



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
POLITECNICA  
“ANTONIO JOSE DE SUCRE”  
VICERECTORADO PUERTO ORDAZ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL  
PRACTICA PROFESIONAL**

**ADECUACIÓN DEL PLAN DE COMPRA AL PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL DE LAS UNIDADES GENERADORAS  
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**

**Br. Vera García, Astrid Valentina  
C.I: V-18.335.393**

**PUERTO ORDAZ, FEBRERO de 2014**



**ADECUACIÓN DEL PLAN DE COMPRA AL PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL DE LAS UNIDADES GENERADORAS  
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
POLITECNICA  
“ANTONIO JOSE DE SUCRE”  
VICERECTORADO PUERTO ORDAZ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL  
PRACTICA PROFESIONAL**

**ADECUACIÓN DEL PLAN DE COMPRA AL PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL DE LAS UNIDADES GENERADORAS  
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**

**Trabajo Presentado ante el Departamento de Ingeniería Industrial de la  
UNEXPO Vice-Rectorado Puerto Ordaz, Como un requisito de  
Aprobación de la Práctica Profesional.**

**VERA GARCIA, ASTRID VALENTINA**

---

**Ing. Jorge Mogollón  
TUTOR INDUSTRIAL**

---

**Ing. Scandra Mora  
TUTOR ACADÉMICO**

**PUERTO ORDAZ, FEBRERO DE 2014**

**VERA GARCIA, ASTRID VALENTINA**

**ADECUACIÓN DEL PLAN DE COMPRA AL PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL DE LAS UNIDADES  
GENERADORAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**

**81 Paginas**

**Puerto Ordaz, Febrero de 2014  
Informe de Práctica Profesional**

**Universidad Nacional Experimental Politécnica  
“Antonio José de Sucre”  
Vicerrectorado Puerto Ordaz  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Departamento de Entrenamiento Industrial.**

**Tutor Académico: Ing. Scandra Mora  
Tutor Industrial: Ing. Jorge Mogollón**

## **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 planteadas.

A mi madre, Elizabeth García, por haberme dado todo su apoyo incondicional en los momentos más difíciles con tanto amor y ayudarme a emprender el camino que estoy a pocos pasos de finalizar.

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.

A mi Tutor académico Scandra Mora, por haberme planteado ideas para el desarrollo de esta práctica profesional, 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 tutor Industrial Ing. Jorge Mogollón por su cálido recibimiento y su gentil atención hacia mi persona durante estas 16 semanas.



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
POLITECNICA  
“ANTONIO JOSE DE SUCRE”  
VICERECTORADO PUERTO ORDAZ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL  
PRACTICA PROFESIONAL**

**ADECUACIÓN DEL PLAN DE COMPRA AL PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL DE LAS UNIDADES GENERADORAS  
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**

**Autor:** Astrid V. Vera G.

**Tutor Industrial:** Ing. Jorge Mogollón.

**Tutor Académico:** Ing. Scandra Mora.

**RESUMEN**

El presente trabajo se realizó con la finalidad de adecuar el Plan de Compra con el programa de Mantenimiento de la Unidad de Instrumentación y Control de Casa de Maquinas N°2 de la Central Hidroeléctrica Macagua. Para ello fue necesario recopilar información del personal que trabaja en las distintas secciones de Instrumentación y Reguladores Automáticos, además de la realización de un nuevo Plan de Compra para el departamento que permitirá llevar un estándar de compra determinado para cada uno de los mantenimientos. Como resultado de estos análisis, se estableció una serie de procedimientos a la hora de realizar los Planes de Mantenimiento para que el departamento cuente con los repuestos necesarios a la hora de gestionarlos.

**Palabras Claves:** Plan de Mantenimiento, Mantenimiento, Plan de Compra, Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo, Procedimiento, Análisis de Falla.

