UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICERECTORADO PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADO

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS UNIDADES GENERADORAS EN REHABILITACIÓN DE CASA DE MÁQUINAS I EN EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO “ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”

TUTOR ACADÉMICO:
Ing. Natasha Alarcón

TUTOR INDUSTRIAL:
Ing. Lenny Rojas

AUTOR:

Vera García, Astrid Valentina

PUERTO ORDAZ, MAYO DE 2015

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS UNIDADES GENERADORAS EN REHABILITACIÓN DE CASA DE MÁQUINAS I EN EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO “ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICERECTORADO PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADO

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS UNIDADES GENERADORAS EN REHABILITACIÓN DE CASA DE MÁQUINAS I EN EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO “ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”

Trabajo de Grado que se presenta ante el Departamento de Ingeniería Industrial de la UNEXPO Vice-Rectorado Puerto Ordaz, Como un requisito académico para optar al título de Ingeniero Industrial.

VERA GARCÍA, ASTRID VALENTINA

Ing. Natasha Alarcón
TUTOR ACADÉMICO

Ing. Lenny Rojas
TUTOR INDUSTRIAL

PUERTO ORDAZ, MAYO DE 2015

VERA GARCÍA, ASTRID VALENTINA

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS UNIDADES GENERADORAS EN REHABILITACIÓN DE CASA DE MÁQUINAS I EN EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO "ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"

Pág. 117
Trabajo de Grado
Puerto Ordaz, Mayo de 2015

Universidad Nacional Experimental Politécnica
"Antonio José de Sucre"
Vicerrectorado Puerto Ordaz
Departamento de Ingeniería Industrial

Tutor Académico: Ing. Natasha Alarcón
Tutor Industrial: Ing. Lenny Rojas

CAPITULOS: I. EL Problema

II. Generalidades de la Empresa

III. Marco Teórico

IV. Marco Metodológico

V. Análisis de los Resultados

VI. Diseño y Presentación

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias Bibliográficas

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"
VICERECTORADO PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, miembros del Jurado Evaluador designados por la Comisión de trabajo de Grado del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", Vice-Rectorado Puerto Ordaz, para examinar el trabajo de Grado presentado por la ciudadana **Astrid Valentina Vera García**, con cedula de identidad N° **18.335.393**. Titulado **DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS UNIDADES GENERADORAS EN REHABILITACIÓN DE CASA DE MÁQUINAS I EN EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO "ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"**, como requisito para la aprobación del trabajo de Grado. Consideramos que dicho trabajo cumple con los requisitos exigidos para tal efecto y por lo tanto la declaramos **APROBADO**.

En Ciudad Guayana, Puerto Ordaz, a los _____ del mes de Mayo de 2015.

_____	_____
Ing. Natasha Alarcón	**Ing. Lenny Rojas**
Tutor Académico	**Tutor Industrial**
_____	_____
MSc. Ing. Iván Turmero	**Ing. Leonardo Ortuño**
Jurado Evaluador	**Jurado Evaluador**

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso

A mi Madre Elizabeth García Inaudi,

Por ser mí guía, mi consejera, mi mejor amiga,

Mi calma en momentos de desesperación y

Por ser una fuente infinita

De amor y compresión.

Este logro es por TI. TE AMO

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todo Poderoso, por permitirme estar viva y darme la oportunidad de luchar cada día para alcanzar mis objetivos, por la fuerza que me otorga cada mañana y por las oportunidades que me brinda cada día al despertar.

A mi madre, Elizabeth García, por ser mi compañera fiel y por haberme dado todo su apoyo incondicional con tanto amor.

A mi padre y Hermanos, José M. Vera, Carlos Vera G, Efraín Vera G, por darme todo el apoyo necesario para culminar con mucho éxito esta etapa de mi carrera y por ser muestras fieles de constancia, esfuerzo, integridad y trabajo duro.

A mis Cuñadas y Sobrinos, Verónica Sánchez, Mariangela Gouveia, Andrés Vera, Carlos D. Vera, Santiago Vera, Efraín Vera y Fabián Vera, por siempre creer en mí y nunca abandonarme por apoyarme, motivarme y ayudarme a salir adelante a lo largo de la carrera.

A mi Novio, Andrés Arambillete, por apoyarme en todo momento y por darme el empuje necesario con todo su amor y compresión.

A mis tías y tíos, por ser una pieza fundamental en esta etapa de mi vida, especialmente a mis tías Gladys Sosa y Zamira Sosa, por darme todo su apoyo con tanto amor y cariño.

A mi Tutor académico Natasha Alarcón, por haberme planteado ideas para el desarrollo de este trabajo de grado, por su paciencia en cada una de las entrevistas de consultas realizadas y sobre todo por la dedicación a su labor de profesor y guía.

A todo el personal que labora en la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control División Planta Macagua, especialmente a mi tutora Industrial Ing. Lenny Rojas y al Ing. Jorge Mogollón por su cálido recibimiento y su gentil atención hacia mi persona durante estas 24 semanas.

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA

“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”

VICERECTORADO PUERTO ORDAZ

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE GRADO

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS UNIDADES GENERADORAS EN REHABILITACIÓN DE CASA DE MÁQUINAS 1 EN EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO “ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”

Autor: Astrid V. Vera G.
Tutor Industrial: Ing. Lenny Rojas
Tutor Académico: Ing. Natasha Alarcón
Fecha: Mayo del 2015

RESUMEN

El objetivo de esta investigación se basa en Diseñar un Plan de Mantenimiento para las Unidades Generadoras de Casa de Máquinas I (CM1), ubicada en el Complejo Hidroeléctrico “Antonio José de Sucre”. Actualmente está siendo sometida a un proceso de rehabilitación de los equipos principales, específicamente aquellos componentes que conforman las unidades de generación. El proceso de rehabilitación busca sustituir los equipos que ya superaron su vida útil o se consideran obsoletos, por equipos más eficientes, confiables de mayor capacidad de generación y con una mejor mantenibilidad. Mediante el estudio de la situación actual del proceso de rehabilitación, se puntualiza la necesidad de manejar las operaciones de Mantenimiento en la Casa de Máquinas I (CM1), bajo un nuevo Estándar de Actividades. El Diseño del Plan de Mantenimiento está basado en manuales técnicos emitidos por el fabricante de equipos, tomándose en cuenta las necesidades particulares de la Empresa. Los equipos que se incluyeron en el Diseño de un Plan de Mantenimiento, son los equipos principales o de mayor importancia para el Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control, como lo es el Sistema de Excitación y el Gobernador. El Diseño incluye las instrucciones de trabajo para cada mantenimiento y las actividades de mantenimiento preventivo, agrupada en una parada, tomando en cuenta factores como: Actividades a realizar, Responsables de ejecución, equipos, frecuencia y duraciones estimadas.

Palabras Claves: Mantenimiento, Predictivo, Correctivo, Preventivo.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I: 4
EL PROBLEMA 4
1.1 Planteamiento del Problema 4
1.2 Objetivos de la Investigación 5
1.2.1 Objetivo General 5
1.2.2 Objetivos Específicos 6
1.3 Alcance 7
1.4 Justificación 7
CAPÍTULO II: 8
GENERALIDADES DE LA EMPRESA 8
2.1 Reseña de la Empresa 8
2.2 Ubicación 9
2.3 Misión 13
2.4 Visión 13
2.5 Valores 13
2.6 Estructura Organizativa 15
2.7 Descripción del Área de Estudio 16
2.8 Central Hidroeléctrica “Antonio José de Sucre” Casa de Máquinas I 18
CAPÍTULO III: 21
MARCO TEÓRICO 21
3.1 Bases Teóricas 21

3.1.1 Plantas Hidroeléctricas 21
3.1.2 Esquema de una Central Hidroeléctrica.....21
3.1.3 Embalse o Rio.....22
3.1.4 Casa de Máquinas 23
3.1.5 Transformador 23
3.1.6 Líneas de Transmisión.....23
3.1.7 Turbinas 24
3.1.8 Gobernador.....25
3.1.9 Sistema de Excitación.....25
3.1.10 Generadores 25
3.1.11 Turbinas Francis 26
3.1.12 Características de las turbinas Francis 26
3.1.13 Clasificación de las Turbinas Francis.....27
3.1.14 Unidad Generadora.....27
3.1.15 Mantenimiento 28
3.1.15.1 Tipos de mantenimiento.....28
3.1.15.2 Mantenimiento correctivo 28
3.1.15.3 Mantenimiento preventivo 29
3.1.15.4 Mantenimiento predictivo 30
3.1.16 Plan de mantenimiento 30
3.1.16 Tipos de planes de mantenimiento 31
CAPÍTULO IV:.....33
MARCO METODOLÓGICO.....33
4.1 Tipo y diseño de la investigación 33

4.1.1 Según el tipo de la investigación.....33
4.1.2 Según el diseño de la investigación.....33
4.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 34
4.3 Población y Muestra.....35
4.4 Procedimiento Metodológico.....36
CAPÍTULO V:.....39
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 39
5.1 Descripción de la situación actual operacional y de rehabilitación de la casa de máquinas I.....39
5.1.1 Descripción del proceso de rehabilitación y su situación actual.....39
5.1.2 Diagnostico de Fallas.....42
5.1.3 Descripción de las operaciones de Mantenimiento en la Casa de Máquinas I 48
5.2 Análisis del funcionamiento de los equipos de mayor criticidad de las Unidades generadoras de Casa de Máquinas I.....51
5.3 Determinación de las Actividades de Mantenimiento de los equipos críticos de las Unidades Generadoras.....54
5.4 Diseño de las Instrucciones de trabajo para las unidades rehabilitadas en Casa de Máquinas I.....61
CAPÍTULO VI:.....71
DISEÑO Y PRESENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO 71
6.1 Diseño y Presentación del Plan de Mantenimiento.....71

CONCLUSIONES 80
RECOMENDACIONES 83
BIBLIOGRAFÍA 84
ANEXOS 86

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Cuenca del bajo Caroní. 10
Figura 2 Complejo Hidroeléctrico “Antonio José de Sucre”..... 12
Figura 3 Estructura Organizativa General, Planta Macagua. 15
Figura 4 Estructura Organizativa Planta Macagua, Planta Macagua 16
Figura 5 Estructura Organizativa de la Unidad de Mantenimiento 17
Figura 6 Casa de Máquinas I. 18
Figura 7 Vista Aérea de MACAGUA. 18
Figura 8 Unidades Generadoras CM I. 18
Figura 9 Esquema General de una Presa. 21
Figura 10 Corte transversal de la unidad generadora.4 22
Figura 11 Embalse presa Macagua. 22
Figura 12 Casa de M55áquinas I, Macagua. 23
Figura 13 Turbina Francis. 24
Figura 14 Corte transversal de la Casa de Máquinas I 52
Figura 15 Formato para la presentación del Plan de Mantenimiento. 71

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Datos Significativos de Casa de Máquinas I..... 19
Tabla 2 Defectos que presenta la Unidad 45
Tabla 3 Frecuencia que presentan los Defectos 46
Tabla 4 Porcentaje que representa los Defectos..... 46
Tabla 5 Frecuencia y Porcentaje ordenado de mayor a menor..... 48
Tabla 6 Cuadro descriptivo de herramientas para la planificación del Mantenimiento utilizadas en CORPOELEC. 50
Tabla 7 Formato para la recolección de actividades de mantenimiento por equipo 56
Tabla 8 Actividades de Mantenimiento recomendadas por el fabricante para el Sistema de Excitación. 59
Tabla 9 Actividades de Mantenimiento recomendadas por el fabricante para el Gobernador. 60
Tabla 10 Formato para la presentación de las Instrucciones de Trabajo del Gobernador..... 63
Tabla 11 Formato para la presentación de las Instrucciones de Trabajo del Sistema de Excitación..... 65
Tabla 12 Descripción de actividades de la parada semestral para el diseño del Plan de Mantenimiento 75

ÍNDICE DE GRAFICO

Grafico 1 Diagrama de Pareto de Fallas de CM1 2001-2013 40
Grafico 2 Representación de los Defectos de las Unidades 47

INTRODUCCIÓN

Electrificación del Caroní, C.A (EDELCA), filial de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC), adscrita bajo el Poder Popular para la Energía Eléctrica, fue fundada en 1963 para desarrollar el potencial hidroeléctrico del Río Caroní y su cuenca hidrográfica, es la empresa de generación hidroeléctrica más importante que posee Venezuela aportado cerca del 70% de la producción nacional de electricidad. EDELCA opera las Centrales Hidroeléctricas Guri, Macagua y Caruachi con una capacidad instalada de 10.000, 2.930 y 1.620 megavatios, respectivamente. Se ubica en las caudalosas aguas del Río Caroní, al sur del país, posee una extensa línea de transmisión que superan los 5.700 km., cuyo sistema a 800 mil voltios es el quinto sistema instalado en el mundo con líneas de Ultra Alta Tensión en operación.

Desde un punto de vista operativo actualmente las unidades generadoras que conforman la Casa de Máquinas I (CM1), presentan altas probabilidades de fallas esto debido al avanzado deterioro de sus componentes, CORPOELEC realizo un estudio denominado “Operación Futura de Casa de Máquinas I”, donde se manejaron diversos escenarios que incluían desde el cierre completo de las operaciones del Complejo hasta la rehabilitación del mismo, siendo esta última opción la elegida por CORPOELEC para solventar la situación operacional de la Casa de Máquinas I.

Este proyecto tendría como beneficios directos para la compañía los siguientes:

- Producción adicional de energía eléctrica limpia y sustentable
- Disponibilidad del sistema y Aumento de la confiabilidad
- Disminución de los costos operativos

- Disminución de los costos de mantenimiento.

Esta propuesta que contemplaba diversas actividades que serían realizadas por la contratista IMPSA y dirigidas por CORPOELEC. En el año 2009 se inicia el proyecto de rehabilitación de la Casa de Máquinas I (CM1) del Complejo Hidroeléctrico “Antonio José de Sucre” y la primera unidad generadora rehabilitada se entrega a CORPOELEC en el año 2012 Unidad generadora 5 y en el año 2014 Unidad Generadora 6.

Esta investigación estará basada en el Diseño de un Plan de Mantenimiento para las Unidades de Generación rehabilitadas de la Casa de Máquinas I (CM1) ubicadas en el Complejo Hidroeléctrico “Antonio José de Sucre”, trabajo que se realizó, recopilando toda la información en materia de mantenimiento sugeridas por el fabricante de los equipos que conforman la unidad de generación, para determinar las actividades de mantenimiento que deben realizarse y ordenarlas tomando en cuenta factores como tipos de trabajo, responsables, periodos de realización, entre otros.

El Diseño de un Plan de Mantenimiento resultante de esta investigación se considerara como un formato estándar donde puedan analizarse las tareas de mantenimiento y sus características de manera sencilla para que la Empresa CORPOELEC, pueda apoyarse en este Diseño para realizar sus estándares y programaciones de mantenimiento y de esta forma garantizar que los beneficios que se esperan del proyecto de rehabilitación de la Casa de Máquinas I (CM1) sea de suma importancia para la Empresa.

El informe está estructurado en 6 capítulos, los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

Capítulo I (EL PROBLEMA), en él se define la problemática existente, el objetivo general que se persigue, los objetivos específicos necesarios para llegar al general, la importancia y justificación, además de la delimitación y

limitaciones. Capítulo II (GENERALIDADES DE LA EMPRESA), donde se explica detalladamente la ubicación de la Empresa y el área de investigación. Capítulo III (MARCO TEÓRICO), en el que se describe los antecedentes o revisión de la literatura, las bases teóricas que sustentan la investigación. Capítulo IV (MARCO METODOLÓGICO), donde se definen las actividades ejecutadas, tipo de investigación y diseño, unidades de análisis (población y muestra), técnicas de recolección de información, y procedimiento a seguir para realizar la investigación. Capítulo V (ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS), donde se expone, describe y analiza la información obtenida que sustente el cumplimiento de los objetivos específicos de esta investigación. Capítulo VI (DISEÑO), donde se plantea el diseño final del Plan de Mantenimiento.

CAPÍTULO I:

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

La Central Hidroeléctrica “Antonio José de Sucre” en Macagua, está conformada por veinte (20) unidades generadoras distribuidas de la siguiente manera: seis (6) unidades generadoras equipadas con turbinas Francis en la Casa de Máquinas I, con una capacidad instalada de 360 Mw, doce (12) unidades generadoras equipadas con turbinas tipo Francis en la Casa de Máquinas II, con una capacidad instalada de 2400 Mw Y dos (2) unidades generadoras equipadas con turbinas tipo Kaplan en la Casa de Máquinas III, con una capacidad instalada de 170 Mw completando así un total de 2930 Mw.

Luego de 51 años de operación de la Casa de Máquinas I, el desgaste de los diferentes sistemas y equipos que conforman las Unidades Generadoras reducen la confiabilidad, impactando de manera significativa en la generación de energía.

Debido a esto CORPOELEC decide encargarle a la compañía IMPSA la tarea de rehabilitar las unidades de generación de la Casa de Máquinas I, dicho proyecto se encuentra en ejecución, actualmente se trabaja en la renovación de las unidades que componen esta Casa de Máquinas.

El resultado de estas acciones de rehabilitación traerá como consecuencia una potencial mejora de la rentabilidad de Macagua debido a los siguientes aspectos:

- Disminución de los costos de operación y mantenimiento actuales.

- Incremento en la disponibilidad del equipamiento.
- Mejoramiento de la generación por incremento de la eficiencia.
- Aumento de la generación por mejoramiento de la zona de trabajo efectiva de la máquina requeridas por el mercado.
- Incremento de potencia por aumento de la eficiencia.

En la actualidad, se ha hecho entrega de la unidad de generación 5 (UG5) en el año 2012 y la unidad Generadora 6 (UG6) en el año 2014. Por el hecho de que son sistemas nuevos, la Empresa actualmente no dispone de un plan de mantenimiento para responder a las especificaciones y necesidades de las unidades, las actividades de mantenimiento de la UG5 y la UG6 se realizan con la cooperación de la empresa contratista IMPSA, ya que aún está dentro del periodo de garantía de 40.000 horas de servicio.

