de arranque de la turbina.	No se genera energía eléctrica
2	Tubería de descarga	Conducir el aceite de lubricación hacia los segmentos axiales de la chumacera de carga	Fuga Externa	Falla mecánica (aflojamiento de tuerca unión)	Desprendimiento de material babbit del segmento de chumacera no lubricado. Contaminación del aceite lubricante por partículas metálicas desprendidas del segmento dañado	Mantenimiento correctivo promedio de 15 días de reparación
3	Cuerpo	Bombear el aceite para la prelubricación de los segmentos de carga	Deficiencia estructural	Falla de material (ruptura)	Alto incremento de temperatura en los segmentos de carga de la chumacera combinada; no se cuentan con instrumentación para medir la presión de descarga del aceite hacia los segmentos.	Paro de unidad generadora

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
CFE Una empresa de clase mundial			SISTEMA	**Sistema de Regulación de Velocidad**		
			SUBSISTEMA	**Compresor Reciprocante**	HOJA 1 de 3	**TABLA 1**
No.	Componente	Función	Modo de Falla	Mecanismo de Falla	Efectos	Consecuencias
4	Transmisión - banda y poleas	Transmitir la energía del motor al compresor	Daño severo	Falla de material (Fatiga)	Se pierde la rotación del cigüeñal y no existe la aspiración y compresión del aire	Indisponibilidad del compresor.
5	Transmisión - banda y poleas	Transmitir la energía del motor al compresor	Ruido anormal	Falla mecánica (falta de fijación)	Hay presencia de vibración en el compresor, las bandas se salen de las poleas y pérdida del par torsor	Indisponibilidad del compresor.
6	Unidad de compresión - Válvulas de admisión y descarga	Abrir y cerrar para permitir el paso del aire a la siguiente etapa de compresión y retenerlo para evitar su retorno.	Falla a abrir a la demanda	Influencia externa (pegado por humedad, calzado por suciedad)	Existe obstrucción de flujo de aire hacia la cámara posterior de compresión. Se tiene operación errática del compresor. Se cuenta con válvulas de seguridad para cada cámara de compresión. Se cuenta con un compresor de respaldo y tubería interconectable de cualquier unidad a cualquier otra unidad.	Indisponibilidad del compresor.
7	Unidad de compresión - Válvulas de admisión y descarga	Abrir y cerrar para permitir el paso del aire a la siguiente etapa de compresión y retenerlo para evitar su retorno.	Falla a cerrar a la demanda	Falla mecánica (obturador pegado)	Retroceso de flujo de aire hacia la cámara anterior de compresión. Se tiene operación errática del compresor. Se cuenta con un compresor de respaldo y tubería interconectable de cualquier unidad a cualquier otra unidad.	Indisponibilidad del compresor.
8	Unidad de compresión - Válvulas de admisión y descarga	Abrir y cerrar para permitir el paso del aire a la siguiente etapa de compresión y retenerlo para evitar su retorno.	Falla a cerrar a la demanda	Falla de material (agrietamiento del cuerpo)	Existe fuga de aire y pérdida de presión en el compresor. Se escucha ruido anormal. Se cuenta con un compresor de respaldo y tubería interconectable de cualquier unidad a cualquier otra unidad.	Indisponibilidad del compresor.
9	Unidad de compresión - Válvulas de admisión y descarga	Abrir y cerrar para permitir el paso del aire a la siguiente etapa de compresión y retenerlo para evitar su retorno.	Falla a cerrar a la demanda	Influencia externa (pegado por humedad, carbonización)	Existe fuga de aire y pérdida de presión en el compresor. Se escucha ruido anormal. Se cuenta con un compresor de respaldo y tubería interconectable de cualquier unidad a cualquier otra unidad.	Indisponibilidad del compresor.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
CFE Una empresa de clase mundial			SISTEMA	**Sistema de Regulación de Velocidad**		
			SUBSISTEMA	**Compresor Reciprocante**	HOJA 2 de 3	**TABLA 1**
No.	Componente	Función	Modo de Falla	Mecanismo de Falla	Efectos	Consecuencias
10	Unidad de compresión - Válvula de purga operada por solenoide	Abrir periódicamente durante el paro del compresor para permitir la purga de las cámaras de compresión	Falla a abrir a la demanda	Influencia externa (internos pegados)	No se produce la purga en las cámaras de compresión, al enfriarse el aire contenido en el compresor, el condensado contamina al aceite de lubricación del depósito.	Indisponibilidad del compresor.