## INDICE GENERAL

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>15</b>
<b>EL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Planteamiento del Problema.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Antecedentes .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3 Objetivos de la Investigación .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.1 Objetivo General.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4 Justificación.....</b>	<b>18</b>
<b>1.5 Delimitaciones .....</b>	<b>19</b>
<b>1.6 Limitaciones.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>20</b>
<b>GENERALIDADES DE LA EMPRESA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Razón Social o Nombre Comercial .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Breve Descripción de la Empresa .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Ubicación .....</b>	<b>22</b>

<b>Complejo Hidroeléctrico Antonio José de Sucre Represa de Macagua (Macagua I - Macagua II)</b> .....	23
<b>2.4 Misión</b> .....	25
<b>2.5 Visión</b> .....	25
<b>2.6 Valores</b> .....	26
<b>2.7 Objetivos de la Empresa</b> .....	27
<b>2.8 Descripción del Proceso Productivo</b> .....	27
<b>2.9 Estructura Organizativa General</b> .....	29
<b>2.10 Descripción del Área de Pasantía</b> .....	30
<b>CAPITULO III</b> .....	36
<b>MARCO TEORICO</b> .....	36
<b>3.1 Mantenimiento</b> .....	36
<b>3.2 Objetivos del Mantenimiento</b> .....	36
<b>3.3 Tipos de Mantenimiento</b> .....	37
<b>3.3.1 Mantenimiento Predictivo</b> .....	37
<b>3.3.2 Mantenimiento Preventivo</b> .....	37
<b>3.3.3 Mantenimiento Correctivo</b> .....	38
<b>3.4 Actividades Fundamentales del Mantenimiento</b> .....	38

3.5 Plan de Mantenimiento.....	39
3.6 Planificación y Programación del Mantenimiento. ....	39
3.7 Principales Actividades del Plan de Mantenimiento. ....	39
3.8 Diagrama Causa – Efecto.....	40
Procedimiento: .....	41
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>43</b>
<b>MARCO METODOLOGICO.....</b>	<b>43</b>
4.1 Tipo de Investigación .....	43
4.1.1 Investigación Descriptiva .....	43
4.1.2 Investigación Aplicada.....	44
4.2 Población y Muestra.....	44
4.3 Técnicas de Recolección de Datos .....	45
4.3.1 Revisión de Documentos, Manuales, Intranet e Internet .....	45
4.3.2 Entrevistas .....	45
4.3.3 Observación Directa.....	46
4.3.4 Materiales .....	46
4.4 Procedimientos.....	46
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>48</b>

<b>RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1 Diagnostico de la Situación Actual.....</b>	<b>48</b>
<b>5.2 Diagnóstico de Fallas.....</b>	<b>49</b>
<b>5.3 Listado de Actividades de Mantenimiento Octomestral. ....</b>	<b>52</b>
<b>5.4 Equipos de Prueba. ....</b>	<b>55</b>
<b>5.5 Plan de Mantenimiento.....</b>	<b>56</b>
<b>5.6 Plan de Compra Real.....</b>	<b>63</b>
<b>5.7 Gestión de Mantenimiento Octomestral de la Unidad de     Instrumentación y Control Macagua.....</b>	<b>67</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE RESPONSABILIDADES DE MANTENIMIENTO SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN. ....</b>	<b>32</b>
<b>TABLA 2. DISTRIBUCIÓN DE RESPONSABILIDADES DE MANTENIMIENTO SECCIÓN DE REGULADORES AUTOMÁTICOS. ....</b>	<b>34</b>
<b>TABLA 3. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTOS OCTOMESTRALES. SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN. ....</b>	<b>52</b>
<b>TABLA 4. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTOS OCTOMESTRALES. SECCIÓN DE REGULADORES AUTOMÁTICOS. ....</b>	<b>53</b>
<b>TABLA 5. PLAN DE MANTENIMIENTO. SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN. ....</b>	<b>57</b>
<b>TABLA 6. PLAN DE MANTENIMIENTO. SECCIÓN DE REGULADORES AUTOMÁTICOS..</b>	<b>60</b>
<b>TABLA 7. PLAN DE COMPRA REAL POR MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL. ....</b>	<b>64</b>
<b>TABLA 8. CONSUMIBLES NECESARIOS POR MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL DE LAS DOS SECCIONES. ....</b>	<b>66</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1. CUENCA DEL BAJO CARONÍ.....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 2. COMPLEJO HIDROELÉCTRICO “ANTONIO JOSÉ DE SUCRE” .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 3. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA GENERAL. CASA DE MAQUINAS II, PLANTA MACAGUA .....</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 4. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA PLANTA MACAGUA, CASA DE MAQUINAS II, PLANTA MACAGUA.....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 5. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 6. DIAGRAMA CAUSA – EFECTO.....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 7. DESCRIPCIÓN DIAGRAMA CAUSA – EFECTO.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 8. DIAGNÓSTICOS DE FALLAS DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL PLANTA MACAGUA. ....</b>	<b>51</b>