El hecho de no contar con una planificación de las actividades de mantenimiento en cualquier empresa puede acarrear graves problemas en materia de producción, rentabilidad, confiabilidad, disponibilidad, entre otros. El diseño de un Plan de Mantenimiento en la Casa de Máquinas I, es vital para que la empresa CORPOELEC, pueda garantizar que los beneficios que se buscan de esta rehabilitación, se mantengan a través de la vida útil de los equipos, así como también es necesario para garantizar los requisitos de disponibilidad de la planta frente a la creciente demanda energética que existe en la nación.

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un Plan de Mantenimiento para las Unidades Generadoras en rehabilitación de Casa de Máquinas I en el Complejo Hidroeléctrico “Antonio José de Sucre”

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar la situación actual de las condiciones operacionales de los equipos responsabilidad del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua (MICM).
2. Recopilar información existente en los manuales de los equipos entregados por el fabricante al Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua (MICM).
3. Analizar información emitida por el personal de la gerencia y mantenedor que labora dentro del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua (MICM).
4. Analizar el funcionamiento de los equipos de mayor criticidad de las unidades generadoras en el proceso de generación de energía eléctrica.
5. Determinar las actividades de mantenimiento de los equipos críticos de las unidades generadoras.
6. Diseñar las Instrucciones de trabajo para las unidades rehabilitadas en Casa de Máquinas I.
7. Elaborar un Plan de Mantenimiento para los equipos críticos del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua (MICM).

1.3 Alcance

Este trabajo implica el Diseño de un Plan de Mantenimiento para los equipos principales responsabilidad del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua (MICM), abarca desde la detección de las condiciones operacionales actuales de Casa de Máquinas I y el análisis del funcionamiento de los equipos de mayor criticidad hasta el diseño de un Plan de Mantenimiento para dichos equipos. Este trabajo no incluye la implantación del mismo.

1.4 Justificación

El proyecto de rehabilitación implica la instalación de nuevas unidades de generación que aporten beneficios a CORPOELEC siendo más eficientes y confiables en el proceso generación eléctrica, así como en el aumento de la capacidad de la misma, debido a esto los planes de mantenimiento existentes en la Casa de Máquinas I ya no se adaptan a las necesidades de las nuevas unidades porque están diseñados para equipos con características distintas. De manera que dichos beneficios serán sustentables a través del tiempo, solo desarrollando un plan que tome en cuenta desde el punto de vista de mantenibilidad de las unidades de generación, las recomendaciones del fabricante teniendo en cuenta que el mantenimiento es una actividad que garantiza la funcionalidad de los equipos a lo largo de su operación y es el único método para prevenir fallas que podrían comprometer la disponibilidad para generar la oferta eléctrica que continuamente demanda el consumidor.

CAPÍTULO II:

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

2.1 Reseña de la Empresa

Electrificación del Caroní, C.A (EDELCA), filial de la Corporación Eléctrica Nacional Socialista, adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, es la Empresa de Generación Hidroeléctrica más importante que posee Venezuela, forma parte del conglomerado industrial ubicado en la región Guayana, conformado por las empresas básicas del aluminio, hierro, acero, carbón, bauxita y actividades a fines.

CORPOELEC se crea, mediante decreto presidencial N° 5.330, en julio del 2007, cuando el Presidente de la República, Hugo Rafael Chávez Frías, establece la reorganización del sector eléctrico Nacional con el fin de mejorar el servicio en todo el país. En el Artículo 2° del documento se define a CORPOELEC como una empresa operadora estatal encargada del suministro de energía a todo el territorio nacional.

Desde que se publicó el decreto de la creación de CORPOELEC, todas las empresas del sector: EDELCA, La EDV, ENELVEN, ENELCO, ENELBAR, CADAFE, GENEVAPCA, ELEBOL, ELEVAL, SENECA, ENAGEN, CALEY, CALIFE y TURBOVEN, trabajan en sinergia para atender el servicio y avanzar en el proceso de integración para garantizar y facilitar la transición armoniosa del sector.

Ante la creciente demanda y las exigencias del Sistema Eléctrico Nacional, (SEN), el ejecutivo Nacional crea un Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE), anuncio hecho desde el Palacio de Miraflores por el Presidente de la República Hugo Rafael Chávez Frías, el 21

de octubre de 2009. La información fue publicada en la Gaceta Oficial número 39.294, Decreto 6.991, del miércoles 28 de octubre. En ella se informa que el titular de esta cartera tendrá entre sus funciones ser la máxima autoridad de CORPOELEC. “Vamos a fortalecer y reimpulsar el Sistema Eléctrico Nacional”, enfatizó el máximo líder de la Revolución Bolivariana de Venezuela.

En el decreto 5.330 el ente rector de la política eléctrica era el Ministerio del Poder Popular para la Energía y el Petróleo, MENPET. Ahora CORPOELEC está bajo la tutela del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, MPPEE. El 12 de julio del 2010, en la Gaceta Oficial 39.463, se aprueban las modificaciones a este decreto que enfatiza la necesidad de dar un mayor impulso a la fusión de las filiares de CORPOELEC en una persona jurídica única. Allí se establece el 30 de diciembre de 2011 como la fecha tope para la integración definitiva.

CORPOELEC tiene como objetivo redistribuir las cargas de manera que cada empresa (CADAFE, ENELBAR, ENELVEN, CALIFE, La EDC, EDELCA, ENELCO, SENECA, ELEBOL, ELEGUA, ELEVAL, ENAGEN Y CALEY), asuma el liderazgo en función de sus potencialidades y fortalezas.

En la actualidad el proceso de reagrupación para la conformación efectiva de equipos de gestión bajo una gran corporación, aprovechando los valiosos recursos humanos, técnicos y administrativos existentes en cada región.

2.2 Ubicación

CORPOELEC abarca todo el país por medio de un sistema de potencia eléctrica interconectado entre sí partiendo desde todas las centrales de generación de energía eléctrica bien sea centrales Hidroeléctricas, termoeléctricas, u otras; pasando luego por los sistemas de transmisión de

potencia por medio de sub-estaciones y líneas de transmisión aéreas en sus diferentes niveles de tensión hasta llegar a las sub estaciones reductoras de tensión para luego ser distribuidas a los centros de consumo en sus diferentes tipos.

La Cuenca del río Caroní, área de generación de CORPOELEC se ubica en el sector sur-oriental de la República Bolivariana de Venezuela, en el Estado Bolívar en la denominada Región de Guayana, con una localización geográfica que se extiende desde su punto más meridional a los 3º 37' de latitud norte en los límites con Brasil en la Sierra Pacaraima, hasta su punto más al norte en los 8º 21' de latitud norte, en la desembocadura del Caroní en el río Orinoco. De este a oeste, se extiende desde los 60º 35' de longitud oeste, en las cabeceras del río Arábopo en el Alto Caroní, hasta los 64º 37' de longitud oeste. Esta cuenca hidrográfica cubre aproximadamente 95.000 km² (10.5% del territorio venezolano). La cuenca del río Caroní posee el mayor potencial hidroeléctrico de Venezuela y uno de los mayores del mundo. Se estima este potencial en 26.000 Megavatios en toda la cuenca, de los cuales 17.000 aproximadamente corresponden al Bajo Caroní. Como lo puede ver en la Figura 1.

Figura 1 Cuenca del bajo Caroní
Fuente: Intranet de la Empresa

Está encargada de producir, transportar y comercializar energía eléctrica en forma competitiva, confiable, eficiente, rentable y comprometida con la conservación del ambiente, con el propósito de promover el desarrollo industrial del país. Posee una extensa red de líneas de transmisión que superan los cuatro mil kilómetros, cuyo sistema a 762 Kv es el quinto instalado en el mundo con líneas de Ultra Alta Tensión en operación. Aprovecha el potencial hidroeléctrico de las generosas características del río Caroní, cuyo caudal corre sobre un lecho de roca granítica, ideal para construir grandes centrales como el Complejo Hidroeléctrico Simón Bolívar Represa de Gurí con una capacidad instalada de 10000 Mw, Complejo Hidroeléctrico Manuel Piar Represa de Tocoma con una capacidad instalada de 2250 Mw (actualmente en construcción), Complejo Hidroeléctrico Francisco de Miranda Represa de Caruachi con una capacidad instalada de 2280 Mw y él:

Complejo Hidroeléctrico Antonio José de Sucre Represa de Macagua (Macagua I - Macagua II – Macagua III)

La Central Hidroeléctrica Antonio José de Sucre en Macagua tiene una capacidad instalada total de 3140 MW.

La Casa de Máquinas I construida en el período 1956–1961, fue un aprovechamiento que no requirió la formación del lago para su operación, fue la primera planta construida en los llamados saltos inferiores del río Caroní, localizada a 10 kilómetros de su desembocadura en el río Orinoco, en Ciudad Guayana, estado Bolívar. Alberga en su Casa de Máquinas, 6 unidades tipo Francis, cada una con una capacidad nominal promedio de 64,43 Mw, para alcanzar una capacidad instalada total de 370 Megavatios. Actualmente está en proceso de rehabilitación esta casa máquinas que elevara la potencia de generación a unos 80Mw por cada unidad con la instalación de las nuevas máquinas generadoras.

De 1988 a 1998 se construye Macagua II y Macagua III. En enero de 1.998, entran en funcionamiento las dos Casas de Máquinas permitieron aumentar la generación firme de la empresa en 13.200 GWH. Macagua constituye la única represa del mundo que se encuentra dentro de una ciudad, está situada a 10 kilómetros aguas arriba de la confluencia de los ríos Caroní y Orinoco en Ciudad Guayana, estado Bolívar. En la Casa de Máquinas II operan 12 Unidades Generadoras de 216 Mw cada una, impulsadas por turbinas tipo Francis, con una capacidad instalada total de 2.540 Mw. Para el control del río se construyó un Aliviadero con 12 compuertas capaces de transitar 30.000 m^3/s.

La Casa de Máquinas III, se construyó para garantizar un continuo flujo de agua a los Saltos de Cachamay y la Llovizna, generando 172 Mw con dos unidades tipo Kaplan de 90 Mw cada una de capacidad nominal. El diseño de la obra fue realizado con el fin de perturbar lo menos posible su entorno natural, por estar ubicado en la cercanía del sistema de parques de Ciudad Guayana (Cachamay, Leofling, Punta Vista y La Llovizna). Como lo puede ver en la Figura 2.

Figura 2 Complejo Hidroeléctrico "Antonio José de Sucre"
Fuente: Intranet de la Empresa

2.3 Misión

Generar, transmitir y distribuir energía eléctrica, de manera confiable, segura y en armonía con el ambiente, a través del esfuerzo de mujeres y hombres motivados, capacitados, comprometidos y con el más alto nivel ético y humano, enmarcado en la planes estratégicos de la Nación, para contribuir con el desarrollo social, económico, endógeno y sustentable del país.

2.4 Visión

Empresa estratégica del estado, líder del sector eléctrico, pilar del desarrollo y bienestar social, modelo de ética y referencia en estándares de calidad, excelencia, desarrollo tecnológico y uso de nuevas fuentes de generación, promoviendo la integración latinoamericana y del Caribe.

2.5 Valores

Respeto: Trato justo, digno y tolerante, valorando las ideas y acciones de las personas, en armonía con la comunidad, el ambiente y el cumplimiento de las normas, lineamientos y políticas de la organización.

Honestidad: Gestionar de manera transparente y sincera los recursos de la empresa, con sentido de equidad y justicia, conforme al ordenamiento jurídico, normas, lineamientos y políticas para generar confianza dentro y fuera de la organización.

Responsabilidad: Cumplir en forma oportuna, eficiente y con calidad los deberes y obligaciones, basadas en las leyes, normas y procedimientos

establecido, con lealtad, mística, ética y profesionalismo para el logro de los objetivos y metas planteadas.

Humanismo: Valoración de la condición humana, en la convivencia solidaria, sensibilidad ante las dificultades, necesidades y carencias de los demás, manifestada en acciones orientadas al desarrollo integral y al bienestar individual y colectivo.

Compromiso: Disposición de los trabajadores y la organización para cumplir los acuerdos, metas, objetivos y lineamientos establecidos con constancia y convicción, apoyando al desarrollo integral de la nación.

Solidaridad: Actitud permanente y espontanea de apoyo y colaboración para contribuir a la solución de situaciones que afectan a los trabajadores y comunidades, para mejorar su calidad de vida.

Humildad: Capacidad de reconocer y aceptar las fortalezas y debilidades, expresadas en la sencillez de los trabajadores, que permita la apertura al crecimiento humano y organizacional.

2.6 Estructura Organizativa

A continuación se puede observar la Estructura organizativa que utiliza CORPOELEC. (Ver Figura 3)

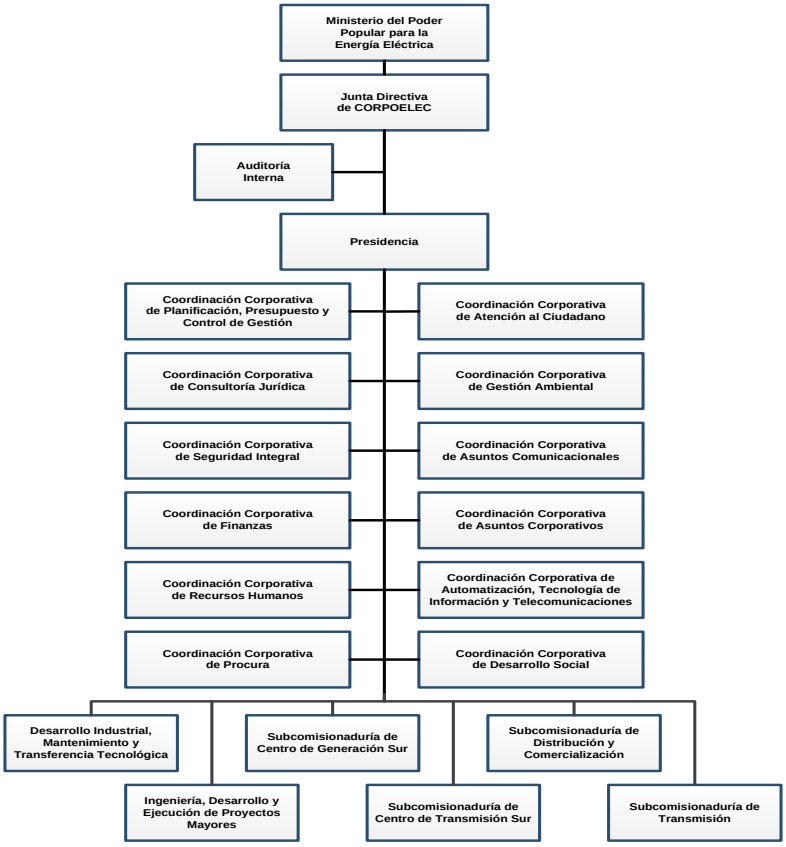


Figura 3 Estructura Organizativa General, Planta Macagua.
Fuente: Intranet de la Empresa

Se puede observar de manera más detallada como se divide la estructura organizativa dentro del Departamento. (Ver Figura 4)

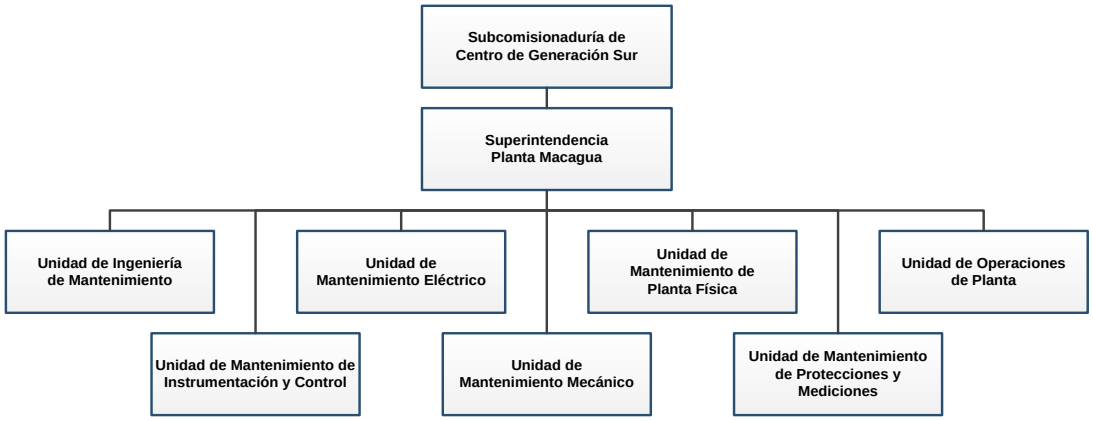


Figura 4 Estructura Organizativa Planta Macagua, Planta Macagua
Fuente: Intranet de la Empresa

2.7 Descripción del Área de Estudio

El Departamento de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua cuenta con espacios físicos ubicados en la elevación 23.05m.s.n.m de la Casa de Maquinas II de Planta Macagua, este espacio está distribuido de la siguiente manera:

a. Oficinas Departamento MICM: Concentra la dirección general de Dpto. de MCIM área destinada para el desarrollo de las actividades de un Jefe NA III G, un área de control y gestión destinada para los profesionales I y II que desarrollan sus labores en esta entidad, un área destinada como sitio de trabajo para una Técnico I, una sala de reuniones y los archivos de registro de Mantenimiento y Documentos del sistema de Gestión de Calidad.

b. Oficinas de Secciones MICM: Concentra la dirección de ambas secciones pertenecientes en este Departamento, un área destinada como sala técnica del personal fijo, las computadoras y área de técnicos I de ambas secciones. Cuenta con los archivos de los documentos técnicos empleados en el mantenimiento.

c. Sub-Almacén MICM: Este está determinada como área de acceso restringido determinada al almacenamiento y resguardo de materiales, herramientas y equipos de prueba. También se resguardan repuestos y equipos patrones declarados en el SGC.

d. Laboratorios MICM: Esta área de laboratorio también considera como de acceso restringido está establecida para el desarrollo de proyectos de mejora del departamento, pruebas de laboratorio y reparaciones menores de equipos y sistemas mantenidos por el Departamento. Ver Figura 5.