11	Unidad de compresión - Válvula de purga operada por solenoide	Abrir periódicamente durante el paro del compresor para permitir la purga de las cámaras de compresión	Falla a cerrar a la demanda	Influencia externa (pegado por humedad, carbonizado)	Cuando el compresor opera, la presión se abate por fuga de aire en la válvula. Se cuenta con un compresor de respaldo y tubería interconectable de cualquier unidad a cualquier otra unidad.	Indisponibilidad del compresor.
12	Encamisado	Comprimir el aire en las cámaras de compresión para enviarlo al tanque acumulador de aire.	Deficiencia estructural	Falla de material (Desgaste, rotura, sobrecalentamiento)	Pérdida de compresión por fuga de aire	Indisponibilidad del compresor.
13	Pistones y anillos	Comprimir el aire en las cámaras de compresión para enviarlo al tanque acumulador de aire.	Descarga baja	Falla de material (Desgaste, rotura, sobrecalentamiento)	Pérdida de compresión	Indisponibilidad del compresor.
14	Pistones y anillos	Comprimir el aire en las cámaras de compresión para enviarlo al tanque acumulador de aire.	Descarga baja	Falla mecánica (atascado, pegado)	Se amarra el pistón y anillos por falta de lubricación o falta de cambio de aceite. Puede provocar daños severos a la biela y cigüeñal. El motor consume más amperaje y se sobrecalienta.	Indisponibilidad del compresor.
15	Bielas	Transmitir energía proveniente del cigüeñal hacia los pistones	Sobrecalentamiento	Falla de material (Desgaste de metal babbitt)	Sobrecalentamiento del compresor, vibración y aumento de amperaje en el motor. El compresor "se amarra" y el motor se puede quemar si no actúan las protecciones. Esta falla se puede identificar por el ruido que hace el compresor. Se cuenta con un compresor de respaldo y tubería interconectable de cualquier unidad a cualquier otra unidad.	Indisponibilidad del compresor.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
CFE Una empresa de clase mundial			SISTEMA	**Sistema de Regulación de Velocidad**		
			SUBSISTEMA	**Compresor Reciprocante**	HOJA 3 de 3	**TABLA 1**
No.	Componente	Función	Modo de Falla	Mecanismo de Falla	Efectos	Consecuencias
16	Baleros	Soportar cargas radiales en el cigüeñal	Sobrecalentamiento	Falla mecánica (deformación por sobrecalentamiento)	Hay presencia de vibración y un desalineamiento del cigüeñal	Indisponibilidad del compresor.
17	Cigüeñal	Transmitir energía hacia los pistones	Sobrecalentamiento	Falla mecánica (deformación por sobrecalentamiento)	Generalmente esta falla viene relacionada a otro tipo de falla. Hay presencia vibración excesiva en todo el compresor	Indisponibilidad del compresor.
18	Filtros de Aire	Retener sólidos a la admisión, que pueda llevar el aire a ser comprimido.	Restricción al flujo	Influencia externa (Bloqueado/tapado, contaminado por polvo)	Se presenta baja eficiencia y calentamiento del compresor, también aumenta el amperaje en el motor. Esta falla se puede identificar por la baja eficiencia del compresor y por el calor excesivo. Se cuenta con un compresor de respaldo y tubería interconectable de cualquier unidad a cualquier otra unidad.	Indisponibilidad del compresor.
19	Lubricación - Aceite	Lubricar las partes móviles del compresor.	Desconocido	Influencia externa (Contaminado con humedad del aire por holgura en anillos)	Se contamina el aceite, cambia su apariencia, se pierde la eficiencia de la lubricación y propiedades físicas y química; posible daño del compresor. Se cuenta con un compresor de respaldo y tubería interconectable de cualquier unidad a cualquier otra unidad.	Sin Consecuencias
20	Lubricación - Aceite	Mantener las partes móviles del compresor a una temperatura aceptable de operación	Desconocido	Influencia externa (Contaminado con humedad del aire por holgura en anillos)	Se contamina el aceite, cambia su apariencia, se pierde la eficiencia de la lubricación y posible daño del compresor. Se cuenta con un compresor de respaldo y tubería interconectable de cualquier unidad a cualquier otra unidad.	Sin Consecuencias