## INTRODUCCION

En los últimos años el área de mantenimiento, ha cambiado aceleradamente, principalmente en aspectos de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico. Esto como consecuencia a la importancia que se le atribuye en el ámbito industrial, pasando a formar parte e influyendo de forma directa sobre la gestión y sobrevivencia de cualquier empresa, puesto que actualmente es el encargado de asegurar la condición operativa de una instalación, tomando en cuenta factores importantes como: seguridad del personal y del medio ambiente, gasto generales y utilización de recursos disponibles.

Partiendo de la anterior, la 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 Gurí, 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 Maquinas 2 (CM2), están presentando altas probabilidades de fallas esto debido al avanzado deterioro de sus componentes y a la falta de repuestos. El departamento de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua (MICM), realizó un estudio donde plantea la fusión del Plan de Compra con el Programa de Mantenimiento Octomestral

con el objetivo de contar con un Stock de Repuestos actualizado para cada una de las actividades programadas del Mantenimiento logrando así ser más eficientes y eficaces a la hora de realizar los Mantenimientos de las Unidades Generadoras.

La investigación desarrollada está estructurada en cinco (5) capítulos, los cuales se presentan de la siguiente manera:

- **Capítulo I - Planteamiento del Problema:** Se expone el planteamiento del problema y describe sus antecedentes, causas, efectos, los objetivos de este estudio, la justificación y su delimitación.
- **Capítulo II – Generalidades de la Empresa:** Se expone información técnica de la empresa CORPOELEC (lugar donde se realizó el estudio), y se describen sus características, estructura y funcionamiento general.
- **Capítulo III – Marco Teórico:** Se presenta desde el punto de vista teórico, los aspectos fundamentales a tener en cuenta para la comprensión y realización del estudio.
- **Capítulo IV – Marco Metodológico:** Se expone los aspectos referidos al diseño metodológico que se emplean para el desarrollo del estudio que se propone en el trabajo.
- **Capítulo V – Resultados:** En este capítulo se exponen los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación y sus correspondientes análisis y discusiones para el cumplimiento de cada objetivo específico.

Finalmente se presentarán las Conclusiones, Recomendaciones y Referencias Bibliográficas.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del Problema**

La Corporación Eléctrica Venezolana CORPOELEC es una empresa operadora estatal adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, encargada de la realización de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de potencia y energía eléctrica. Se encuentra conformada por las siguientes empresas de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica: Electrificación de Caroní, C.A (EDELCA), Energía Eléctrica de Venezuela, S.A. (ENELVEN), Empresa Nacional de Generación C.A. (ENAGER), Compañía de Administración y Fomento Eléctrico S.A. (CADAFE), Energía Eléctrica de la Costa Oriental del Lago C.A. (ENELCO), Energía Eléctrica de Barquisimeto S.A (ENELBAR), Sistema Eléctrico del Estado Nueva Esparta (SENECA), la Electricidad de Caracas (La EDC), entre otras.