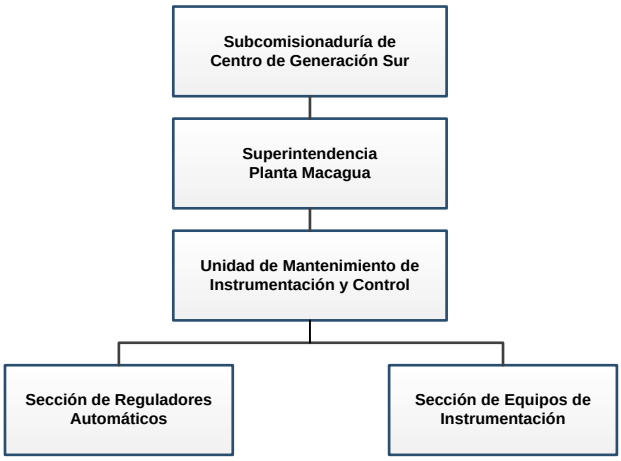


Figura 5 Estructura Organizativa de la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control
Fuente: Intranet de la Empresa

Es importante recalcar que dentro de la estructura de este Departamento las secciones representan las unidades funcionales encargadas de coordinar las programación, ejecución, control y supervisión del mantenimiento a los

equipos y sistemas de instrumentación y control requeridos para producir energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica Macagua.

La superintendencia Planta Macagua en el documento matriz de responsabilidad de sistemas/equipos establece la responsabilidad de cada unidad de mantenimiento para preservación o restablecimiento del funcionamiento de los sistemas y equipos instalados en la planta. Cada sección del Departamento tiene bajo su responsabilidad a un subconjunto de los sistemas/equipos bajo responsabilidad del Departamento.

2.8 Central Hidroeléctrica "Antonio José de Sucre" Casa de Máquinas I

La Central Hidroeléctrica Antonio José de Sucre en Macagua I, fue la primera planta construida en los llamados saltos inferiores del río Caroní, localizada a 10 kilómetros de su desembocadura en el río Orinoco, en Ciudad Guayana, estado Bolívar. Fue un aprovechamiento a filo de agua, es decir que no requirió la formación de un embalse para su operación. Alberga en su Casa de Máquinas 6 unidades tipo Francis, cada una con una capacidad nominal promedio de 64.430 kilovatios. Su construcción se inició en 1956, entrando en funcionamiento en 1959 la primera unidad de generación y para 1961 se puso en operación la última de ellas, alcanzándose una capacidad instalada total de 370 megavatios. En las figuras 6, 7 y 8 se muestra el embalse de Casa de Máquinas I, la estructura física de la misma y las unidades de generación no rehabilitadas respectivamente. En la tabla 1 se puede conseguir información técnica de CM1.

Figura 6 Vista Aérea de MACAGUA.
Fuente: Intranet de la Empresa

Figura 7 Casa de Máquinas I.
Fuente: Intranet de la Empresa

Figura 6 Unidades Generadoras CM I.
Fuente: Intranet de la Empresa

Tabla 1 Datos Significativos de Casa de Máquinas I.

EMBALSE	
Área del embalse	1 km^2
Volumen	12.000 m^3
Nivel mínimo de operación normal	46,00 m
Nivel promedio de operación normal	49,00 m
Nivel de operación actual	54,50 m
PRESA DE GRAVEDAD	
Longitud	354 m
Número de monolitos	11
Longitud de la Toma	132 m
Número de monolitos toma	6
Tipos de rejas de protección	Planas
Tipos de compuertas de operación	Radiales
Número de compuertas de operación	6
Tamaño de compuertas	10x11 m
Accionamiento de compuertas	Winches hidráulicos

PRESA DE GRAVEDAD	
Número de compuertas de mantenimiento	2
Ancho de los monolito	22,00 m
Ancho de la cresta	32,3 m
Elevación de la carretera	56,00 m.s.n.m.
Elevación de ojivas de tomas	37,00 m.s.n.m.
Altura máxima desde fundación	31 m
Pendiente aguas abajo	0,84H : 1,00V
Profundidad máxima cortina inyección	13 m

TUBERÍA FORZADA	
Número	6
Espesor planchas	19-23 mm
Diámetro	7,50 m
Diámetro entrada caja espiral	6,50 m
Peso aproximado cada tubería	150 TM
CASA DE MÁQUINAS	
Longitud Nave de Generadores	132,00 m
Número de Unidades	6
Número monolito nave de montaje	1
Longitud nave de montaje	45,00 m
Ancho de los monolitos (m)	22,00 m
Elev. plataforma aguas abajo	17,00 m.s.n.m
Elev. plataforma aguas arriba	---
Elev. piso nave generadores	13,80 m.s.n.m
Elev. máxima del techo	34,65 m.s.n.m
TURBINAS	
Número	6

TURBINAS	
Tipo	Francis

Fuente: Archivo técnico CM2 Macagua

CAPÍTULO III:

MARCO TEÓRICO

3.1 Bases Teóricas

3.1.1 Plantas Hidroeléctricas

Son aquellas que se utilizan para la generación de energía eléctrica mediante un proceso que consiste en utilizar la energía potencial del agua almacenada y convertirla primero en energía mecánica y luego en eléctrica.

3.1.2 Esquema de una Central Hidroeléctrica

Una Planta Hidroeléctrica está constituida por diversos componentes entre los cuales se pueden mencionar: un embalse, obras de conducción (canales abiertos o tuberías a presión), tanques de oscilación, tuberías de alta presión, casa de máquinas, turbinas, generadores, tuberías de desfogue, centro de control, controladores, entre otros. (Ver figura 9 y figura 10)

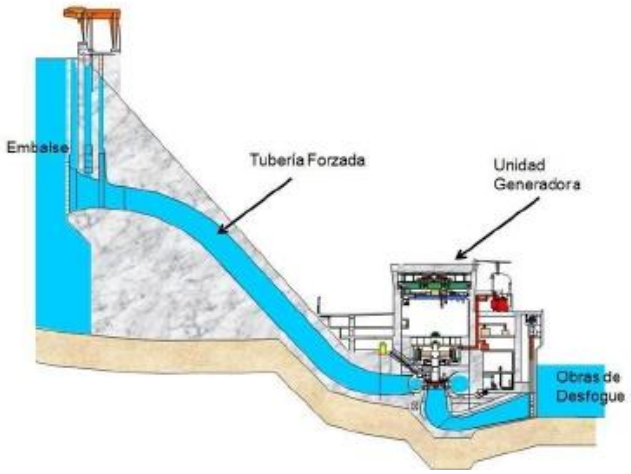


Figura 7 Esquema General de una Presa
Fuente: Archivo técnico CM2 Macagua

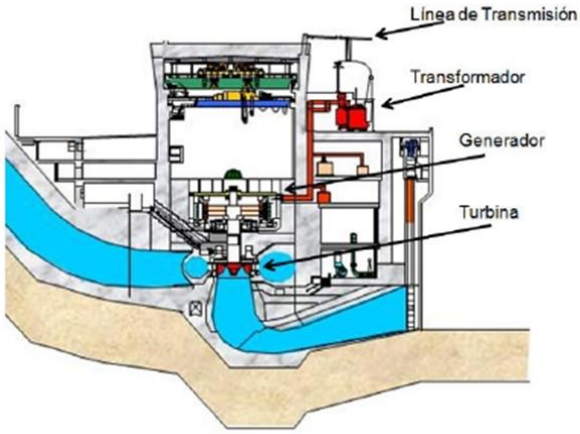


Figura 8 Corte transversal de la unidad generadora
Fuente: Archivo técnico CM2 Macagua

3.1.3 Embalse o Rio

En el caso de tratarse de una planta de gran tamaño es necesario la construcción de un embalse para la acumulación del agua; en el caso de plantas pequeñas no siempre es necesaria la construcción de dicha obra, bien podrían operar con el caudal directo de un río, esta operación se conoce como a “planta a filo de agua”. En la figura 11 se puede observar el embalse de la central hidroeléctrica Macagua.

Figura 9 Embalse presa Macagua
Fuente: Intranet de la Empresa

3.1.4 Casa de Máquinas

Es la edificación donde se hallan los equipos principales de la planta como las turbinas, los generadores, y los dispositivos de control. En la figura 12 se pueden observar las Unidades Generadoras ubicadas en Casa de Máquinas I.

Figura 10 Casa de máquinas I, Macagua
Fuente: Intranet de la Empresa

3.1.5 Transformador

La salida de potencia eléctrica de los generadores es llevada a un transformador donde se eleva el voltaje hasta el nivel deseado para la transmisión a fin de reducir las pérdidas en las líneas.

3.1.6 Líneas de Transmisión

Una línea de transmisión es una estructura material utilizada para dirigir la transmisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, comprendiendo el todo o una parte de la distancia entre dos lugares que se comunican.

3.1.7 Turbinas

Son los mecanismos que proveen la energía necesaria para hacer girar el rotor del generador, existen diferentes tipos de turbinas pero las más utilizadas son de tipo Pelton, Francis y Kaplan. Las diferencias entre ellas son varias y cada una posee cualidades particulares para el rango de aplicación involucrado, así las turbinas Pelton son preferibles para caídas de agua grandes y poco caudal, las Francis son para caídas de agua medias y caudales grandes, y las Kaplan son para caídas bajas y caudales variables, la aplicación de un tipo de turbina u otro obedece a los criterios de diseño hidráulicos. En la figura 13 se aprecia el corte transversal de una turbina tipo Francis.

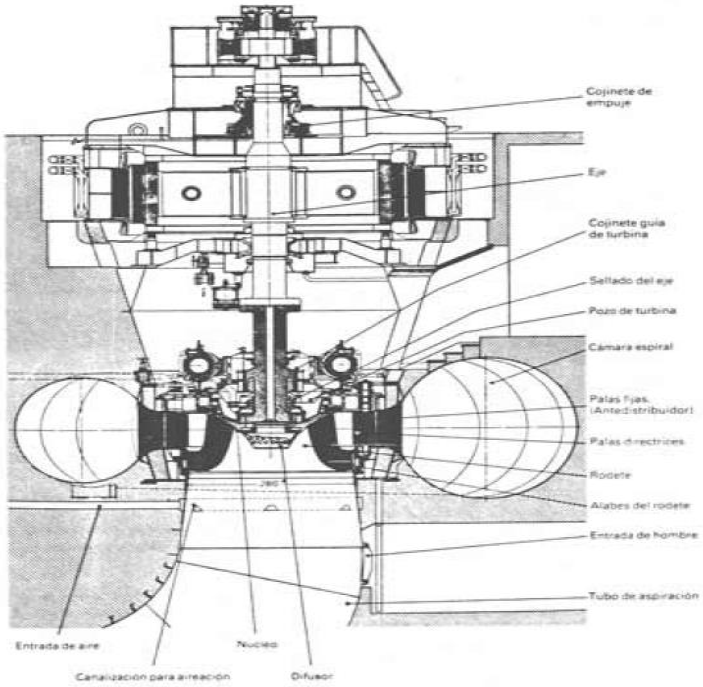


Figura 11 Turbina Francis
Fuente: Archivo técnico CM2 Macagua

3.1.8 Gobernador

Es el encargado de la regulación de velocidad y la potencia activa de las turbinas bajo cualquier condición de carga del sistema, este sistema es el encargado de operar el movimiento del anillo distribuidor en las paletas directrices, mediante aceite almacenado por presión, el cual se le suministra a 2 servomotores mediante 2 brazos acoplados al anillo distribuidor, realizan la apertura o cierre de las paletas realizando así la función de control según sea los requerimientos del sistema. En este proceso intervienen un conjunto de elementos tantos mecanicos e hidraulicos en lo que son los servomotores, los compresores de aire, los tanques de aceite, etc, y elementos electronicos como son una serie de sensores; desde velocidad o nivel de apertura de las paletas directrices, hasta el PLC que se encargan de la recepcion de todas las señales de los sensores y realizan el control automatico o manual de la apertura de las paletas directrices.

3.1.9 Sistema de Excitación

Un Sistema de Excitación comprende todos aquellos elementos y procesos necesarios para suministrar corriente continua al rotor en movimiento, y formar el campo magnetico que necesita el generador para crear el voltaje inducido hasta alcanzar su valor nominal predisponiendo la unidad para ser sincronizada.

La excitación es normalmente controlada en modo automático por el regulador principal o por el regulador de respaldo pero en ambos casos existe la posibilidad del control manual de corriente de campo.

3.1.10 Generadores

Es la máquina encargada de convertir la energía mecánica en eléctrica, por lo general se utilizan generadores sincrónicos, sin embargo también es posible el uso de máquinas asincrónicas.

3.1.11 Turbinas Francis

Son conocidas como turbinas de sobrepresión ya que la misma es variable en la zona del rodete, o de admisión total ya que éste se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia. También se conocen como turbinas radiales-axiales y turbinas de reacción.

El campo de aplicación es muy extenso, dado el avance tecnológico conseguido en la construcción de este tipo de turbinas. Pueden emplearse en saltos de distintas alturas dentro de una amplia gama de caudales (Entre 2 y 200 m^3/s).

Se consideran de muy buen rendimiento, pero solamente entre determinados márgenes de descarga, entre 60% y 100% del caudal máximo. Esta es una de las razones por la que en una central hidroeléctrica se disponen varias unidades, a objeto de que ninguna trabaje, individualmente, por debajo de valores del 60 % de la descarga total.

3.1.12 Características de las turbinas Francis

- Su óptimo diseño hidráulico garantiza un alto rendimiento.
- Su diseño reforzado da una vida útil de muchas décadas en servicio continuo.
- Alta velocidad de giro permite pequeñas dimensiones.
- La aplicación de modernos materiales reduce el mantenimiento de las piezas móviles al mínimo.
- La turbina Francis puede ser instalada en todo lugar donde se dé un flujo de agua relativamente constante y donde se exige un alto rendimiento. Su eficiencia es aproximadamente de 8% por encima de la turbina de Flujo Cruzado, pero tiene la desventaja de no poder operar con grandes variaciones del caudal de agua.

3.1.13 Clasificación de las Turbinas Francis

Se clasifican, en función de la velocidad específica del rotor y de las características del salto:

- Turbina Francis lenta: para saltos de gran altura, alrededor de 200 m o más.
- Turbina Francis normal: Indicada en saltos de altura media, entre 200 y 20 m.
- Turbinas Francis rápidas y extra rápidas: apropiadas para saltos de pequeña altura, inferiores a 20 m.

3.1.14 Unidad Generadora

Se puede definir como una unidad generadora, el conjunto conformado por los equipos: turbina hidráulica y generador conectados a través de un eje entre sí, la turbina convierte la energía cinética del agua que fluye, en energía mecánica. Un generador hidroeléctrico, convierte esta energía mecánica en electricidad debido a los principios descubiertos por Faraday, que encontró que cuando un imán se mueve, hace que la electricidad fluya.

El principio básico de la generación de energía hidroeléctrica, consiste en que la energía potencial gravitatoria es almacenada en el agua por encima de la represa. Debido a la altura del agua, esta llegará a las turbinas con mucha fuerza ejerciendo una alta presión sobre las mismas haciéndola girar y a su vez al rotor del generador, lo que significa que podemos extraer energía de ella, posteriormente esta energía es enviada a los transformadores que aumentan la tensión y la conectan a la red de distribución mientras el agua fluye por el cauce del río en su curso normal.

3.1.15 Mantenimiento

Mantenimiento es el conjunto de actividades que hay que ejecutar para conservar en óptimas condiciones la maquinaria, equipo e instalaciones de una empresa, para que ésta opere con la mayor eficiencia, seguridad y economía.

También se puede definir el mantenimiento, como el mecanismo idóneo con que cuenta la administración de una empresa para:

- Mantener las instalaciones y el equipo a estándares aceptables de rendimiento operativo y confiabilidad, haciendo un fuerte énfasis en los planes de mantenimiento preventivo.
- Optimizar la efectividad de la inversión en mantenimiento, mediante análisis de costo y planificación de vida útil.
- Maximizar la vida útil de los bienes de la empresa, productividad y eficiencia mediante planes pro-activos de planificación de mantenimiento y programación de recursos y control.

3.1.15.1 Tipos de Mantenimiento

Existen varios tipos o formas de mantenimiento, entre los más importantes están los siguientes:

3.1.15.2 Mantenimiento Correctivo

Es aquel que se ocupa de la reparación una vez se ha producido el fallo y el paro súbito de la máquina o instalación. Dentro de este tipo de mantenimiento podríamos contemplar dos tipos o enfoques:

- Mantenimiento paliativo o de campo (de arreglo): este se encarga de la reposición del funcionamiento, aunque sin atacar las fuentes que pudieron producir la avería.

- Mantenimiento curativo (de reparación): este se encarga de la reparación propiamente pero eliminando las causas que han producido la avería.

El mantenimiento correctivo no se puede eliminar en su totalidad, por lo tanto una gestión correcta extraerá conclusiones de cada parada e intentará realizar la reparación de manera definitiva, ya sea en el mismo momento o programando un paro, para que esa avería no se repita.

Es importante tener en cuenta en el análisis de la política de mantenimiento a implementar, que en algunas máquinas o instalaciones el mantenimiento correctivo será el sistema más rentable, si se tiene maquinaria que no interfiere directamente en la producción o si se tiene al operador de la maquinaria o equipo capacitado para realizar el mantenimiento, sin eliminar la fuente, ya que esto ahorra costos de mano de obra.

3.1.15.3 Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de bajar el costo del mantenimiento correctivo y todo lo que representa.

Consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina, la experiencia y los datos históricos obtenidos de las mismas.

Se desarrolla un programa de mantenimiento para cada máquina, donde se realizarán las acciones necesarias tales como: engrasar, cambiar cojinetes o fajas, etc.

3.1.15.4 Mantenimiento Predictivo

Esta clase de mantenimiento se basa en predecir la avería antes de que esta se produzca. Se trata de conseguir adelantarse a la avería o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas.

Para conseguir esto se utilizan herramientas y técnicas de monitorización de parámetros físicos fundamentalmente como por ejemplo: vibraciones, ruidos, temperaturas, etc.

La implantación de un programa de mantenimiento predictivo se justifica en aquellas empresas donde los paros imprevistos de la maquinaria ocasionan grandes pérdidas (industrias papeleras, farmacéuticas) o donde sea desea un alto nivel de seguridad (industrias de aviación, automóviles), ya que representa una elevada inversión inicial en equipos de termografía y analizadores de vibraciones así como en personal capaz de interpretar los datos que generan estos equipos.