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
CFE Una empresa de clase mundial			SISTEMA	**Sistema de Agua Infiltrada**		
			SUBSISTEMA	**Bomba de Achique de agua infiltrada**	HOJA 1 de 1	**TABLA 1**
No.	Componente	Función	Modo de Falla	Mecanismo de Falla	Efectos	Consecuencias
21	Baleros	Soportar cargas axiales y radiales del eje de la flecha	Daño severo	Falla de material (Desgaste, sobrecalentamiento)	Se presenta ruido y vibración anormal en bomba. Desalineamiento del eje de la flecha y posibles daños a otros componentes de la bomba. Se cuenta con una bomba de respaldo y protecciones por alto nivel de agua.	Indisponibilidad de la bomba
22	Impulsor	Impulsar agua, a 5.8 L/s, del cárcamo de la chumacera guía turbina, hacia la tubería de aspiración.	Descarga baja	Factores externos (El impulsor se tapa por suciedad u objetos extraños que estén contenidos en el cárcamo)	Hay descarga baja e incremento del nivel, se manda alarma por alto nivel. Puede inundarse el escudo superior de la turbina, mandando a paro la unidad. Se cuenta con una bomba de respaldo.	Indisponibilidad de la bomba
23	Impulsor	Impulsar agua, a 5.8 L/s, del cárcamo de la chumacera guía turbina, hacia la tubería de aspiración.	Deficiencia Estructural	Falla de material (rotura)	Hay descarga baja e incremento del nivel, se manda alarma por alto nivel. Puede inundarse el escudo superior de la turbina, mandando a paro la unidad. Se cuenta con una bomba de respaldo.	Indisponibilidad de la bomba
24	Juntas	Evitar el paso de agua hacia el bobinado del motor	Paro Inesperado	Falla de material (Desgaste)	El agua llega a contaminar el embobinado del motor, se produce corto circuito y se dispara la quebradora. Se cuenta con una bomba de respaldo.	Indisponibilidad de la bomba

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA, TABLA 2

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
CFE Una empresa de clase mundial		SISTEMA		**Sistema de Izaje**			
		SUBSISTEMA		**Bomba de Izaje**		HOJA 1 de 1	**TABLA 2**
No. Componente	Frecuencia	Severidad	Detección	NPR	Mantenimiento Programado	Mantenimiento Propuesto	
1	1	3	2	6	Mantenimiento correctivo	Programar actividades de reemplazo (No hay alguna variable a medir que sirva de indicativo que la pieza pueda fallar. Hasta la fecha no hay registros de este evento. En caso de generarse, se debe desmontar la bomba y reemplazar el cople)	
2	1	5	4	20	Mantenimiento correctivo	Programar actividades con base en condiciones (La variable a medir, es la presión de 150 bar, en cada uno de los 12 ductos de descarga de la bomba. Con señal de salida al PLC.	
3	1	5	4	20	Mantenimiento Correctivo	Programar actividades con base en condiciones (La variable a medir, es la presión de 150 bar, en cada uno de los 12 ductos de descarga de la bomba. Con señal de salida al PLC)	