En el caso de la ex operadora Electrificación del Caroní, C.A (EDELCA), su importancia radica en el hecho de que aporta el 70% del consumo total de electricidad en nuestro país, cuenta con tres centrales hidroeléctricas, Simón Bolívar en Gurí, Antonio José de Sucre ubicada en Macagua y Francisco de Miranda ubicada en Caruachi, todas dentro del Estado Bolívar y ninguna menos importante que la otra pues todas trabajan de manera eficiente, produciendo electricidad 24 horas al día para ser distribuidas a todo el país. No está demás mencionar que CORPOELEC para el proceso de Transmitir Energía Eléctrica cuenta con una extensión bastante grande de líneas de transmisión alcanzando los 5700 Km.

La Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control División Planta Macagua (MICM) adscrito a CORPOELEC se encarga de gestionar mantenimiento de los equipos y sistemas electrónicos, electromecánicos y mecánicos de instrumentación y control, requeridos para la producción de potencia y energía, coordinando de esta manera las acciones preventivas, predictivas y correctivas necesarias para garantizar su máxima disponibilidad, basándose por su puesto en los parámetros de calidad de servicio establecidos por la empresa.

La Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua está sujeto en línea de mando a la División de Planta Macagua y se estructura dividiéndose en dos grandes secciones que son:

- 1) Sección de Reguladores Automáticos
- 2) Sección de Equipos de Instrumentación

Ambas secciones encargadas de un grupo de dispositivos, equipos y diferentes maquinas ubicadas en Casa de Maquinas I, Casa de Máquinas II, Casa de Maquinas III y el Aliviadero de Planta Macagua.

Adicionalmente, el departamento está presentando dificultades al momento de realizar las actividades de mantenimiento programadas como son las Semestrales y Octomestrales, ya que la misma no cuenta con un Plan de Mantenimiento bien definido para cada una de las actividades realizadas en las Unidades Generadoras a su vez, también está presentando debilidades en el Plan de Compra para repuestos y consumibles. A pesar de que cuentan con un programa de mantenimiento y con un plan de compra, las actuales condiciones operativas de los equipos a intervenir dificultan programar las actividades de manera ordenada y contar con las herramientas, Fuerza Laboral, Equipos de Prueba, Consumibles y Repuestos, al momento de realizar dichas actividades de mantenimiento. Es

por esta razón, que el departamento requiere de una reestructuración del proceso de Mantenimiento específicamente en las fases de Planificación del Mantenimiento y Evaluación del Mantenimiento, donde podamos observar de manera ordenada las actividades a realizar y contar con los repuestos necesarios para gestionar sin dificultad las actividades de Mantenimiento en cada una de las Unidades Generadoras.

## **1.2 Antecedentes**

La unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua (MICM), pasa a formar parte de la estructura organizativa de la superintendencia de Planta Macagua a partir del 01 de Julio de 1997.

El objetivo principal de este departamento se basa en gestionar el mantenimiento de los equipos y sistemas electrónicos, electromecánicos mecánicos de instrumentación y control, requeridos para la producción de potencia y energía asociada a la Central Hidroeléctrica “Antonio José de Sucre” (Macagua), coordinando las acciones predictivas, preventivas y correctivas necesarias para garantizar en su máxima disponibilidad, asegurando o restableciendo su funcionamiento de acuerdo a los parámetros de calidad de servicio establecidos por la empresa.

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Adecuar el Plan de Compra con el Programa de Mantenimiento de las Unidades Generadoras de la Central Hidroeléctrica “Antonio José de Sucre”.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Diagnosticar de la situación actual.
- ✓ Determinar los equipos de prueba necesarios para la ejecución de las actividades de mantenimiento.
- ✓ Establecer la cantidad mínima de repuestos necesarios para la ejecución de las actividades de mantenimiento.
- ✓ Actualizar el programa de Mantenimiento Octomestral.
- ✓ Elaborar un Plan de compra real para la ejecución de las actividades de mantenimiento.

### **1.4 Justificación.**

Este trabajo de investigación plantea el desarrollo de un método para adecuar el Plan de Compra con el Programa de Mantenimiento Octomestral, dentro de la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua, el cual deberá suministrar de manera clara como llevar a cabo de forma organizada las actividades de Mantenimiento dentro de las Unidades Generadoras garantizando su eficiencia y eficacia a la hora de gestionar el mantenimiento.