3.1.16 Plan de Mantenimiento

Es una herramienta que agrupa todas las actividades de mantenimiento que deben ser realizadas en un sistema, en el plan de mantenimiento generalmente estas actividades se especifican con detalles que las caracterizan según su naturaleza y periodo de realización con el fin de facilitar una futura programación de actividades para conseguir la operación del sistema con más fluidez y menor indisponibilidad posible al sistema.

La ocasión perfecta para diseñar un buen mantenimiento programado que haga que la disponibilidad y la fiabilidad de una planta industrial sean muy altas, es durante la construcción de ésta. Cuando la construcción ha finalizado y la planta es entregada al propietario para su explotación comercial, el plan de mantenimiento debe estar ya diseñado, y debe ponerse en marcha desde el primer día que la planta entra en operación. Perder esa

oportunidad significa renunciar a que la mayor parte del mantenimiento sea programado, y caer en el error (un grave error de consecuencias económicas nefastas) de que sean las averías las que dirijan la actividad del departamento de mantenimiento.

3.1.16.1 Tipos de planes de Mantenimiento

Se puede de forma general decir que más que tipos básicos de planes de mantenimiento podría entenderse mejor como etapas del desarrollo de un plan de mantenimiento ya que observaremos que a medida que se acumula más experiencia con un determinado equipo podemos adecuar el plan de mantenimiento para que sea más eficiente y confiable a la hora de cumplir con su objetivo.

Entre los tipos de planes de mantenimiento se tienen:

- **Plan de Mantenimiento basado en las recomendaciones del fabricante:** Este plan de mantenimiento es utilizado principalmente cuando los equipos a los que se les diseña el plan de mantenimiento son nuevos o acaban de ser entregados a los operadores, por lo que estos, generalmente no tienen experiencia en la operación del equipo o no se dispone de herramientas como los historiales de datos de operación, factores que pudieran analizarse para basar las actividades en función de los resultados de dichos análisis de manera que el plan pudiese ajustarse más a la realidad de las necesidades de mantenimiento del equipo. Básicamente este plan radica en actividades señaladas por los fabricantes a través de cursos de capacitación al personal operador y manuales.

- **Plan de Mantenimiento basado en instrucciones genéricas y experiencia de los técnicos:** Éste tipo de plan de mantenimiento podría considerarse como la evolución o madurez del plan de mantenimiento antes mencionado (basado en recomendaciones del fabricante) ya que

consta en no solo tomar en cuenta las instrucciones establecidas para el mantenimiento por los fabricantes, sino que también se analiza las características operacionales pertenecientes a cada equipo conseguidas a través de la observación directa del funcionamiento de los equipos, otra forma de definir este plan de mantenimiento sería diciendo que es el plan resultante de la experiencia adquirida por los operadores al trabajar en el equipo durante cierto tiempo.

- **Plan de Mantenimiento basado en RCM:** El RCM o *Reliability Centered Maintenance* (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). Es una metodología para el desarrollo de un plan de mantenimiento basada en el análisis de fallos de la instalación. De los tres tipos de planes mencionados en esta investigación, basar un plan de mantenimiento en un exhaustivo análisis de fallos es sin duda la que mejores resultados puede dar, pues estará orientado a evitar los fallos que pueda tener la instalación.

  Cuando se habla de RCM o de la implementación de RCM se tiende a pensar en una metodología compleja y de difícil aplicación, nada más lejos de la realidad, con pocos recursos pero con un buen conocimiento de la instalación y algo de tiempo se puede desarrollar esta metodología y beneficiarse de sus excelentes resultados.

CAPÍTULO IV:

MARCO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y Diseño de la Investigación

4.1.1 Según el Tipo de la Investigación

Para la realización de esta investigación se utilizó un tipo de investigación **Exploratoria** y **Evaluativa**, ya que es necesario conocer, recopilar, explorar, registrar y analizar toda la información correspondiente e interpretar la naturaleza actual en la que se encuentra Casa de Máquinas I, para la realización del Plan de Mantenimiento de la Unidades Generadoras Rehabilitadas.

Comúnmente, se emplea este tipo de investigación en el inicio de cualquier proceso científico, cuando se quiere explorar algún tópico que ha sido tratado escasamente, por no tener mucha información sobre el o porque no se dispone de medios para llegar a mayor profundidad.

Es del tipo **Evaluativa** porque surge de la necesidad de diagnosticar el estado actual de las actividades que se realizan en la Unidad, con el fin de documentar los procedimientos más importantes para la toma de decisiones y la forma como se están haciendo y las posibles correcciones que se podrían implementar.

4.1.2 Según el Diseño de la Investigación

De acuerdo al tipo de Investigación planteado, el diseño de la investigación es de **Campo** y **Documental** ya que, según Balestrini (2006) “Estos diseños permiten establecer una interacción entre los objetivos y la realidad de la situación de campo; observar y recolectar datos directamente de la realidad, en su situación natural; profundizar en la compresión de los

hallazgos encontrados con la aplicación de instrumentos; y proporcionar al investigador una lectura de la realidad objeto de estudio más rica en cuanto al conocimiento de la misma, para plantear hipótesis futuras en otros niveles de investigación", (p 132).

También es de tipo **Documental** debido a que la fuente primaria de información son documentos el cual nos ayuda a la interpretación de los diversos manuales y el interés del investigador, es analizarlos como hechos en sí mismos o como documentos que brindan información sobre hechos, estamos en presencia de una investigación que podemos tipificar como de documental.

4.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Entre las técnicas e instrumentos de recolección de datos en esta investigación debemos destacar las siguientes:

- **Observación Directa:** Constituye la principal fuente de información, ya que permitió visualizar, conocer, corroborar y evaluar de primera mano cada una de las actividades y equipos a estudiar. Se realizaron visitas e inspecciones a los Equipos principales de la unidad con el fin de observar las condiciones en las que se encuentran operando en la actualidad.

- **Entrevistas no Estructuradas:** Para facilitar la obtención de información, opiniones, referencias y conocimientos técnicos, se realizaron entrevistas no estructuradas al personal que labora en el Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua, que permitieron la familiarización y la obtención de información necesaria, precisa y detallada de las actividades que se deben realizar en esta área para un mejor estudio del problema.

- **Revisión Documental**: Se revisaron textos, normas, catálogos, informes técnicos y manuales emitidos por el fabricante de los equipos, para la

comprensión y entendimiento de los equipos principales del departamento. Este estudio permitió definir los lineamientos para mejorar el diseño del plan de mantenimiento para las unidades generadoras rehabilitadas de casa de máquinas I.

- **Mesas de Trabajo:** Se realizaron reuniones con los expertos en el área de mantenimiento de la Unidad de Instrumentación y Control con la finalidad de generar una lista de actividades de mantenimiento para cada uno de los equipos principales del departamento, de este modo depuramos dicha lista dejando las actividades de mayor importancia y con mayor envergadura.

4.3 Población y Muestra

Para el desarrollo de la investigación y el logro de los objetivos, la población de estudio estuvo constituida por las Unidades Generadoras de Electricidad ubicadas en Casa de Máquinas I; esta población o universo de estudio estuvo conformada por seis (6) Unidades Generadoras.

De manera que las características de esta población son pequeña y finita, y en vista que son estructuras mecánicas que funcionan de igual manera se tomó como unidad de estudio la Unidad Generadora número 5 y la Unidad Generadora número 6 que son las únicas que se encontraban totalmente rehabilitadas dentro de la Casa de Máquinas.

Población: Para esta investigación la población estuvo conformada por 6 unidades generadoras tipo Francis en Casa de Máquinas I.

Muestra: Se tomaron para el estudio de esta investigación la muestra que son las Unidades Generadoras UG6 y UG5 que son las únicas que se encontraban totalmente rehabilitadas y en óptimas condiciones para el desarrollo de la investigación.

4.4 Procedimiento Metodológico

- Evaluar la situación actual de las condiciones operacionales de los equipos responsabilidad del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua.

  Se observó de manera directa el resultado de proceso de rehabilitación de las unidades generadoras; plasmando el resultado en un análisis detallado de dicha observación. El análisis se apoyó en información derivada de las revisiones documentales y de las entrevistas no estructuradas que se realizaron al personal involucrado con dicho proceso.

- Recopilar información existente en los manuales de los equipos entregados por el fabricante al Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua (MICM).

  Se revisaron los manuales emitidos por el fabricante de los equipos, para la comprensión y entendimiento de los equipos principales del departamento. Esta revisión fue de mucha importancia ya que se conoció de manera más específica el funcionamiento de cada uno de los equipos que están siendo sometidos al estudio y diseño del mantenimiento. También se revisaron manuales de mantenimiento de Casa de Máquinas II y III, los cuales sirvieron de gran ayuda para guiarnos en los componentes que conforman la Unidad Generadora.

- Analizar información emitida por el personal de la gerencia y mantenedor que labora dentro del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua (MICM).

  Se realizaron mesas de trabajo con el personal experto en mantenimiento de CORPOELEC, que permitieron recopilar toda la información de manera detallada de cómo se llevan a cabo los

Mantenimiento dentro la Empresa y los lineamientos que se deben seguir a la hora de su ejecución, también se extrajo en una lista los distintos componentes e instrumentación que contienen la excitatriz y el gobernador, de este modo podemos estar más familiarizados con cada uno de los equipos.

- Analizar el funcionamiento de los equipos de mayor criticidad de las unidades generadoras en el proceso de generación de energía eléctrica.

  Se logró revisando los planos del Complejo Hidroeléctrico y recolectando información de los manuales de las unidades generadoras; destacando los elementos involucrados en las diferentes etapas de generación, su relación con el proceso de rehabilitación y las partes que conforman cada equipo.

- Determinar las actividades de mantenimiento de los equipos críticos de una unidad generadora.

  Se diseñaron tablas descriptivas donde se ordenaron y clasificaron por equipo las actividades de mantenimiento que requieren las unidades. Se creó un grupo de trabajo con el personal del Departamento de Instrumentación y Control Macagua, para analizar las actividades que recomiendan los fabricantes de los equipos y determinar cuáles serán las pertinentes para un plan de mantenimiento que se ajuste a las necesidades de la empresa y los equipos.

- Diseñar las Instrucciones de trabajo para las unidades rehabilitadas en casa de máquinas I.

  Se diseñaron las instrucciones de trabajo con la ayuda de los experto en el área, ya que los mismo facilitaron toda la información pertinente para la elaboración de las instrucciones de los equipos en rehabilitación, donde se puede observar desde el equipo de protección que se debe

usar el personal mantenedor a la hora de realizar el mantenimiento, hasta los pasos a seguir para realizar el mantenimiento de cada uno de los diferentes equipos involucrados.

- Elaborar un de Plan de Mantenimiento para los equipos críticos del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua (MICM).

Se diseñó un formato único en el cual se detallaron las actividades caracterizadas en la fase anterior especificando la naturaleza de cada una de ellas, así como la periodicidad de su ejecución. Con la información que se obtuvo en los objetivos anteriores, sirvió de ayuda para completar cada uno de los parámetros dentro del plan de mantenimiento. Esto se contrastó con los requisitos exigidos por el fabricante de la unidad en lo relativo al mantenimiento.

CAPÍTULO V:

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Descripción de la situación actual operacional y de rehabilitación de la Casa de Máquinas I

5.1.1 Descripción del proceso de rehabilitación y su situación actual

En abril de 2005 la empresa CVG EDELCA, contrata los servicios de INELECTRA para que inicie un estudio denominado “Definición de Estrategia para la Operación Futura de Macagua I”, que dejo como resultado que el equipamiento electromecánico principal de la Central contaba con una vida remanente de aproximadamente 50.000 horas de operación, y los equipos secundarios auxiliares y de supervisión, habían superado su vida útil promedio, manifestando baja mantenibilidad, principalmente por la escasez de repuestos, además del riesgo inherente por el deterioro natural de los equipos y componentes. Por lo que se determinó que la alternativa más conveniente era la rehabilitación de las unidades generadoras de la Casa de Máquinas I y sus sistemas.

Los resultados del estudio previamente mencionado se evidenciaron luego en el “Análisis de la Frecuencia de Fallas en Unidades Generadoras de la Central Hidroeléctrica “Antonio José de Sucre” año 2001-2013, realizado por el Departamento de Ingeniería de Mantenimiento de Planta Macagua y el Centro de Investigaciones Aplicadas (CIAP) en 2013.

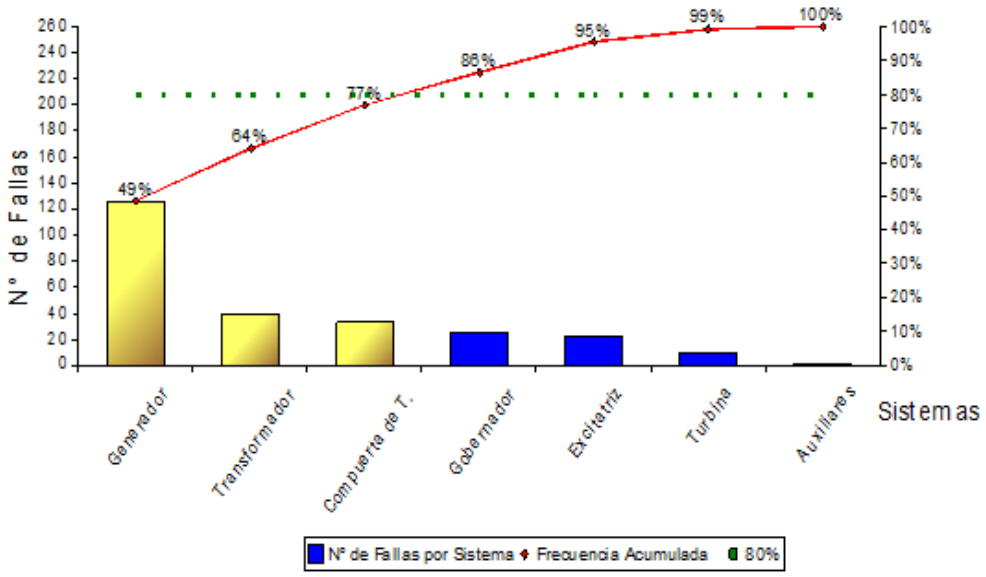


Grafico 1 Diagrama de Pareto de Fallas de CM1 2001-2013
Fuente: Archivo técnico CM2 Macagua

Se puede observar en el diagrama del Grafico 1, que los Sistemas que han presentado mayor cantidad de fallas en la CM1 a la fecha son: generador, transformador, compuerta de toma, gobernador y excitatriz. Siendo todos estos equipos considerados medulares en el proceso de generación eléctrica.

Los trabajos de rehabilitación serían supervisados por la operadora EDELCA actualmente filial de CORPOELEC y ejecutados por la empresa IMPSA. Los objetivos de este proyecto contemplaban, incrementar la potencia nominal (Mw) de seis (6) Unidades Generadoras, extender en 25 años la vida útil de todo el equipamiento, disminuir los costos de operación y mantenimiento y crear un parque tecnológico, a través de la construcción de laboratorios, que en su primera fase permitiría realizar ensayos de máquinas hidráulicas y ensayos electromagnéticos, asociados a las actividades medulares de la empresa.

Según el programa inicial de ejecución del proyecto de rehabilitación, para el año 2011, estaba proyectada la entrega de tres (3) unidades generadoras rehabilitadas, con una nueva capacidad de 80 Mw cada una, para el mes de febrero de 2011, la capacidad instalada de generación de la casa de máquinas I, estaba limitada, con dos (2) unidades generadoras de 60 Mw cada una indisponibles por rehabilitación y cuatro (4) unidades en operación sin rehabilitar, dejando a la casa de máquinas I, con una capacidad instalada de 240 Mw; 120 Mw menos de lo planificado en el Proyecto de Rehabilitación para ese año.

En el mes de mayo de 2012, el proyecto de rehabilitación hace entrega de la primera unidad de generación rehabilitada (UG5), la cual tuvo una ejecución de tres (3) años continuos desde su indisponibilidad (06 de abril de 2009), logrando la incorporación de 80 Mw al sistema interconectado, permitiendo una capacidad total instalada de generación en casa de máquinas I de 320 Mw, seguidamente en el año 2014 se hace la entrega de la unidad generadora (UG6), ya rehabilitada dejando ahora a la casa de máquinas con una capacidad instalada de 400 Mw, en resumen actualmente tenemos: Dos (2) unidades rehabilitadas de 80 Mw, cuatro (4) unidades por rehabilitar, según la planificación del proyecto de rehabilitación para este año se tenía previsto una generación total en casa de máquinas I de 480 Mw.

Desde el punto de vista financiero, el contrato inició con un monto básico de US$ 222.556.975,00, (DIR-8652), y al cierre del Addendum N° 7 (DIR-9906), ascendió a US$ 343.059.202,48, lo que considera el incremento de los montos básicos, escalación e imprevistos, del 54,14%.

5.1.2 Diagnostico de Fallas

A continuación se presenta un diagnóstico de las fallas encontradas en la Unidades Generadoras, con la ayuda del Diagrama Causa – Efecto o Diagrama de Ishikawa se puede identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de características de calidad, ilustra gráficamente las relaciones existentes entre un resultado dado (Efectos) y los factores (Causas) que influyen en dicho resultado. Seguidamente se presenta un Diagrama Causa – Efecto para las Malas Condiciones de las Unidades Generadoras Rehabilitadas de Casa de Máquinas I, en el cual se identifica y define con exactitud la situación que se quiere analizar.