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
CFE Una empresa de clase mundial		SISTEMA		**Regulación de Velocidad**			
		SUBSISTEMA		**Compresor Reciprocante**		HOJA 1 de 3	**TABLA 2**
No. Componente	Frecuencia	Severidad	Detección	NPR	Mantenimiento Programado	Mantenimiento Propuesto	
4	3	1	1	3	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades en base a condición (La variable a monitorear es el estado de la banda y polea, mediante inspecciones diarias; en caso de resultar desgastados, realizar el reemplazo del componente.	
5	3	1	1	3	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades en base en condición (La condición a seguir es la vibración del compresor, mediante inspecciones diarias se observa si las bandas están bien alineadas. De requerirlo, programar su rehabilitación)	
6	3	1	3	9	Mantenimiento Correctivo	Programar actividades en base a rehabilitación (Inspección y limpieza de las válvulas de admisión y descarga cada año)	
7	3	1	3	9	Mantenimiento Correctivo	Programar actividades en base a rehabilitación (Inspección y limpieza de las válvulas de admisión y descarga cada año)	
8	3	1	3	9	Mantenimiento Correctivo	Programar actividades en base a rehabilitación (Inspección y limpieza de las válvulas de admisión y descarga cada año)	
9	3	1	3	9	Mantenimiento Correctivo	Programar actividades en base a rehabilitación (Inspección y limpieza de las válvulas de admisión y descarga cada año)	
10	5	2	1	10	Mantenimiento Correctivo	Programar actividades en base en condición (La condición que se toma es el incremento del nivel de aceite de lubricación en el tanque de aceite)	

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
CFE Una empresa de clase mundial		SISTEMA		**Regulación de Velocidad**			
		SUBSISTEMA		**Compresor Reciprocante**		HOJA 2 de 3	**TABLA 2**
No. Componente	Frecuencia	Severidad	Detección	NPR	Mantenimiento Programado	Mantenimiento Propuesto	
11	5	2	1	10	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La condición que se toma es el tiempo de operación del compresor. Si se tarda más de 15 min operando, se para el compresor y se revisan internos del equipo.	
12	2	1	1	2	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (Inspeccionar mediante líquidos penetrantes y corregir si es necesario. Apretar tornillería de sujeción de la base del compresor)	
13	2	1	2	4	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La condición a monitorear es el desgaste de los anillos.)	
14	3	1	2	6	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La condición a monitorear es el estado del aceite de lubricación mediante prueba de plancha caliente e inspección visual de la coloración. En caso de estar contaminado, hacer cambio de aceite)	
15	2	1	3	6	Mantenimiento Correctivo	Programar actividades con base en condición (La condición a monitorear es el estado del aceite de lubricación mediante prueba de plancha caliente e inspección visual de la coloración. En caso de estar contaminado, hacer cambio de aceite)	

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
CFE Una empresa de clase mundial		SISTEMA		**Regulación de Velocidad**			
		SUBSISTEMA		**Compresor Reciprocante**		HOJA 3 de 3	**TABLA 2**
No. Componente	Frecuencia	Severidad	Detección	NPR	Mantenimiento Programado	Mantenimiento Propuesto	
16	4	1	3	12	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La condición que va a ser monitoreada son las vibraciones. Programar análisis de vibraciones cada año.	
17	1	1	4	4	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La condición que va a ser monitoreada son las vibraciones. Programar análisis de vibraciones cada año.	
18	5	1	2	10	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La variable a ser medida es el flujo de descarga de aire al tanque contenedor de aire. En caso de ser muy bajo el flujo, realizar limpieza del filtro)	
19	5	1	2	10	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La condición a monitorear es el estado del aceite de lubricación mediante prueba de plancha caliente e inspección visual de la coloración. En caso de estar contaminado, hacer cambio de aceite)	
20	5	1	2	10	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La condición a monitorear es el estado del aceite de lubricación mediante prueba de plancha caliente e inspección visual de la coloración. En caso de estar contaminado, hacer cambio de aceite)	