Teniendo ya definida la problemática existente dentro del área de trabajo. Por tal razón, se evidencia la necesidad de desarrollar un Plan de Compra bien definido para cada una de las actividades que deseen realizar.

## **1.5 Delimitaciones**

Este trabajo engloba la Adecuación del Plan de Compra al Programa de Mantenimiento Octomestral de las Unidades Generadoras de Casa de Máquinas II Macagua, para los equipos y sistemas bajo responsabilidad de la Mantenimiento de Instrumentación y Control (MICM) adscrito a la Gerencia Planta Macagua, ubicado en Casa de Maquinas II, Complejo Hidroeléctrico “Antonio José de Sucre”, Macagua, Edo. Bolívar; durante un tiempo máximo de 16 semanas iniciando en el mes de Noviembre del 2013 y culminando en el mes de Febrero del 2014.

## **1.6 Limitaciones**

Este trabajo estuvo limitado mayormente por la disponibilidad del tiempo del personal técnico que laboran en la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua (MICM), para suministrar información referente a las actividades que se realizan en el mismo, puesto que esta información era de suma importancia para el inicio del desarrollo de esta investigación.

## **CAPITULO II**

### **GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

El presente capítulo contempla la descripción de la empresa, detallando una breve descripción de sus labores, misión, visión, valores, descripción del proceso productivo, importancia económica, estructura organizativa, entre otros aspectos relevantes.

#### **2.1 Razón Social o Nombre Comercial**

Corporación Eléctrica Socialista (CORPOELEC).

#### **2.2 Breve Descripción de la Empresa**

Planta Macagua, 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, CADAPE, 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 dl 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 el 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 filiales 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 (CADAPE, 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.

### **2.3 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 3° 37' de latitud norte en los límites con Brasil en la Sierra Pacaraima, hasta su punto más al norte en los 8° 21' de latitud norte, en la desembocadura del Caroní en el río Orinoco. De este a oeste, se extiende desde los 60° 35' de longitud oeste, en las cabeceras del río Arábopo en el Alto Caroní, hasta los 64° 37' de longitud oeste.

Esta cuenca hidrográfica cubre aproximadamente 95.000 Km<sup>2</sup> (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.



**Figura 1. Cuenca del bajo Caroní**

**Fuente: Internet**

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 Tocomá 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)**

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<sup>3</sup>/seg.

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).



**Figura 2. Complejo Hidroeléctrico “Antonio José de Sucre”**

**Fuente: Internet**

## **2.4 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.

## **2.5 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.

## **2.6 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 espontánea 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.

## **2.7 Objetivos de la Empresa**

- a) Alcanzar un ambiente conservado y comunidades atendidas.
- b) Desarrollar proyecciones de imagen.
- c) Desarrollar nuevos negocios.
- d) Llevar desempeño a estándares internacionales.
- e) Desarrollar proyecto térmico.
- f) Ampliar y actualizar la infraestructura.
- g) Llevar calidad de servicios a estándares internacionales.
- h) Lograr cobranzas eficaces.
- i) Promover mejoramiento de la distribución de electricidad.
- j) Organización más flexibles y competitiva.
- k) Tener trabajadores capacitados y motivados.

## **2.8 Descripción del Proceso Productivo**

El principio de transformación pasa por una serie de etapas en las cuales la energía hidráulica se convierte en energía mecánica y esta a su vez en energía eléctrica.

Fundamentalmente se necesita obtener energía mecánica rotacional en un eje, el cual acoplado a un dispositivo (rotor) que junto con otro equipo a su alrededor (estator), y por medio de esta conversión electromecánica, hace posible la transformación energética. Esta energía mecánica rotacional es posible obtenerla de una energía hidráulica almacenada en un embalse y disponible en todo momento. Para aprovechar esta energía almacenada se procede de la siguiente manera:

El agua del embalse entra por las tomas de aguas arriba, pasa por las compuertas de toma y recorre la tubería forzada, de unos 120 m. de longitud y de diámetro de 7,5 m. Cuando el agua recorre la tubería forzada,

transforma la energía potencial en energía cinética, la cual cae desde una altura neta de 125 m. Esta caída depende del nivel del embalse.