Se procede a identificar las categorías que conforman el diagrama, es necesario definir los factores o agentes que dan origen a la situación estudiada, evento, fenómeno o problema que se quiere analizar y que hacen que se presente de una manera determinada. Cada categoría está identificada en el diagrama y se ubica independientemente:

a. Mano de Obra

b. Método

c. Material

d. Maquinaria

Planteadas estas categorías se procede a identificar cuáles serían las causas principales que darían origen a una falla en esa área:

a. Mano de Obra

- ✓ Personal
- ✓ Escases de Personal

- ✓ Contrato Colectivo
- ✓ Ausentismo por razones Personales

b. Métodos

- ✓ Falta de documentación
- ✓ Incumplimiento del Plan de Mantenimiento
- ✓ Falta de Plan de entrenamiento del Personal

c. Material

- ✓ Disponibilidad Inmediata de Repuestos
- ✓ Falta de Herramientas de trabajo
- ✓ Dependencia con la contratista
- ✓ Almacén

d. Maquinaria

- ✓ Falta de entrenamiento
- ✓ Poco conocimiento de las nuevas unidades

A continuación, se presenta el Diagrama Causa – Efecto de las Malas Condiciones de las Unidades Generadoras Rehabilitadas de Casa de Máquinas I. (Ver Figura 14)

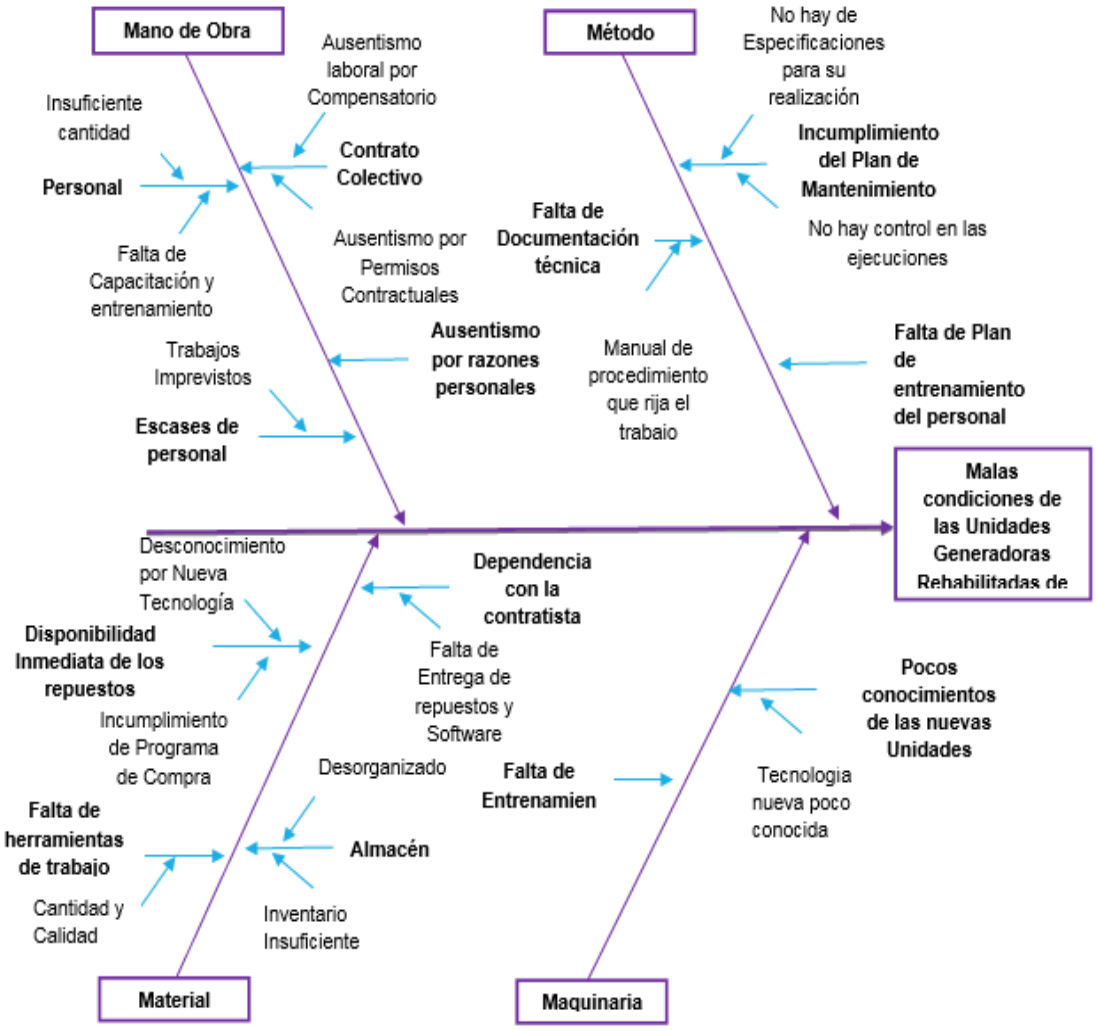


Figura 14 Diagnostico de Fallas. Malas Condiciones de las Unidades Generadoras Rehabilitadas de Casa de Maquinas I.
Fuente: Elaboración Propia

Una vez terminado el Diagrama Causa – Efecto, se hace un estudio para la cuantificación de los diversos puntos expuestos anteriormente, de este modo es más fácil saber cuál de los distintos aspectos estudiados representa mayor riesgo para las Unidades Rehabilitadas. A continuación se puede observar las distintas tablas las cuales nos explican los tipos de defecto que representa para el Departamento, los detalles de la Problemática y la frecuencia o incidencia juntos con sus porcentajes, que se presenta dentro del Departamento estos resultados fueron obtenidos de una secuencia de irregularidades que se vienen presentaron dentro del Departamento. (Ver Tabla 2, 3 y 4)

Tabla 2 Defectos que presenta la Unidad

Tipo de Defecto	Detalles de la Problemática
Falta de Personal	No hay suficiente personal en el departamento a la hora de realizar un mantenimiento imprevisto
Falta de Repuestos	Mantenimientos incumplidos por repuestos faltantes
Falta de Herramientas	Ejecución de mantenimiento cancelada por herramientas faltantes
Almacén Desatendido	Falta de organización en el almacén
Dependencia con la Contratista	No se entregan repuestos ni software a tiempo
Falta de Entrenamiento	Personal no capacitado en el área
Falta de Documentación Técnica	Manual técnico no cumple con los requisitos
Poco conocimiento de la nueva tecnología	Falta de familiarización con las nuevas unidades
Ausentismo por razones personales	Personal faltante en el Departamento

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3 Frecuencia que presentan los Defectos

Tipo de Defecto	Detalles de la Problemática	Frec.
Falta de Personal	No hay suficiente personal en el Departamento a la hora de realizar un mantenimiento imprevisto	10
Falta de Repuestos	Mantenimientos incumplidos por repuestos faltantes	26
Falta de Herramientas	Ejecución de mantenimiento cancelada por herramientas faltantes	15
Almacén Desatendido	Falta de organización en el almacén	32
Dependencia con la Contratista	No se entregan repuestos ni software a tiempo	18
Falta de Entrenamiento	Personal no capacitado en el área	8
Falta de Documentación Técnica	Manual técnico no cumple con los requisitos	10
Poco conocimiento de la nueva tecnología	Falta de familiarización con las nuevas unidades	9
Ausentismo por razones personales	Personal faltante en el Departamento	7
Total		**135**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4 Porcentaje que representa los Defectos

Tipo de Defecto	Detalles de la Problemática	Frec.	%
Falta de Personal	No hay suficiente personal en el Departamento a la hora de realizar un mantenimiento imprevisto	10	7,4
Falta de Repuestos	Mantenimientos incumplidos por repuestos faltantes	26	19,2
Falta de Herramientas	Ejecución de mantenimiento cancelada por herramientas faltantes	15	11,1
Almacén Desatendido	Falta de organización en el almacén	32	23,7
Dependencia con la Contratista	No se entregan repuestos ni software a tiempo	18	13,3
Falta de Entrenamiento	Personal no capacitado en el área	8	5,9
Falta de Documentación Técnica	Manual técnico no cumple con los requisitos	10	7,4
Poco conocimiento de la nueva tecnología	Falta de familiarización con las nuevas unidades	9	6,6
Ausentismo por razones personales	Personal faltante en el Departamento	7	5,1
Total		**135**	**100**

Fuente: Elaboración Propia

En el siguiente grafico se puede observar de forma más clara y con la ayuda del Diagnóstico del Diagrama Causa – Efecto, cual es el área que representa mayor riesgo para la organización, ya que las mismas sacaron la mayor cantidad de incidencia y porcentaje, dicha categoría es la de **Material** donde se encuentran involucradas las siguientes causas: Falta de Repuestos, Falta de Herramientas, Almacén desatendido y Dependencia con la contratista, por lo tanto, se recomienda hacer mejoras en esta parte, puesto que es evidente que es la categoría que presenta mayor deficiencia y por esta razón se ocasionan retrasos a la hora de realizar un Mantenimiento y el personal mantenedor no cuenta con los recursos necesarios para el desarrollo de dichas actividades. (Ver Gráfico 2); (Ver Tabla 5)

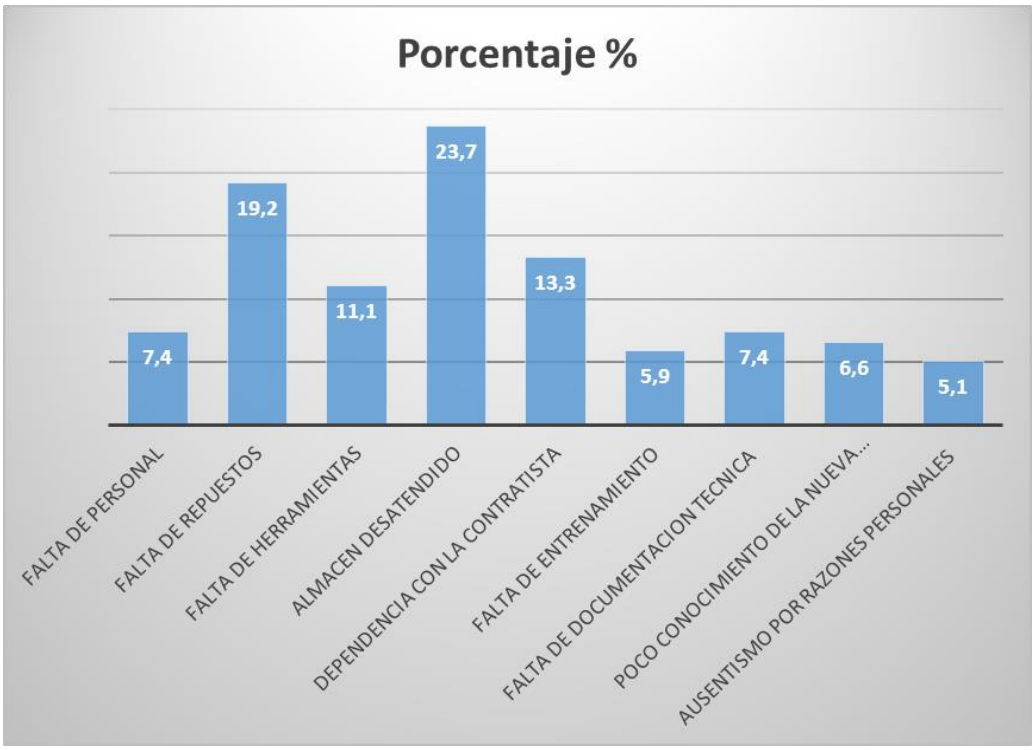


Grafico 2 Representación de los Defectos de las Unidades
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5 Frecuencia y Porcentaje ordenado de mayor a menor

Tipo de Defecto	Detalles de la Problemática	Frec.	%
Almacén Desatendido	Falta de organización en el almacén	32	23,7
Falta de Repuestos	Mantenimientos incumplidos por repuestos faltantes	26	19,2
Dependencia con la Contratista	No se entregan repuestos ni software a tiempo	18	13,3
Falta de Herramientas	Ejecución de mantenimiento cancelada por herramientas faltantes	15	11,1
Falta de Personal	No hay suficiente personal en el departamento a la hora de realizar un mantenimiento imprevisto	10	7,4
Falta de Documentación Técnica	Manual técnico no cumple con los requisitos	10	7,4
Poco conocimiento de la nueva tecnología	Falta de familiarización con las nuevas unidades	9	6,6
Falta de Entrenamiento	Personal no capacitado en el área	8	5,9
Ausentismo por razones personales	Personal faltante en el Departamento	7	5,1
Total		**135**	**100**

Fuente: Elaboración Propia

5.1.3 Descripción de las operaciones de Mantenimiento en la Casa de Máquinas I

Teniendo en cuenta que la Casa de Máquinas I Macagua, está siendo sometida actualmente a un proceso de rehabilitación que afecta directamente muchas de sus operaciones diarias, es importante que expliquemos como son realizadas actualmente las actividades de mantenimiento para esta.

Si bien se tenía planificado terminar el proyecto de rehabilitación y hacer entrega de las 6 unidades generadoras rehabilitadas en el año 2013, la realidad es que el programa está retrasado lo que crea una mezcla de unidades no rehabilitadas y rehabilitadas que genera mucho tráfico de personal, recursos y herramientas dentro de la planta, esto se debe a las operaciones de mantenimiento de las unidades antiguas, las actividades

contempladas en el proyecto de rehabilitación de la unidad 4 y las actividades de mantenimiento de la unidad rehabilitada.

CORPOELEC programa sus actividades de mantenimiento basándose en tres herramientas:

- Plan de Mantenimiento: Es la herramienta que identifica las actividades de mantenimiento y sus características, que deberían hacerse en materia de mantenimiento a las unidades generadoras. El responsable del desarrollo del plan es el Departamento de Ingeniería de Mantenimiento Macagua y este debe tomar en cuenta todas las actividades críticas, ya que estas son las que generan cierto grado de indisponibilidad por lo tanto deben ser estudiadas para determinar el impacto de estas para la operación del complejo y la generación de electricidad para así poder planificar su ejecución tomando en cuenta dichos impactos.

- Estándar de Mantenimiento: Esta herramienta es el producto del estudio del plan de mantenimiento, ahora tomando en cuenta lo que va a hacerse en materia de mantenimiento a la unidad. Se toman en cuenta factores como prelaciones entre actividades, procedimientos generales para la ejecución del mantenimiento y fechas precisas de ejecución de las actividades. Podemos ver el plan de mantenimiento como lo que debería hacerse y el estándar como ¿que se va a hacer? y ¿cuando?

- Programación Rutinaria de actividades de Mantenimiento: Cada departamento encargado del mantenimiento de las unidades generadoras diseña un programa de actividades de mantenimiento según sus responsabilidades. Esta herramienta toma en cuenta actividades rutinarias que no ameritan de una parada para ser realizadas y las actividades programadas que si ameritan la parada de la unidad generadora.

Se puede observar una descripción de estas herramientas: (Ver Tabla 6)

Tabla 6 Cuadro descriptivo de herramientas para la planificación del Mantenimiento utilizadas en CORPOELEC.

HERRAMIENTA PARA LA PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES QUE ABARCA	NIVEL DE DETALLE DE LA ACTIVIDAD	PROGRAMA LAS ACTIVIDADES EN CALENDARIO	DEPARTAMENTO RESPONSABLE DE LA ELABORACIÓN DE LA HERRAMIENTA
PLAN DE MANTENIMIENTO	Actividades de mantenimiento que crean indisponibilidad	Alto, se enfoca en describir la actividad de mantenimiento	NO	Ingeniería de mantenimiento
ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO	Actividades de mantenimiento que crean indisponibilidad	Alto, se enfoca en el procedimiento y orden en la ejecución de la parada	NO	Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua
PROGRAMACIÓN RUTINARIA DE MANTENIMIENTO	Actividades de menor envergadura, no implica detener la unidad	Alto, describe la actividad con gran detalle	SI	Todos los departamentos mantenedores
PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD	Actividades de las unidades generadoras que crean indisponibilidad	Alto, describe la actividad con gran detalle	SI	Todos los departamentos mantenedores

Fuente: Elaboración Propia

Las actividades de mantenimiento de la UG5 y la UG6, son realizadas por el personal de la División de Planta Macagua con la dirección de los fabricantes de la unidad, ya que aún se encuentra bajo el periodo de

garantía, cabe destacar que dichas actividades no son muy frecuentes debido al poco tiempo de servicio que tiene la unidad.

CORPOELEC aún no tiene un plan de mantenimiento establecido que pudiese aplicar cuando expire la garantía del equipo y tenga que enfrentar la operación del mismo bajo su completa responsabilidad.

5.2 Análisis del funcionamiento de los equipos de mayor criticidad de las Unidades generadoras de Casa de Máquinas I

Actualmente en la casa de máquinas I, existen 6 unidades generadoras tipo Francis, de las cuales dos han sido rehabilitadas (UG5) y (UG6), y las tres restantes (UG1, UG2 y UG3) están en operación y en espera de entrar al programa de rehabilitación la UG4 se encuentra en estos momentos desincorporada y fuera sistema interconectado nacional ya que la misma se encuentra en rehabilitación.

Se determinó que el alcance del proyecto de rehabilitación estaría dirigido hacia las unidades generadoras con sus respectivos equipos principales y auxiliares, sin alterar la obra civil de la planta. Específicamente los equipos que se rehabilitan en la casa de máquinas I son los siguientes:

- Generador
- Turbina
- Excitatriz
- Gobernador
- Compuerta de toma
- Sistemas de control y Auxiliares.

Todos estos equipos serían suministrados por la empresa IMPSA, fabricante de los equipos antes señalados, a continuación explicaremos el

funcionamiento de una unidad rehabilitada en la Casa de Máquinas I, ubicadas en la Central Hidroeléctrica Antonio José de Sucre en Macagua, además de las partes que las conforman.

Se puede observar un plano de CM1 señalando 5 etapas a lo largo del sistema representado. (Ver Figura 14)

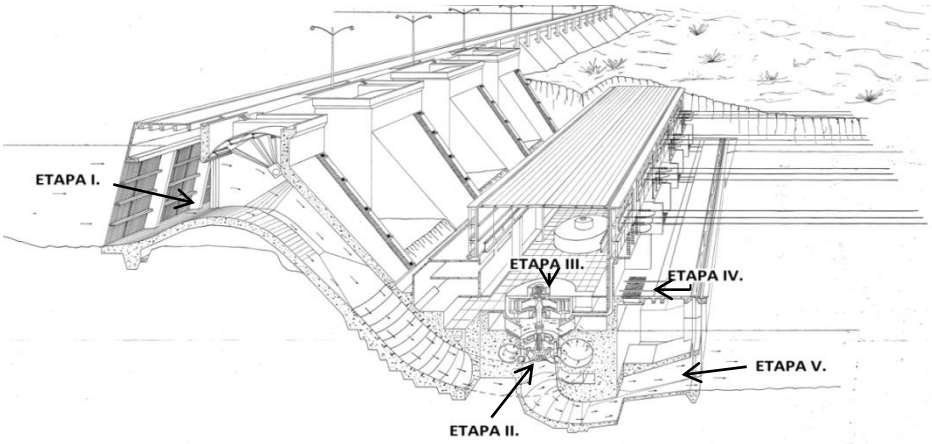


Figura 12 Corte transversal de la casa de máquinas I
Fuente: Archivo técnico CM2 Macagua.