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
CFE Una empresa de clase mundial		SISTEMA		**Sistema de Agua Infiltrada**			
		SUBSISTEMA		**Bomba de achique de agua infiltrada**		HOJA 1 de 1	**TABLA 2**
No. Componente	Frecuencia	Severidad	Detección	NPR	Mantenimiento Programado	Mantenimiento Propuesto	
21	4	1	3	12	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La variable a monitorear es el tiempo de operación de la bomba, en caso de trabajar arriba de 10 min. , verificar componentes internos, rehabilitar o corregir según sea lo requerido)	
22	3	1	2	6	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La variable a monitorear es el tiempo de operación de la bomba, en caso de trabajar arriba de 10 min. , verificar componentes internos, rehabilitar o corregir según sea lo requerido)	
23	3	1	2	6	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La variable a monitorear es el tiempo de operación de la bomba, en caso de trabajar arriba de 10 min. , verificar componentes internos, rehabilitar o corregir según sea lo requerido)	
24	1	1	3	3	Mantenimiento Preventivo Rutinario	Programar actividades con base en condición (La variable a monitorear es el tiempo de operación de la bomba, en caso de trabajar arriba de 10 min. , verificar componentes internos, rehabilitar o corregir según sea lo requerido)	

3.3.7 CALCULO DEL NPR

Recordando que el NPR (número de prioridad del riesgo), es el resultado de multiplicar la puntuación dada a la severidad (S), por la frecuencia de ocurrencia (O) y por la detección de la falla (D).

$$NPR = (S)x\ (O)\ x\ (D)$$

El NPR cae en un rango del 1 al 180 y proporciona un indicador relativo de todas las causas de falla; los NPR caen en la siguiente clasificación:

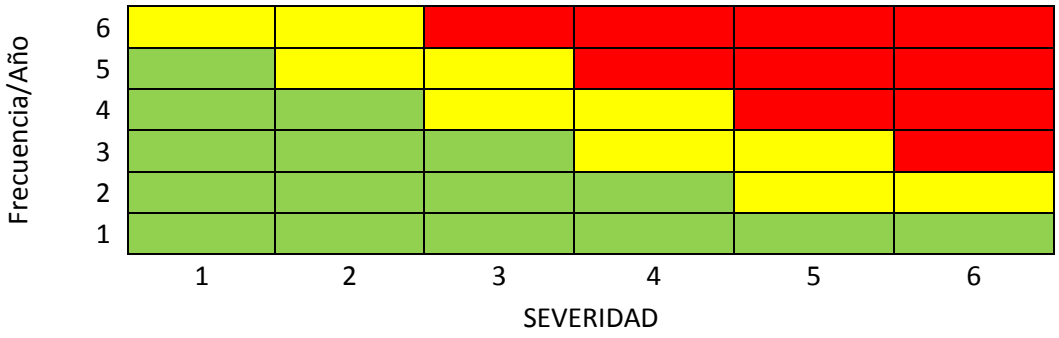
90 – 180	Alto riesgo de falla
23 – 89	Riesgo de falla medio
1 – 22	Riesgo de falla bajo
0	No existe riesgo de falla

En base a la anterior clasificación y verificando las NPR de la tabla 2, se puede observar que *ningún equipo* entra en la clasificación de *alto riesgo de falla*.

Sin embargo, se deben de tomar en cuenta aquellas fallas con un alto grado de frecuencia, no importando si el NPR es alto o bajo. Bajo esta condición, se tienen un total de 5 fallas con alta frecuencia de ocurrencia.

3.3.8 MATRIZ DE RIESGOS

Otro método realizado para medir las fallas críticas del equipo fue mediante el uso de una matriz de riesgos, es una combinación de medición y priorización de riesgos, que consiste en la graficación de los mismos en un plano cartesiano, en donde el eje de las X identifica el impacto y el eje de las Y la probabilidad de ocurrencia.