Luego de completar el recorrido por dichas tuberías, el caudal de agua entra a una tubería en forma de espiral que como su nombre lo indica va disminuyendo la sección transversal de modo que la velocidad del fluido permanezca constante a pesar de la disminución del caudal; de la caja espiral pasa al anillo distribuidor, en el cual, se encuentran las paletas fijas, cuya función es direccionar el flujo hacia el rodete.

Luego de ser distribuida el agua, pasa a las paletas directrices o móviles, regulando el caudal que va a ser turbinada. Al reducir su apertura, se reduce el caudal y por lo tanto, la potencia generada.

Su movimiento se logra mediante servomotores hidráulicos. El agua que ha circulado por las paletas directrices, incide sobre los alabes del rodete (los cuales tienen forma de aspas serpenteadas) con un ángulo determinado, de manera de lograr que el empuje generado en los alabes al desviar el flujo de agua, se lo más uniforme posible, produciendo el movimiento giratorio que es transmitido por el eje de la turbina al generador, la turbina tiene en su centro un eje, el cual acopla el movimiento de la turbina con el eje del rotor.

Este movimiento giratorio dentro del estator producirá, debidamente excitando el flujo necesario para inducir la tensión en los arrollados del estator. Con esta conversión electromagnética el estator puede entregar la energía en forma eléctrica.

Esta energía eléctrica producida pasa a los transformadores de potencia, que por medio de las líneas de transmisión de alta tensión, se lleva al patio de distribución de donde salen las líneas de 800/400/23/34,5KVI. Una vez logrado el giro del rodete, el agua se dirige por el llamado tubo aspirador y

luego es descargada el agua abajo por el canal de descarga; el cual continúa el cauce del río.

Debe señalarse que para el mantenimiento de estas unidades generadoras, se colocan los tapones de mantenimiento ubicados aguas arriba y aguas abajo, los cuales cierran el paso de agua, el agua que queda en la caja de espiral y en la turbina de aspiración se evacua usando bombas.