La etapa I ubicada aguas arriba de la presa, se denomina etapa de toma, conformada por la compuerta de toma, la tubería de presión o forzada, reja anti basura, grúa pórtico y embalse. Su equipo medular es la compuerta de toma, cuyo objetivo principal es permitir la entrada del agua hacia el sistema de generación a través de la tubería forzada de manera controlada.

El agua al abandonar la tubería forzada entra a la etapa II del proceso de generación que hemos denominado etapa de transformación de la energía, su equipo medular es la turbina y está conformada por cámara espiral, rodete, eje, conjunto de paletas fijas y móviles o directrices y tubo aspirador, de igual manera el gobernador se ubica en esta etapa del proceso y se considera como un elemento de control de la turbina. El agua entra en primera instancia a la cámara espiral, cuya función es controlar la presión del

agua mientras circula en la turbina, el conjunto de paletas directrices sirven como elementos direccionales del agua para dirigirla de la cámara espiral hacia el conjunto de paletas fijas ubicadas en el rodete haciéndolo girar y de igual manera al eje de la turbina, básicamente la función de la turbina es convertir la energía cinética del agua en energía mecánica capaz de hacer girar al rotor del generador.

La etapa III se denomina etapa de generación, teniendo al generador como su equipo medular y el sistema de excitación como un equipo complementario. El Generador está conformado por el rotor, estator y eje, este último y el eje de la turbina están conectados entre sí por lo que la energía mecánica producida por la turbina es transmitida también al rotor haciendo que este gire, el estator como su nombre lo indica es un elemento estático que rodea al rotor, la interacción de estos elementos crea un campo magnético producto de la aplicación de una corriente continua por medio del sistema de excitación al rotor, lo cual sumado a su movimiento rotativo provoca la inducción de una tensión en el estator que hará circular una gran corriente alternada una vez conectada al sistema.

La etapa IV del proceso se denomina etapa de transformación. Conformada por las líneas de transmisión y su equipo medular el transformador, su función es la de elevar la tensión que deja el generador y conectar a la unidad de generación al sistema eléctrico Nacional para su distribución.

La etapa V del proceso de generación denominada etapa de descarga, ubicada aguas abajo de la presa, está conformada por un sub equipo del grupo que conforma la turbina, específicamente el tubo aspirador, además de la grúa pórtico y el canal de descarga. Esta etapa básicamente se basa en la extracción del agua utilizada en el proceso de generación del sistema.

Después de realizar reuniones con los responsables de la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control de la División Planta Macagua de CORPOELEC y analizando el funcionamiento de la unidad, se determinó que los equipos de mayor importancia que se encuentran bajo su responsabilidad en el proceso de generación son los siguientes:

- Gobernador
- Sistema de Excitación

5.3 Determinación de las Actividades de Mantenimiento de los equipos críticos de las Unidades Generadoras

Debido a que el Diseño de un Plan de Mantenimiento está basada en las recomendaciones del fabricante de los diversos equipos, se realizó un exhaustivo análisis de los manuales de operación y mantenimiento emitidos por el mismo, los documentos mencionados existen para cada equipo que conforman la unidad generadora no obstante para este trabajo se tomaron en cuenta los siguientes:

- Sistema de Excitación:
    - Título: “Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Excitación” Código: 101-CM1-E-EXC-DO-4012.
- Gobernador:
    - Título: “Manual de Operación y Mantenimiento del Gobernador” Código: 101(CM1) M-GOB-DO-2985.

Estos manuales en su mayoría bastante extensos explican las generalidades que caracterizan cada equipo, desde su funcionamiento y elementos que los conforman hasta las precauciones a nivel de seguridad operacional y las recomendaciones para mantener el equipo. Es muy

importante indicar ciertas particularidades en la manera en las que el fabricante presenta las recomendaciones, estas serán analizadas a continuación:

- La empresa operadora no está obligada a realizar las actividades de mantenimiento al pie de la letra, ya que esto dependerá de las políticas de mantenimiento de cada empresa, de hecho queda claro en los manuales que la gran mayoría de actividades pueden ser reacomodadas a medida que se avanza en el tiempo y se obtiene más experiencia en la operación del equipo salvo algunas en las que se realizan las observaciones.

- El fabricante como responsable del diseño y fabricación del equipo también, tiene la responsabilidad de establecer la frecuencia en la que se debe realizar una actividad de mantenimiento, recomendada para los primeros años de operación ya que son estos (los fabricantes) el personal más calificado para trabajar los equipos.

A través de los diferentes equipos seleccionados para esta investigación las bases de tiempo con las que se representan las frecuencias de las actividades de mantenimiento en los manuales no son las mismas, un ejemplo, es que las actividades de mantenimiento del generador se presentan en un periodo de tiempo establecido por las horas de servicio de la unidad, y la del sistema de excitación se presentan de modo semestral. Esto llevo a tomar una serie de decisiones durante el diseño de la propuesta como la conversión de las unidades para unificar los periodos, en bases de tiempo similares para poder agrupar las actividades de mantenimiento que pertenecen a la misma gama y poder determinar así las diferentes paradas recomendables de la unidad.

Se realizó una mesa de trabajo con los mantenedores del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control planta Macagua, para depurar el listado de actividades de mantenimiento recomendadas en los manuales.

El número de actividades de mantenimiento es bastante extenso por lo que para recoger dichas actividades se decidió diseñar una matriz que ordenara las actividades según diversas características. (Ver Tabla 7)

Tabla 7 Formato para la recolección de actividades de mantenimiento por equipo

Nombre del equipo						
Sub equipo	**Actividad**	**Departamento responsable**	**Frecuencia**	**Duración estimada**	**Pertinente para el plan de mtto.**	**Observaciones**

Fuente: Elaboración Propia

El formato consta de siete parámetros, el sub equipo, actividad, departamento responsable, frecuencia, duración estimada, pertinente para el plan de mantenimiento y observaciones. A continuación explicaremos cada uno:

- Sub Equipo: Cada sistema está conformado por equipos principales o medulares que trabajan en conjunto para cumplir con el objetivo principal del sistema o producir un resultado, a su vez cada equipo está compuesto por sub equipos. Cuando hablamos de la generación de electricidad a través de un conjunto generador y turbina establecemos ese conjunto mencionado como el sistema principal, consecuentemente los equipos de ese sistema están determinados por el generador, turbina, otros. Ahora bien la turbina está conformada por diversos elementos

como el eje de la turbina, las paletas directrices, entre otros, siendo estos elementos los sub equipos del sistema.

- Actividad: Hemos mencionado en repetidas ocasiones que los fabricantes recomiendan diversas actividades de mantenimiento para garantizar el funcionamiento y la disponibilidad del equipo. Este parámetro recoge el nombre con el que el fabricante hace referencia a una actividad de mantenimiento, por ejemplo: inspección visual, verificación de estanqueidad, entre otros. Actividad que consecuentemente se relaciona con un sub equipo del equipo en estudio a través del formato diseñado.

- Departamento responsable: En la gerencia de Planta Macagua, Centro de Generación Sur, de CORPOELEC, existen diferentes Departamentos que trabajan en las operaciones día a día de la Empresa, específicamente en las operaciones de mantenimiento podemos encontrar a los siguientes:

    - Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua (MICM)

Cada uno de los Departamentos tienen diversas responsabilidades en las actividades de mantenimiento de las unidades generadoras, estas están determinadas por un documento emitido por la empresa denominado “Matriz de responsabilidad de departamentos de la Gerencia de Planta Macagua, Centro de Generación Sur, de CORPOELEC”, para cada actividad se determinara que departamento será responsable de su ejecución en función de este documento.

- Frecuencia: Establece el periodo de tiempo en el que se recomienda realizar la actividad de mantenimiento.

- Duración estimada: Aquí hacemos referencia al tiempo que se estima durara la ejecución de la actividad. Este tiempo fue determinado con la ayuda de una mesa de trabajo conformado por representantes mantenedores del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control planta Macagua, basándonos en su experiencia en trabajos realizados en unidades similares. Cabe destacar que este parámetro no es exacto, particularidad que comentaremos en las conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

- Pertinente para el Plan de Mantenimiento: Este parámetro es de mucha importancia para el diseño de la propuesta del plan, si bien la mayoría de las actividades que recomiendan los fabricantes en diversos periodos de tiempo son de bastante relevancia, en algunos casos debido a los procedimientos para realizarlas, involucran un trabajo de bastante envergadura poniendo en juego la disponibilidad de la unidad y sin que en algunos casos dicha actividad sea necesaria del todo.

- Observaciones: Área determinada para justificar ciertos cambios o particularidades en una actividad.

A continuación se muestra los resultados obtenidos en cuanto a las actividades de mantenimiento que recomiendan los fabricantes de los equipos a los que se les diseñará la propuesta de plan de mantenimiento. (Ver Tabla 8 y 9).

Tabla 8 Actividades de Mantenimiento recomendadas por el fabricante para el Sistema de Excitación.

Nombre del equipo		SISTEMA DE EXCITACION				
Sub equipo	**Actividad**	**Departamento responsable**	**Frecuencia**	**Duración estimada**	**Pertinente para el plan mtto**	**Observaciones**
Gabinetes	Inspección visual	MICM	semestral	0.25 Hr.	SI	N/A.
	Limpieza Externa y aseo de filtros de puertas	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Aseo exhaustivo del interior de todos los gabinetes	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Ajuste de conexiones de ser necesario	MICM	semestral	0.25 Hr.	SI	N/A.
	Medición de tensiones de alimentación	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
Instrumentos	Inspección Visual	MICM	semestral	0.25 Hr.	SI	N/A.
	Verificación de lecturas	MICM	semestral	0.25 Hr.	SI	N/A.
	Verificar ajuste de conexiones de ser necesario	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
Transductores	Inspección Visual	MICM	semestral	0.25 Hr.	SI	N/A.
	Limpieza Externa	MICM	semestral	0.25 Hr.	SI	N/A.
	Verificación de Indicación	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
Controlador Lógico Programable (PLC) Instrumentos	Limpieza Externa	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Inspección visual del estado de la Batería	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Verificar ajuste de conexiones de ser necesario	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
Excitación Inicial	Inspección Visual	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Limpieza	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Ajuste de conexiones de ser necesario	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
Puente Rectificadores	Inspección Visual	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Verificar conmutación	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
Instrumentación transformador de Excitación	Inspección Visual	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Ajuste de conexiones de	MICM	semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.

	ser necesario					

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Se realizan pruebas funcionales del sistema de Excitación una vez concluido el mantenimiento de los sub equipos.

Tabla 9 Actividades de Mantenimiento recomendadas por el fabricante para el Gobernador.

Nombre del equipo		**GOBERNADOR**				
Sub equipo	**Actividad**	**Departamento responsable**	**Frecuencia**	**Duración Estimada**	**Pertinente para el plan de mtto.**	**Observaciones**
Cubículo +CE-GOB	Inspección visual	MICM	Semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Limpieza Externa y aseo de filtros de puertas	MICM	Semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
	Aseo exhaustivo del interior de todos los gabinetes	MICM	Semestral	0.5 Hr.	SI	N/A.
Fuente de Alimentación	Medir tensión de la alimentación	MICM	Semestral	0.25 Hr.	SI	N/A.
	Medir corriente de alimentación y de carga	MICM	Semestral	0.25 Hr.	SI	N/A.
Fusible	Medir corriente	MICM	Semestral	0.25 Hr.	SI	N/A.
	Verificar conexiones de ser necesario	MICM	Semestral	0.75 Hr.	SI	N/A.
	Hacer limpieza	MICM	Semestral	0.75 Hr.	SI	N/A.
Cableado	verificar calentamiento	MICM	Semestral	1 Hr.	SI	N/A.
	Hacer limpieza y Verificar conexiones de ser necesario	MICM	Semestral	1 Hr.	SI	N/A.
Relés auxiliares y acopladores ópticos	Verificar calentamiento	MICM	Semestral	0,3 Hr.	SI	N/A.
	Verificar el correcto funcionamiento	MICM	Semestral	0,3 Hr.	SI	N/A.
	Hacer limpieza	MICM	Semestral	0,3 Hr.	SI	N/A.
	Verificar conexiones de ser necesario	MICM	Semestral	0,3 Hr.	SI	N/A.
Pulsadores de comando y dispositivos de	Verificar el correcto funcionamiento	MICM	Semestral	1 Hr.	SI	N/A.
	Hacer limpieza	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.

señalización	Verificar conexiones	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
Pick ups inductivos	Hacer limpieza	MICM	Semestral	0,25 Hr.	SI	N/A.
	Verificar conexiones eléctricas de ser necesario	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
	Verificar soporte de ser necesario	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
Transductor de posición del distribuidor	Limpieza general	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
	Verificar conexiones de ser necesario	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
	Limpieza del vástago del sensor	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
Transductor de posición Angular	Limpieza general	MICM	Semestral	0,25 Hr.	SI	N/A.
Display grafico (IHM)	Limpieza general	MICM	Semestral	0,25 Hr.	SI	N/A.
Transductor de Presión	Verificar ajuste y funcionamiento	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
	Limpieza General	MICM	Semestral	0,25 Hr.	SI	N/A.
Pasadores Rompibles	Limpieza general	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
	Verificar ajuste de los tornillos de fijación	MICM	Semestral	2 Hr.	SI	N/A.
Controlador lógico Programable PLC	Limpieza Externa	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
	Inspección visual del estado de la Batería	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.
	Verificar ajuste de conexiones de ser necesario	MICM	Semestral	0,5 Hr.	SI	N/A.

Fuente: Elaboración Propia

5.4 Diseño de las Instrucciones de trabajo para las unidades rehabilitadas en Casa de Máquinas I

Las instrucciones de trabajo son empleadas dentro de la Empresa para llevar un orden de cada una de las actividades que se van a ejecutar en cada uno de los distintos mantenimiento, la mayoría de las veces las instrucciones de trabajo poseen parámetros que pueden variar como otros que no lo hacen. Entre los distintos parámetros que se pueden observar dentro de una instrucción de trabajo son los equipos de protección personal que se van a

emplear en el trabajo, los materiales o equipos de prueba, las condiciones específicas en la que se debe encontrar la unidad generadora antes de realizar las actividades de mantenimiento, la logística requerida para la actividad y la descripción de la actividad que es el parámetro con mayor importancia dentro de las instrucciones de trabajo debido a que el mismo especifica de manera detallada que hacer y cómo trabajar con cada una de las unidades generadoras.

A continuación se puede ver las Instrucciones de Trabajo del Gobernador y del Sistema de Excitación de las unidades rehabilitadas de Casa de Máquinas I. (Ver Tabla 10 y 11)

Tabla 10 Formato para la presentación de las Instrucciones de Trabajo del Gobernador

CORPOELEC EMPRESA ELÉCTRICA SOCIALISTA	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO
MANTENIMIENTO DEL GOBERNADOR	

DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUCCIÓN

PRECAUCIONES Y CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Condiciones Generales

- Utilizar el formulario Análisis de Trabajo seguro (ATS) correspondiente, acatando las medidas preventivas y utilizando los implementos de seguridad que se especifiquen en el mismo.
- No Fumar durante la jornada de trabajo.
- Mantener orden y limpieza en el área de trabajo.
- Acatar la señalización de seguridad del área.
- Utilizar el equipo de protección personal recomendado para la actividad.

Condiciones Especificas

- Unidad Generadora Parada.
- Enclavamiento aplicado (realizar verificación conjuntamente con operador).
- Chaqueta instalada (realizar verificación conjuntamente con operador).
- Bombas de alta presión BACP en modo fuera.
- Área de trabajo debidamente iluminada.

Equipos de Protección Personal

- Casco de seguridad.
- Botas de seguridad.
- Lentes de seguridad.
- Mascarillas.

Logística Requerida para la Actividad

- Tener disponibilidad de vehículo para el traslado del personal a CM1.
- Preparar los equipos y/o herramientas con media (½) hora de anticipación.
- El área de trabajo no debe dedicarse a otros objetivos diferentes de los previstos

Materiales, Equipos y Herramientas

- Un multímetro digital, con certificado de calibración vigente.
- Pinzas Amperimetrica AC, DC.
- Llave para abrir +CE GOB.
- Maleta de herramientas.
- Sopladora, trapos, limpiador de superficies y limpia contacto.
- Diagrama Eléctrico PL 2101
- Conjunto cubículo electrónico PL 2110.

Descripción de la Actividad

Mantenimiento Preventivo Semestral

1. Abra el permiso de trabajo correspondiente para la realización del mantenimiento anual del tablero +CE GOB de la unidad y conjuntamente con el operador de turno verifique que todas las precauciones para realizar el trabajo han sido tomadas.
2. Con la llave del +CE GOB proceda abrir el panel para realizar el mantenimiento, ubicado en el nivel 10.00 msmm de casa de máquinas 1.
3. Utilizando la sopladora, limpiador de superficie y trapos proceda a realizar una limpieza general a todo el tablero.
4. Realice revisión de conexiones, cableado, relés y demás componentes del tablero. Ajuste cableado y sustituya los relés que presenten evidencias de desgaste.
5. Realice el mantenimiento al transductor de potencia del +CE GOB. Sustituya componentes electrónicos que presenten evidencias de desgaste.
6. Sople con cuidado la fuente de alimentación G01 y G02. Si esta fuente presenta acumulación de polvo proceda a realizarle mantenimiento.
7. Verifique los parámetros de la fuente de alimentación.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11 Formato para la presentación de las Instrucciones de Trabajo del Sistema de Excitación

CORPOELEC EMPRESA ELÉCTRICA SOCIALISTA	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO
MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN	

DESCRIPCION DE LA INSTRUCCIÓN

PRECAUCIONES Y CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Condiciones Generales

- Utilizar el formulario Análisis de Trabajo seguro (ATS) correspondiente, acatando las medidas preventivas y utilizando los implementos de seguridad que se especifiquen en el mismo.
- No Fumar durante la jornada de trabajo.
- Evitar correr durante la ejecución de la actividad.
- Mantener orden y limpieza en el área de trabajo.
- Acatar la señalización de seguridad del área.
- Utilizar el equipo de protección personal recomendado para la actividad.