Dónde:

Rojo significa Criticidad Alta
Amarillo significa Criticidad Media
Verde significa Criticidad baja

Frecuencia/Año						
6						
5	18, 19, 20	10, 11				
4	16, 21					
3	4, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 23					
2	12, 13, 15					
1	17, 24		1		2, 3	
	1	2	3	4	5	6
	SEVERIDAD					

Tabla 23 MATRIZ DE RIESGOS

Para una mejor visualización, se usó el No. que representa al mecanismo de falla (No. de componente) de las tablas anteriores. En base a esto, se observa que se obtienen dos mecanismos de falla con criticidad media; ninguno arrojó criticidad alta.

3.3.9 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.

Las estrategias de mantenimiento usadas en el proyecto fueron:

1.- Actividades con base en condición.
2.- Actividades de rehabilitación programada.
3.- Actividades de reemplazo programado.
4.- Combinación de estrategias de mantenimiento.
5.- Estrategias a falta de actividades de mantenimiento preventivo.

Tomando el estándar SAE-JA1011, la estrategia idónea para atacar una falla son las actividades programadas con base en condición (predictivo). En este trabajo se hizo un análisis exhaustivo de las variables que se pueden monitorear para predecir el comportamiento del equipo y la evolución de una posible falla en este.

El mantenimiento propuesto para cada falla se localiza en la tabla 2 del análisis de modos y mecanismos de falla.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Una vez realizada la inducción por la central y revisados los archivos y datos técnicos de los diferentes equipos en la oficina de mantenimiento mecánico, se hizo necesario realizar un listado completo de los equipos que actualmente funcionan en la C.H. Peñitas, ya que esta información se encontraba desactualizada.

- Debido al gran número de equipos que funcionan en la central Peñitas, fue necesario realizar una selección, para identificar los cinco equipos con mayor criticidad de esta selección, y realizar posteriormente el análisis de Modos y Efectos de Falla.

- El análisis de criticidad permitió establecer una jerarquía de los activos estudiados, creando una estructura que facilitó la toma de decisiones para determinar los equipos críticos y su posterior análisis de fallas

- Las ponderaciones para los parámetros deben ser diseñadas por expertos bajo especificaciones de ingeniería y cuantificación, si no es posible diseñarlas, es aconsejable adaptarlas de otro estudio similar para estandarizar los resultados y poder realizar comparaciones como se realizó en el estudio de criticidad en la central Peñitas. Debido a la limitante de tiempo, la herramienta más eficaz para obtener información acerca de los activos fue la realización de encuestas al personal de mantenimiento involucrado con el funcionamiento de los equipos.

- Como resultado del análisis de criticidad, se encontraron como activos críticos la bomba de Izaje, los compresores Reciprocantes M111 y M112, así como las bombas de agua infiltrada M361 y M362.

- Al realizar el análisis de modos y efectos de falla a los cinco equipos de mayor criticidad, se obtuvo la mayoría de la información de los trabajadores que mantienen y operan los equipos, ya que muchas ocasiones a pesar de que se contaba con la información de proveedores y datos técnicos, la experiencia de varios años al frente del funcionamiento de la máquina brinda una mayor información.

- También, la ventaja de haber conocido el proceso que se lleva a cabo en la Central Peñitas, permitió una mejor definición de las funciones y parámetros de funcionamiento de la máquina en su contexto operacional.

- Como resultado del análisis FMEA para la central Peñitas, se encontraron fallas potenciales, las cuales pueden ser monitoreadas, su evolución, mediante una variable, antes que ocurran.

- En la elaboración de las estrategias de mantenimiento, le corresponde al ingeniero de mantenimiento, la asignación de frecuencias de inspección, debido a que inspeccionar mucho aumenta los costos e inspeccionar poco conlleva a una desatención del equipo, por esta razón, se deben diseñar rutas de inspección en base a la experiencia adquirida por los años de trabajo.