## 2.9 Estructura Organizativa General.

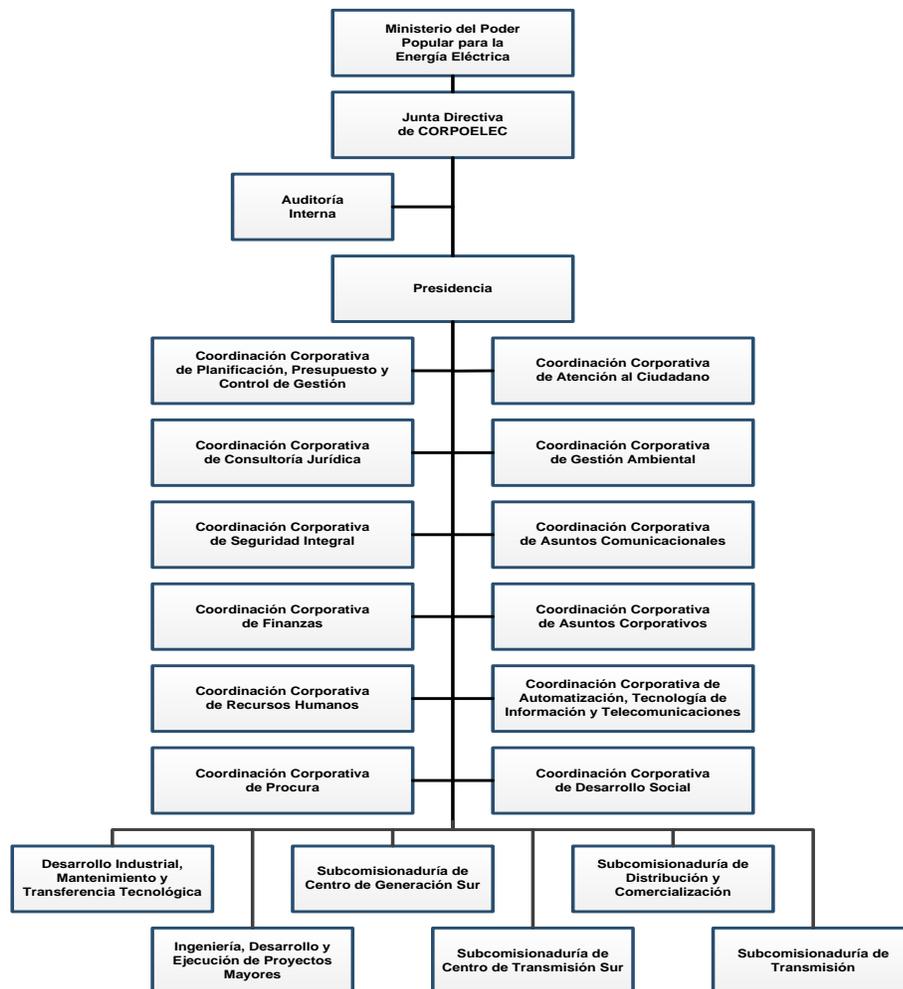
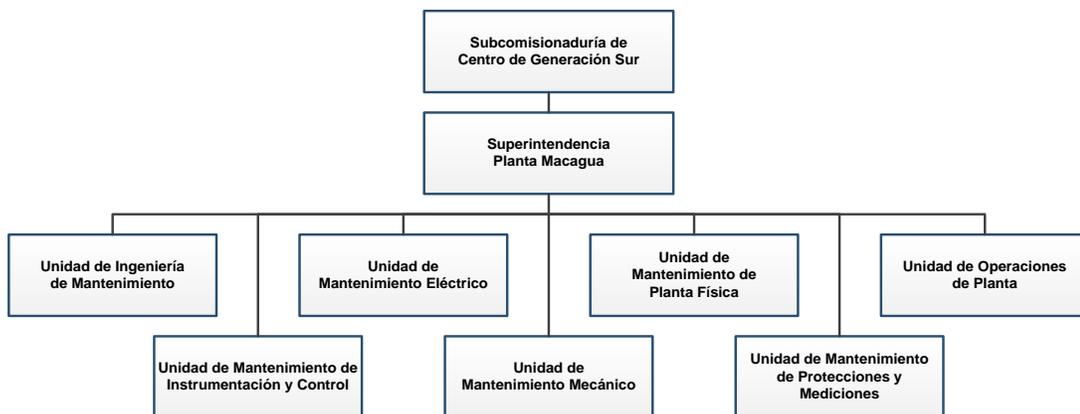


Figura 3. Estructura Organizativa General. Casa de Maquinas II, Planta Macagua. Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4. Estructura Organizativa Planta Macagua, Casa de Maquinas II, Planta Macagua**

**Fuente: Elaboración Propia**

## 2.10 Descripción del Área de Pasantía

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:

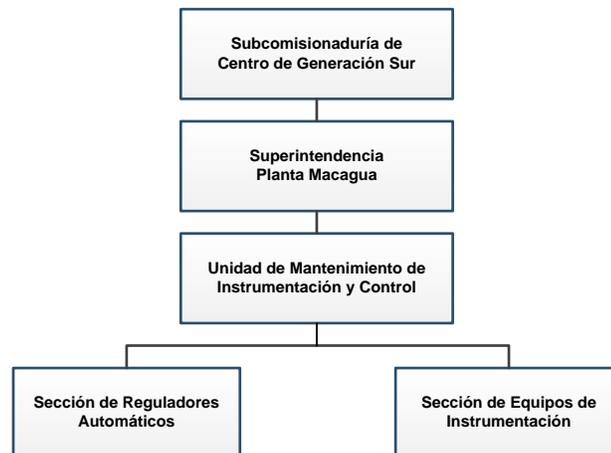
**a.** Oficinas Departamento MICM: Concentra la dirección general de Dpto. de MCIM área destinada para el desarrollo de las actividades de un Jefe NA III G, un área de control y gestión destinada para los profesionales I y II que desarrollan sus labores en esta entidad, un área destinada como sitio de 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.