Condiciones Especificas

- Unidad Parada e Indisponible.
- Abierto y despejado el interruptor D90 del Generador.
- Abierto y bloqueado el seccionador D93
- Tener en cuenta que dentro del Cubículo de Excitación hay equipos energizados.
- En el cabinete **TEXC.#.1** Verificar ausencia de tensión ac 480 v ac los terminales 2,4,6 del interruptor termomagnetico Q006.01 y Q006.02 (Alimentaciones provenientes del tablero TDAU.# para la Excitación inicial)**.**

Equipos de Protección Personal

- Casco de seguridad.
- Botas de seguridad.

- Mascarilla antipolvo.

Logística Requerida para la Actividad

- Preparar los equipos y/o herramientas con media (½) hora de anticipación.
- El área de trabajo no debe dedicarse a otros objetivos diferentes de los previstos.

Materiales, Equipos y Herramientas

- Una extensión eléctrica.
- Un limpiador de Superficie.
- Un multímetro digital
- Una Escalera
- Una Brocha
- Dos radios punto a punto.
- Un KIT de herramientas
- Una Sopladora.
- Medio kilogramo de trapo de limpieza.
- Diagramas de Circuito del sistema de Excitación 101(CM1)E-EXC-DO-4003.
- Distribución de elementos de los tableros de Excitación 101(CM1)E-EXC-DO-4004.

Descripción de la Actividad

Mantenimiento Preventivo Semestral

Gabinetes

1. Verificar si se encuentra ubicado en la Excitatriz de la Unidad a la cual se le va a realizar el mantenimiento.
2. En el cabinete **TEXC.#.1** Verificar ausencia de tensión 480 v ac los terminales 2, 4, 6 del interruptor termomagnetico Q006.01 y Q006.02 (Alimentaciones provenientes del tablero TDAU.# para la Excitación inicial)**.**
3. Se recomienda que el personal de Mantenimiento de planta física limpie previamente el techo que se encuentra sobre el tablero de la excitatriz y el TCU, antes de que el personal realice cualquier tipo de Mantenimiento.
4. Inspeccione el interior de los cubículos y alrededor de la excitatriz, verificando la no existencia de anomalías tales como, manchas por goteras, golpes, componentes dañados, cables sueltos y olores anormales.

5. Retire con sumo cuidado cada uno de los filtros que se encuentran en las puertas frontales y posteriores de los gabinetes, aspirar los elementos filtrantes, con la ayuda de agua y detergente lavar cada uno de los filtros y ponerlos al aire libre para secarlos previo a su instalación.

6. Limpie interna y externamente, incluyendo el techo de todos los cubículos del tablero.

   6.1 Inicie la limpieza soplando los cubículos TEXC.#.1, TEXC.#.2 y TEXC.#.3 de arriba hacia abajo, luego pase la brocha por los equipos, regletas y piso. Seguidamente aspire la parte inferior de los cubículos.

NOTA: NO SOPLAR LOS CABLES NI LAS UNIONES DE LOS CABLES DE FIBRA OPTICA QUE VAN DE LAS TARJETAS RAC100 HACIA LOS PUENTES DE TIRISTORES, YA QUE PUDIERA ENTRAR POLVO A LAS UNIONES Y GENERAR FALLAS EN LOS PULSOS DE DISPARO.

7. En los cubículos TEXC.#.1, limpie con un trapo seco las barras y aisladores.

8. Limpie la cara externa e interna de las puertas y paredes de los cubículos, retirando el polvo con un trapo seco y luego aplique limpiador de superficie con otro trapo limpio.

9. Revise y ajuste si es necesario, componentes y conexiones de los tableros de excitación, incluyendo el conexionado de puesta a tierra en las puertas de los gabinetes.

10. Verificar los niveles de tensión de alimentación externa AC y DC, midiendo los puntos de conexión. En el tablero TEXC.#.4 bornera X2 terminales 5 y 6 debe medir aproximadamente 120 v AC proveniente del tablero TDAU. En el tablero TEXC.#.4 en la bornera X2 terminales 1 y 2; 3 y 4 debe medir aproximadamente 125 v DC donde los terminales 1 y 3 deben ser los positivos, esta alimentación proviene del tablero TD-125-#.

11. En el tablero TEXC.#.4 verificar la operación de las fuentes de alimentación de 125v DC a 24v DC, midiendo en la fuentes de alimentación A023.02; A023.03 en sus terminales de salida una tensión aproximada de 24v DC.

Instrumentos

12. En el tablero TEXC.#.2 y en el tablero TEXC.#.3 indicadores P011.04, P011.06, P011.08 y P016.04 indiquen aproximadamente cero 0, en vista que la excitatriz se encuentra parada.

13. En el tablero TEXC.#.4 verifique que los indicadores locales P035.01, P035.02, P027.02, P028.02 indiquen aproximadamente cero 0, en vista que la excitatriz se encuentra parada.

Transductores

14. En el tablero TEXC.#.4 verifique la ausencia de alarmas en los paneles U045.01 y U047.01.

15. En el tablero TEXC.#.1 con apoyo de una brocha y un trapo suave, limpiar la parte

externa de los transductores U005.02; U004.02 y U004.01.

16. En el tablero TEXC.#.2 con apoyo de una brocha y un trapo suave, limpiar la parte externa de los transductores U013.01; U013.02 y U013.03.

17. En el tablero TEXC.#.3 con apoyo de una brocha y un trapo suave, limpiar la parte externa de los transductores U020.01; U020.02 y U020.03.

18. En el tablero TEXC.#.4 con apoyo de una brocha y un trapo suave, limpiar la parte externa de los transductores U041.01 y U041.02.

PLC

19. Realizar soplado del PLC, pasar un trapo suave y seco por la parte exterior del equipo, tanto de los CPU como de las tarjetas de entrada y salida.

20. Verificar si existe alarma de batería baja.

21. Verificar ajuste de conexiones en los cables coaxiales del PLC y de los cables de conexiones en las tarjetas de entrada y salida.

Excitación Inicial

22. Para las siguientes actividades verifique que no se encuentre nadie realizando alguna actividad dentro del cubículo TEXC.#.1 (gabinete del interruptor de campo)

23. Confirme que ambos alimentadores de excitación inicial ubicados en el TDAU están desenergizados, Verifique si es necesario el ajuste de conexiones del sistema de excitación inicial.

24. Solicite al operador que energice uno de los dos alimentadores de excitación inicial de 480v AC ubicados en el TDAU. Verifique cuál de los contactores K008.02 o K008.03 esta energizado.

25. Mida la tensión de alimentación del transformador T006.01 la cual debe ser de 480v AC, verifique la tensión de salida del transformador T006.01 la cual debe ser de 36v AC, verifique que la tensión de salida del puente de diodos V006.01es de aproximadamente 44v DC

26. Solicite al operador que energice el otro alimentador que se encontraba desenergizados y desenergice el que estaba energizado, verifique que los contactores K008.02 y K008.03 hayan cambiado de posición.

27. Repita el paso 25 donde se midan la tensión de alimentación del sistema de excitación inicial.

28. Solicite al operador que energice a la vez ambos alimentadores en el TDAU y repita el paso 25.

Puente Rectificadores

29. Retire las tapas frontales de los puentes rectificadores 1 y 2, realice una inspección visual por componentes dañados o signos de recalentamiento en alguna parte del puente.

30. Realice inspección visual de las 6 tarjetas RAC-100 APG, verificando que todas

tenga los LEDS “VIN” y “VOUT” encendido.

31. Mida tensión de alimentación en cada una de las tarjetas la cual debe ser aprox. de 24v.

Instrumentación del transformador de Excitación

32. En el tablero TEXC.#.4 puerta posterior verifique la tensión de alimentación del PLC TWIDO (telemecanique) el cual debe ser aprox. de 24v.

33. Verifique que la alimentación AC está en condiciones normales confirmando que la entrada I13 está encendida.

34. Con una brocha o con trapo suave seco limpie la parte exterior del PLC TWIDO.

35. En el transformador de excitación ubique el relé de protección térmica (PCPU8) y realice una inspección visual verificando ausencia de condiciones anormales.

36. Realice ajuste de conexiones en caso de ser necesario.

Pruebas funcionales de la Excitatriz

1. Colocar el selector de la excitatriz en modo local.
2. En la pantalla principal IHM, seleccionar Habilite el MODO MCR y en la pantalla de la IHM usted observara que la indicación HAB MCR OFF cambia a HAB MCR ON y la indicación DES AVR ON: cambia a DES AVR OFF

   MCR: regulador manual de corriente
   AVR: regulador automático de voltaje

3. Se le da arranque de excitación en MODO MCR (regulación de corriente manual).
4. Con el botón “SUBIR CONSIGNA” se sube la tensión del generador hasta alcanzar un voltaje nominal de 13.8 Kv. con el objeto de verificar el comando de subir tensión.
5. Con el botón BAJAR CONSIGNA, baje la tensión del generador hasta un valor de 13.0 Kv aprox. con el objeto de verificar el comando de bajar tensión.
6. Con el botón “SUBIR CONSIGNA” se sube la tensión del generador hasta alcanzar un voltaje nominal de 13.8 Kv. con el objeto de verificar el comando de subir tensión.
7. Con la ayuda de los botones RECTIFICADOR 1 y RECTIFICADOR 2, realice conmutación al puente que no esté en operación y verifique las mediciones de tensión del generador, corriente del generador, tensión de campo y corriente de campo.
8. Repita los pasos 5 y 6 con el otro puente rectificador en operación y verifique las mediciones de tensión del generador, corriente del generador, tensión de campo y corriente de campo.
9. Con la tensión de salida del generador en 13.8 Kv, realice conmutación del MODO MCR al MODO AVR, utilizando la IHM y verifique las mediciones de tensión del generador, corriente del generador, tensión de campo y corriente de campo.
10. Estando en el MODO AVR con los botones bajar consigna y subir consigna realice variación en la tensión de salida del Generador tomando en cuenta que la tensión del Generador no bajara de 13.11 Kv. Con esto se verifica la regulación en MODO Automático (AVR).
11. Con la ayuda de los botones RECTIFICADOR 1 y RECTIFICADOR 2, realice

conmutación al puente que no esté en operación y verifique las mediciones de tensión del generador, corriente del generador, tensión de campo y corriente de campo.

12. Para verificar conmutación del PLC, utilice los menús de la IHM del PLC que este como principal y realice el cambio de CPU. Una vez realizado el cambio verificar que el PLC que estaba en standby quedara como principal y la IHM que estaba standby quedara como IHM principal. Utilice la nueva IHM principal para conmutar nuevamente al CPU del otro PLC y devolver las condiciones iniciales.
13. Con la Excitatriz en servicio verifique cuál de los puentes rectificadores esta en servicio, luego abra la puerta del tablero TEXC.#.2 y con cuidado de no acercar la mano a las barras del puente rectificador baje el interruptor termomagnetico Q17.01 si el puente rectificador que está en servicio es el puente 1 y verifique la conmutación de puente por falla de ventilación de puente.
14. Normalice el interruptor termomagnetico Q17.01 y resetee las alarmas que hayan aparecido en la IHM y en el panel de alama del tablero TEXC.#.4. Luego en el mismo tablero TEXC.#.2 baje el interruptor termomagnetico Q17.03 para generar falla de ventilación de puente en el puente rectificador número 2 y verificar conmutación automática al puente rectificador número 1.
15. Normalice el interruptor termomagnetico Q17.03 y resetee las alarmas que hayan aparecido en la IHM y en el panel de alama del tablero TEXC.#.4.
16. Desconecte la Excitación y coloque el selector de la Excitatriz en MODO REMOTO y solicite al personal de operación conectar la Excitatriz desde el TCU o desde la estación de operación.
17. Si el personal de operaciones no requiere sincronizar la unidad solicite desconectar la Excitatriz en MODO REMOTO.
18. Fin del Procedimiento.

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VI:

DISEÑO Y PRESENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

El objetivo general de esta investigación fue el diseño de un Plan de Mantenimiento, para los equipos de mayor importancia del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control como lo son el Gobernador y el Sistema de Excitación de las nuevas unidades de generación hidroeléctrica ubicadas en Casa de Máquinas I.

6.1 Diseño y Presentación del Plan de Mantenimiento

En el último apartado del capítulo anterior (determinación de las actividades de mantenimiento recomendadas por el fabricante) recolectamos en un formato, todas las actividades por equipos que se deben incluir en un plan de mantenimiento para las unidades rehabilitadas de casa de máquinas I según el fabricante. A continuación se presentara el formato diseñado para desarrollar la propuesta de plan de mantenimiento: (Ver Figura 15)

CORPOELEC EMPRESA ELÉCTRICA SOCIALISTA					CENTRO DE GENERACIÓN REGIÓN SUR SUPERINTENDENCIA DE PLANTA MACAGUA
Instalación:			Código de documento:		Página:
Título del documento:					
Numero de unidad:			Horas totales de actividad:		
Frecuencia de la parada:			Departamentos involucrados:		
Equipo	Sub equipo	Actividad	Departamento responsable	Duración Estimada	Horas De trabajo por equipo
Elaborado Por:		Conformado Por:		Aprobado Por:	

Figura 15 Formato para la presentación del Plan de Mantenimiento.
Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de equipo, sub equipo, actividad, departamento responsable y duración estimada, siguen siendo los explicados con anterioridad en esta investigación. Los siguientes valores deben ser explicados:

- Número de la unidad: CORPOELEC identifica cada unidad generadora con un código único, por ejemplo el código de la unidad rehabilitada en operación es **UG5,** cada unidad debe estar sujeta a un plan de mantenimiento por lo que el plan de mantenimiento deberá hacer referencia a la unidad para la cual está diseñado.

- Frecuencia de la parada: Este plan de mantenimiento está diseñado según diferentes paradas recomendadas en un periodo de tiempo, es este periodo de tiempo la frecuencia de la parada.

- Horas totales de actividad: Está definido por la sumatoria de los tiempos estimados de cada una de las actividades que conforman la parada.

- Departamentos involucrados: Presenta de manera introductoria que departamentos son responsables de las actividades de mantenimiento durante la parada especificada.

- Horas de trabajo por equipo: Representa la sumatoria de los tiempos estimados de cada una de las actividades de mantenimiento para un equipo determinado.

El formato tuvo que contemplar algunos parámetros extra, ya que en CORPOELEC existen ciertas normas en cuanto al diseño de documentos, estos específicamente son:

- Instalación: Se refiere al nombre de la estructura física de la empresa a la cual el documento hace referencia.

- Código del documento: Combinación de letras y números únicos, que identifican el documento.
- Elaborado por: Señala al autor del documento.
- Conformado por: Identifica a la persona que revisa el documento desde un punto de vista administrativo.
- Aprobado por: Hace referencia a la persona que valida la circulación del documento dentro de la empresa.

Durante la recolección de las actividades se mencionó que una particularidad de estas radicaba en la diferencia en la base de tiempo usada para la presentación del periodo de tiempo o frecuencia de la misma, a continuación explicaremos las conversiones realizadas para llevar todas las actividades a una base de tiempo similar:

- La frecuencia de las actividades recomendadas para el equipo **"Sistema de Excitación"**, están expresadas en una base semestral, la cual para esta investigación no se modifico
- La frecuencia de las actividades recomendadas para el equipo **"Gobernador"**, están expresadas en una base semestral, la cual para esta investigación no se modifico

El siguiente plan de mantenimiento está sujeto a varias premisas establecidas en conjunto con el personal de CORPOELEC:

- Primero: Todas las actividades de mantenimiento mencionadas están contempladas en manual de operación y mantenimiento de la unidad emitido por el fabricante de la unidad.

- Segundo: Todas las actividades de mantenimiento mencionadas están especificadas para que se ejecuten en una parada de la unidad en cuestión.

- Tercero: El plan de mantenimiento está dividido en diversas paradas determinadas por un periodo de tiempo previamente establecido con el personal de CORPOELEC luego de analizar las recomendaciones del fabricante de la unidad.

- Cuarto: La responsabilidad de un departamento para la ejecución de una determinada actividad esta estudiada y seleccionada en función de las responsabilidades establecidas en el documento denominado “Matriz de responsabilidad de departamentos de la Gerencia de Planta Macagua.

- Quinto: El siguiente plan no hace referencia a actividades de mantenimiento con una frecuencia inferior a 6 meses (semestrales), actividades correctivas debido a fallas imprevistas y particularidades de garantía o contrato.

Una vez culminado con las premisas, se puede observar el resultado de esta investigación que fue el Diseño de un Plan de Mantenimiento para las Unidades Rehabilitadas de Casa de Máquinas I en el Complejo Hidroeléctrico “Antonio José de Sucre”. (Ver Tabla 12)

Tabla 12 Descripción de actividades de la parada semestral para el diseño del Plan de Mantenimiento

CORPOELEC EMPRESA ELÉCTRICA SOCIALISTA			CENTRO DE GENERACIÓN REGIÓN SUR SUPERINTENDENCIA DE PLANTA MACAGUA		
Instalación: CM1			**Código de documento:**	**Página:**	
PLAN DE MANTENIMIENTO: PARADA SEMESTRAL.					
Numero de unidad: UG5			**Horas totales de actividad: 25.45**		
Frecuencia de la parada: SEMESTRAL			**Departamentos involucrados: MCIM.**		
Equipo	**Sub equipo**	**Actividad**	**Departamento responsable**	**Duración Estimada**	**Horas de trabajo por equipo**
GOBERNADOR	**Cubículo +CE-GOB**	Inspección visual	MICM	0.5 Hr.	
		Limpieza Externa y aseo de filtros de puertas	MICM	0.5 Hr.	
		Aseo exhaustivo del interior de todos los gabinetes	MICM	0.5 Hr.	
	Fuente de Alimentación	Medir tensión de la alimentación	MICM	0.25 Hr.	
		Medir corriente de alimentación y de carga	MICM	0.25 Hr.	
	Fusible	Medir corriente	MICM	0.25 Hr.	
		Verificar conexiones de ser necesario	MICM	0.75 Hr.	
		Hacer limpieza	MICM	0.75 Hr.	
	Cableado	verificar calentamiento	MCIM	1 Hr.	
		Hacer limpieza y Verificar conexiones de ser necesario	MCIM	1 Hr.	