- Realizar el proyecto en la Central Ángel Albino Corzo, permitió ejecutar los conocimientos adquiridos en la Universidad; además, la experiencia de pertenecer al grupo de mantenimiento mecánico de la central Peñitas, brinda un gran número de vivencias, que servirán en el futuro desempeño laboral.

4.2 RECOMENDACIONES

- Actualmente la central Ángel Albino Corzo, está en una etapa de actualización de equipos de diversos sistemas auxiliares, se recomienda que a los equipos nuevos se actualicen en la base de datos del sistema Simag.

- Se recomienda continuar con el análisis que este proyecto inició, para los demás equipos que no se tomaron en cuenta en este proyecto, y que son de mucha importancia para la central Peñitas.

- Realizar una inspección de los repuestos existentes para los equipos que se estudiaron, y adquirir los repuestos que se crean convenientes en base a los resultados obtenidos en los análisis expuestos en el proyecto.

- Adquirir transductores de presión, para llevar un control preciso de la presión de descarga de aceite, en cada uno de los segmentos de la chumacera de carga.

BIBLIOGRAFIA

[1] Ing. Oliverio García Palencia, "*El análisis causa raíz, estrategia de confiabilidad de operación*", Reliability world latín américa 2005; Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia.

[2] Ing. Guillermo Becerra Solórzano, "*Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el área de servicios industriales de Bavaria S.A. Cervecería de Boyacá",* VII congreso internacional de mantenimiento ACIEM

[3] Ing. Carolina Altmann, "*El análisis de causa raíz, como herramienta en la mejora de la confiabilidad*"

[4] Ing. Leonardo Montaña Riveros, Ing. Elkin Gustavo Rosas Niño, *"Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de Coque de fabricación primaria en la empresa Acerías Paz del Río S.A*

[5] Santiago García Garrido, *"Organización y gestión integral de mantenimiento*", *Capítulo 2 Análisis de Equipos*. Ed. Díaz de Santos S.A., 2003

[6] Santiago García Garrido, *"Organización y gestión integral de mantenimiento*", *Capítulo 2.6 Análisis de Criticidad*. Ed. Díaz de Santos S.A., 2003

[7] Dr. Primitivo Reyes Aguilar, "*Análisis del Modo y Efecto de falla (PFMEA)"*, Febrero 2007

[8] www.mantenimientoplanificado.com

[9] Gerencia de Seguridad Industrial "*Descripción del proceso de confiabilidad de equipo*", 2009

[10] R. Rea Soto, R. Calixto Rodríguez, S. Sandoval Valenzuela, *"Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Basado en Confiabilidad en la Industria Petrolera",* CIIDET 2008, 6° Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico, 2008, Cuernavaca, Morelos, México

[11] Ing. Rosendo Huerta Mendoza "*El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*", http//confiabilidad.net/artículos/el-analisis-de-criticidad-una-metodología-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/

[12] Ing. María Beatriz Cáceres, directora de planificación y negocios *"Como incrementar la competitividad del negocio mediante estrategias para Gerencias el Mantenimiento"*; Soluciones Integrales Corporativas ICS GROUP S.A.

[13] Ing. Santiago Sotuyo Blanco; ELLMANN, SUERIRO Y ASOCIADOS *"Los 10 mandamientos del RCM, claves para el éxito de un proyecto de implementación RCM",* Reliability world latin america 2006; Junio 5 al 9, 2006, Monterrey, N.L. México centro CONVEX

ANEXOS

Los anexos se encuentran en el CD al final del trabajo, el cual cuenta con la siguiente información:

- Puntajes de los Parámetros de las encuestas.
- Resultados de Encuestas.
- Listados de Fallas del Año 2009 en la Central Ángel Albino Corzo.
- Resultados del Análisis de criticidad.