Equipo	Sub equipo	Actividad	Departamento responsable	Duración Estimada	Horas de trabajo por equipo
GOBERNADOR	Relés auxiliares y acopladores ópticos	Verificar calentamiento	MCIM	0,3 Hr.	16,95Hr.
		Verificar el correcto funcionamiento	MCIM	0,3 Hr.	
		Hacer limpieza	MCIM	0,3 Hr.	
		Verificar conexiones de ser necesario	MCIM	0,3 Hr.	
	Pulsadores de comando y dispositivos de señalización	Verificar el correcto funcionamiento	MCIM	1 Hr.	
		Hacer limpieza	MCIM	0,5 Hr.	
		Verificar conexiones de ser necesario	MCIM	0,5 Hr.	
	Pick ups inductivos	Hacer limpieza	MCIM	0,25 Hr.	
		Verificar conexiones eléctricas de ser necesario	MCIM	0,5 Hr.	
		Verificar soporte de ser necesario	MCIM	0,5 Hr.	
	Transductor de posición del distribuidor	Limpieza general	MCIM	0,5 Hr.	
		Verificar conexiones de ser necesario	MCIM	0,5 Hr.	
		Limpieza del vástago del sensor	MCIM	0,5 Hr.	
	Transductor de posición Angular	Limpieza general	MICM	0,25 Hr.	
	Display grafico (IHM)	Limpieza general	MCIM	0,25 Hr.	
	Transductor de Presión	Verificar ajuste y funcionamiento	MCIM	0,5 Hr.	
		Limpieza General	MCIM	0,25 Hr.	

Equipo	Sub equipo	Actividad	Departamento responsable	Duración Estimada	Horas de trabajo por equipo
	Pasadores Rompibles	Limpieza general	MCIM	0,5 Hr.	
		Verificar ajuste de los tornillos de fijación	MCIM	2 Hr.	
	Controlador lógico Programable PLC	Limpieza Externa	MCIM	0,5 Hr.	
		Inspección visual del estado de la Batería	MCIM	0,5 Hr.	
		Verificar ajuste de conexiones de ser necesario	MCIM	0,5 Hr.	
SISTEMA DE EXCITACIÓN	**Gabinetes**	Inspección visual	MCIM	0.25 Hr.	8,5Hr.
		Limpieza Externa y aseo de filtros de puertas	MCIM	0.5 Hr.	
		Aseo exhaustivo del interior de todos los gabinetes	MCIM	0.5 Hr.	
		Ajuste de conexiones de ser necesario	MCIM	0.25 Hr.	
	Instrumentos	Inspección Visual	MCIM	0.5 Hr.	
		Verificación de lecturas	MCIM	0.25 Hr.	
		Verificar ajuste de conexiones de ser necesario	MCIM	0.25 Hr.	
	Transductores	Inspección Visual	MCIM	0.5 Hr.	
		Limpieza Externa	MCIM	0.25 Hr.	
		Verificación de Indicación	MCIM	0.25 Hr.	
	Controlador Lógico Programable (PLC)	Limpieza Externa	MCIM	0.5 Hr.	
		Inspección visual del estado de la Batería	MCIM	0.5 Hr.	

Equipo	Sub equipo	Actividad	Departamento responsable	Duración Estimada	Horas de trabajo por equipo
	Excitación Inicial	Verificar ajuste de conexiones de ser necesario	MCIM	0.5 Hr.	
		Revisión	MCIM	0.5 Hr.	
		Limpieza	MCIM	0.5 Hr.	
		Ajuste de conexiones de ser necesario	MCIM	0.5 Hr.	
	Puente Rectificadores	Inspección Visual	MCIM	0.5 Hr.	
		Verificar conmutación	MCIM	0.5 Hr.	
	Instrumentación transformador de Excitación	Inspección Visual	MCIM	0.5 Hr.	
		Ajuste de conexiones de ser necesario	MCIM	0.5 Hr.	
Elaborado Por:		**Conformado Por:**		**Aprobado Por:**	

Fuente: Propia.

El Diseño del Plan de Mantenimiento consta de 1 parada:

- **Parada Semestral:** Realizada cada 6 meses, realizando las siguientes actividades de mantenimiento:
    - Mantenimiento del Gobernador: Requiere de 16,95 horas de actividad.
    - Mantenimiento del Sistema de Excitación: Con 8,5 horas de trabajo.

Hay que dejar claro que el Plan de Mantenimiento está hecho para todo el conjunto de actividades de mantenimiento que indisponen la unidad, es decir,

los fabricantes sugieren que las actividades señaladas en esta investigación se hagan con la unidad generadora detenida. Si bien una actividad por sí misma no genera la indisponibilidad de la unidad, el conjunto de ellas agrupado por frecuencias iguales de todos los equipos, si requieren que se indisponga la misma.

Los fabricantes recomiendan ciertas inspecciones, pruebas y actividades de mantenimiento que no involucran la parada total o parcial de la unidad, esta investigación no las toma en cuenta, debido a que el Departamento de Ingeniería de Mantenimiento del Complejo Hidroeléctrico “Antonio José de Sucre”, es el mayor responsable de la planificación de las actividades de mantenimiento de las unidades, estas actividades que recomiendan los fabricantes en periodos de tiempo diarios, semanales y mensuales si bien esta investigación no los señala cada Departamento es responsable del mantenimiento de las unidades generadoras, CORPOELEC diseña y trabaja con una herramienta denominada programación de actividades rutinarias, donde si se toman en cuenta las actividades mencionadas.

CONCLUSIONES

Luego de haber culminado el estudio y análisis de los resultados de la investigación asignada se pudo determinar que:

1. El proyecto de rehabilitación surgió de la necesidad de CORPOELEC, de determinar cómo se operaria en un futuro próximo, la casa de máquinas I, ya que para entonces esta había alcanzado su vida útil. Se decidió actualizar las unidades generadoras para alargar la vida útil de las mismas y aumentar su capacidad de generación, así como también buscando una mayor disponibilidad y confiabilidad de los equipos principales que conforman la casa de máquinas.

2. Se determinó que el proyecto de rehabilitación se enfoca en la actualización de las viejas unidades con equipos nuevos; específicamente se están instalando compuertas de toma, sistemas de excitación, generadores, turbinas y transformadores nuevos es decir que, a nivel de la unidad generadora la actualización es prácticamente total. A nivel de la estructura física u obra civil el proyecto de rehabilitación busca minimizar las alteraciones de la misma.

3. Se logró describir el proceso de generación eléctrica en cinco etapas a lo largo de todo el proceso. A través del estudio de los manuales de los equipos, así como de la información suministrada por el personal capacitado de CORPOELEC.

4. Se obtuvieron todas las actividades de mantenimiento que estos recomiendan para garantizar la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos durante su operación. Basándonos en un detallado estudio de los manuales de operación y mantenimiento de los

fabricantes de los equipos que conforman las nuevas unidades generadoras,

5. Se diseñó una matriz que permite relacionar las actividades de mantenimiento, con un sub equipo a que pertenece a un equipo principal de la unidad generadora. Se analizaron y agregaron a la matriz las frecuencias recomendadas para cada actividad según los fabricantes y con el apoyo de un grupo de trabajo, formado por representantes mantenedores, de la sección adscritos a la superintendencia de Planta Macagua, se especificó un tiempo aproximado para cada trabajo, así como también se estudió en conjunto la matriz de responsabilidad de la Empresa para asignar un responsable a cada actividad.

6. Se depuró la lista, usando el criterio de actividades que deben agregarse al plan de mantenimiento, obteniendo así una matriz detallada de todas las actividades que deberían estar en un Plan de Mantenimiento, basado en las recomendaciones de los fabricantes.

7. Se diseñaron las Instrucciones de Trabajo para cada uno de los equipos, de modo que estos ayuden de manera significativa a los mantenedores del Departamento, a la hora de gestionar los mantenimientos de las unidades.

8. Se logró diseñar un Plan de Mantenimiento, que toma en cuenta las características necesarias para la implementación en las operaciones de mantenimiento de la Casa de Máquinas I, dicho plan de mantenimiento se presenta en un formato que permite describir la actividad de mantenimiento, desde diversos puntos de vista, facilita características importantes del mantenimiento como departamentos responsables de su ejecución, tiempo aproximado de trabajo, equipos que involucra, entre otros.

9. Este plan de mantenimiento no solo toma en cuenta recomendaciones de los fabricantes de la unidad generadora, esto adaptado a las políticas de mantenimiento de CORPOELC, sino a la experiencia e información recopilada del personal mantenedor, que determinan que las actividades de mantenimiento se agrupen en frecuencias similares y se asignen a paradas planificadas con diversos periodos de realización.

10. Se hizo entrega al personal responsable, del Departamento de Instrumentación y Control del Complejo Hidroeléctrico Macagua, de una propuesta formal de las instrucciones de trabajo y el Plan de Mantenimiento, basado en las recomendaciones de los fabricantes de las unidades generadoras rehabilitadas de la Casa de Máquinas I, cumpliendo de esta manera, el objetivo general de esta investigación.

RECOMENDACIONES

Finalmente, luego de haber analizado los resultados y planteadas las conclusiones de esta investigación, es plantean las siguientes recomendaciones al Departamento:

1. El Departamento deberá actualizar los documentos normalizados, asociados al proceso de ejecución y planificación de los Mantenimientos, para poder implementar los resultados de esta investigación.

2. Exponer la propuesta de mantenimiento planteada en esta investigación a los encargados de la instalación de las nuevas unidades generadoras en la casa de máquinas I IMPSA, de manera de transmitir la experiencia al personal, que hasta a la fecha está más familiarizado con los equipos.

3. Aumentar la frecuencia de los cursos de adiestramiento al personal mantenedor, exponiendo; las características generales de operación y de mantenimiento de las nuevas unidades generadoras etc, para lograr una mayor cobertura de información al personal.

4. Realizar un historial de fallas para cada equipo que conforman las nuevas unidades generadoras, de manera que el plan de mantenimiento propuesto pueda actualizarse tomando en cuenta la confiabilidad de los equipos.

5. Mantener actualizadas las Instrucciones de trabajo de las unidades generadoras ya que estas son una herramienta de suma importancia para el Departamento, a la hora de gestionar los Mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- **ARIAS, F. (2006).** El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica. (5ta. Ed.). Venezuela: Editorial Epsiteme.
- **ARGENTINA, IMPSA (OCTUBRE DE 2006).** REHABILITACIÓN DE CENTRAL HIDROELÉCTRICA MACAGUA I.
- **ARGENTINA, IMPSA (2011).** MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO: GOBERNADOR.
- **ARGENTINA, IMPSA (2011).** MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO: SISTEMA DE EXCITACIÓN.
- **ENARO MOSQUERA CASTELLANOS (2002).** Apoyo Logístico para la Administración del Mantenimiento Industrial (4ta Edición). Madrid Edición Barcelona.
- **HUMBERTO GUTIÉRREZ PULIDO** "Calidad total y Productividad" Tercera Edición.
- **KAORU ISHIKAWA** "¿Que es el Control Total de Calidad? La Modalidad Japonesa" 1986.
- **REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**, CVG EDELCA. PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MACAGUA I.
- **REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**, UNEXPO (2000). Trabajo especial de grado "Mantenimiento anual de casa de máquinas de 2, Macagua, CVG EDELCA", I. Zurita

- **ROJAS DE NARVÁEZ, R.** “Orientación práctica para la elaboración de informes de investigación”. Segunda edición. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Puerto Ordaz-Venezuela, (1997).
- **SABINO, C. (1992).** El proceso de investigación. Bogotá: Editorial Panamericana
- **TULIO, R. (2007).** Como hacer un proyecto de investigación. Venezuela: Editorial Panapo

ANEXOS

ANEXOS N°1

MATRIZ de Responsabilidad Revisada Casa de Maquinas I.

CORPOELEC – Macagua. Gobernador y Sistema de Excitación.

ANEXO 5 (matriz de responsabilidad de CORPOELEC completa) [Modo de compatibilidad] - Excel

SISTEMAS, EQUIPOS E INSTALACIONES	NG.MM	MMM	MEM	MCIM	SGM	OPM	PROT	OBSERVACIONES
SISTEMA DE GOBERNACIÓN								
Unidad Hidráulica de Potencia (UHP-GOB)		R						
Cubículo Electrónico del Gobernador (CE-GOB)				R				
Telèfono del Cubiculo Electrònico de Control				R				
Electrovàlvulas				R				
Válvula Proporcional		R						
Sensor de posición del Servomotor				R				
Sensores de Apertura de Paletas				R				
Sensores de Proximidad de Apertura del Servomotor				R				
Sensor de Nivel de Aceite				R				
Sensor de Temperatura de Aceite				R				
Interruptores de Presiòn				R				
Indicador Digital de Presión				R				
Sistema de Acumulación de Aceite a presión del gobernador (TNI-GOB)		R						
Acumuladores de Nitrógeno		R						
Sensores de Velocidad				R				
Interruptor de sobrevelocidad		R						
Sensor de detección de Deslizamiento				R				
Bombas de Aceite		R						
Motores de las Bombas de Aceite			R					
Filtros de aceite		R						

ANEXO 5 (matriz de responsabilidad de CORPOELEC completa) [Modo de compatibilidad] - Excel

5	SISTEMAS, EQUIPOS E INSTALACIONES	ING.MM	MMM	MEM	MCIM	SGM	OPM	PROT	OBSERVACIONES
204	Manómetro de presión de aceite de los Gatos				R				
205	**Sistema de Excitación**								
206	Interruptor de Campo			R					
207	Sistema de Enfriamiento (ventilación forzada)			R					
208	Transformador de Potencia para Excitación			R					
209	Sistema de enfriamiento para Transformador de Excitación			R					
210	PLC del Sistema de enfriamiento para Transformador de Excitación			R					
211	Rectificadores				R				
212	Transductores				R				
213	Controlador Lógico Programable (PLC)I				R				
214	Relés de protección							R	
215	Instrumentos				R				
216	Excitación Inicial				R				
217	Transformador de Excitación Inicial			R					
218	Cubículo de excitación				R				
219	Barras de excitación			R					
220									
221	TRANSFORMADORES PRINCIPALES DE POTENCIA								
222	Núcleo			R					
223	Arrollados			R					
224	Cambiadores de tomas de voltaje			R					
225	Aisladores Pasantes alto y bajo voltaje			R					

ANEXOS N°2

Unidades Generadoras Rehabilitas 5 y 6,
Casa de Máquinas I. Complejo Hidroeléctrico
“Antonio José de Sucre”

ANEXOS N°3

Sistema de Excitación de las Unidades Generadoras,
Casa de Máquinas I. Complejo Hidroeléctrico
“Antonio José de Sucre”

ANEXOS N°4

Unidad de Generación 5,

Casa de Máquinas I. Complejo Hidroeléctrico

“Antonio José de Sucre”

IMPSA

ANEXOS N°5

Unidad de Generación 4 en Proceso de Rehabilitación,

Casa de Máquinas I. Complejo Hidroeléctrico

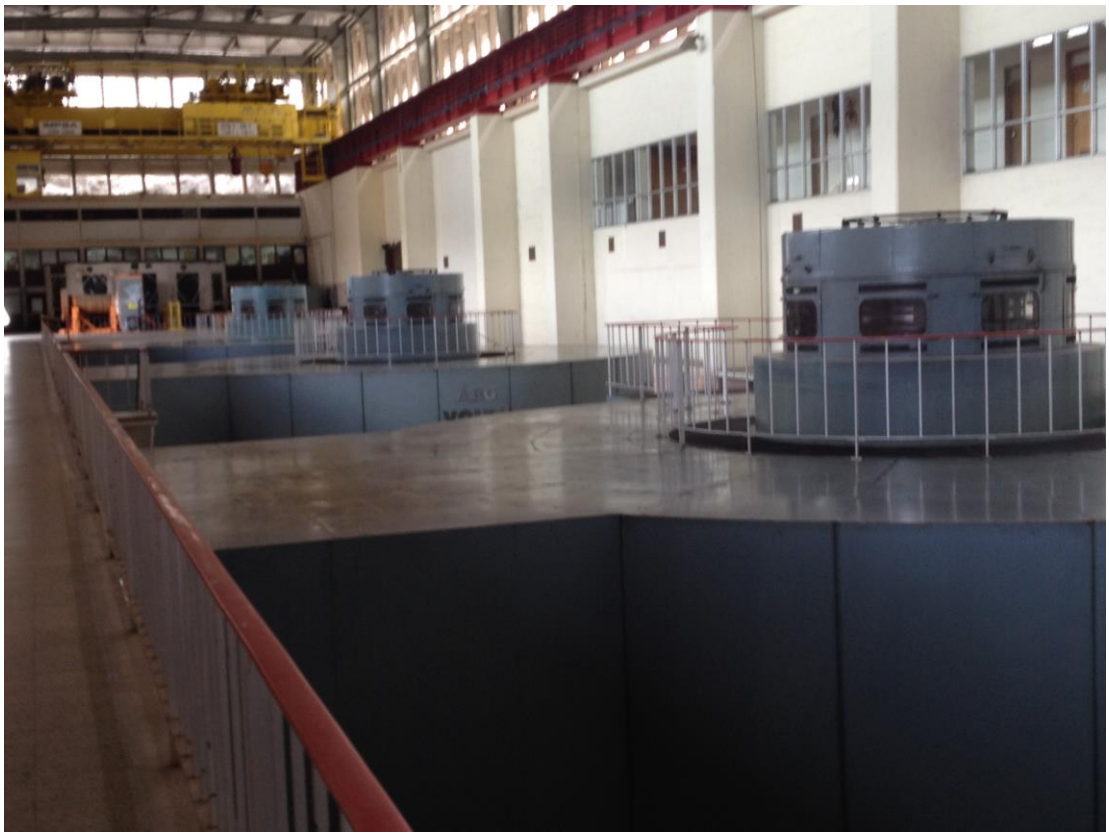
“Antonio José de Sucre”

ANEXOS N°6

Unidades de Generación 1, 2 y 3, Esperando para entrar a Rehabilitación,

Casa de Maquinas I. Complejo Hidroeléctrico

“Antonio José de Sucre”



AEG