**Figura 5. Estructura Organizativa de la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control**

**Fuente: Elaboración propia**

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.

Distribución de las Responsabilidades del Mantenimiento de los Sistemas y equipos de la sección:

Para la sección de Equipos de Instrumentación:

**Tabla 1. Distribución de Responsabilidades de Mantenimiento Sección de Instrumentación.**

SISTEMAS	EQUIPOS
EXCITATRIZ CM2 Y CM3	Cubículos de control, protección, convertidores, barras. Instrumentación del sistema de Enfriamiento
COMPUERTAS DE ALIVIADEROS CM2 Y CM3	Módulos de Control Instrumentación para presión y posición
GRUAS PORTICO CM2 Y CM3	Gabinetes de control y cabinas de Mando, Variador de Velocidad rotavar: VR1 BK06, VR1BK 002; Variadores de Velocidad Statovar: STV 64D 40S, STV 64C 22S, STV 64C 15S. Instrumentación de Ganchos y Puentes

GRUAS PUENTE CM2 Y CM3	Gabinets de Control y Cabina de Mando, Variadores de Velocidad Altivar: ATV 58HD 12N4, ATV 45U 40N, ATV 45D 75N. Variadores de Velocidad Statovar: STV 64C 22S, STV 64C 15S  Instrumentación de Ganchos y Puentes
INSTRUMENTACION CM1	Termómetro del Generador y la Turbina. Instrumentación del Gobernador. Manómetro de los filtros 1 y 2 del Sistema de Enfriamiento de la unidad. Selector de Temperatura.  Instrumentación del Tablero de Medición y Control.
MONITOR DE TEMPERATURA CM2 Y CM3	Sensores de Temperatura. Panel de Control.
CAUDALIMETRO CM2 Y CM3	Transductores Ultrasonido.  Panel de Control.
INSTRUMENTACION CM2 Y CM3	Flujómetros de Generadores. Flujómetros y manómetros de la turbina. Medidores de nivel de aceite del generador y la turbina. Termómetros del generador, turbina y cabezal de aceite del gobernador (CM3). Transductores y manómetros de la DTF y DTA (CM2)
REGISTRADOR DE FRECUENCIA CM1	Registrador. Transductor
MEDIDOR DE EFICIENCIA CM2 Y CM3	Panel Interfaz
MEDIDOR DE NIVEL CM1, CM2 Y CM3	Sistema acústico (Embalse CM1 y 3): Transductor y panel de Control  Sistema Flotador (Canal descarga CM2 y 3): Captador de posición y tablero interface.
MONITOR DE VIBRACION CM2 Y CM3	Ménsula del Generador. Cubierta superior de la turbina. Eje de turbina

SISTEMAS CONTRA INCENDIO SCCM Y CM3	Generador CM3: Tableros de control local/principal, detectores y actuadores.  SCCM CM2: Tablero principal, tablero alta voz, detectores subestación 115kV CM3: Tablero de control, detectores y actuadores
SISTEMA MEDICION ENTRE HIERRO CM2	PC control central. Unidades de adquisición de datos. Sensores entre hierro, sensores de sincronismo, sensor de vibración.
CONTROL ACCESO TUNEL CM1 – CM2	Tablero de Control. Tablero de alimentación y Semáforos
DETECTOR DE INUNDACION CM2 Y CM3	Panel Local. Sensores.

**Tabla 2. Distribución de Responsabilidades de Mantenimiento Sección de Reguladores Automáticos.**

SISTEMAS	EQUIPOS
GOBERNADORES CM2 Y CM3	Tablero GE, Tablero GCH, Tablero GMC (Excepto contactores). Dispositivos de medición de posición paletas/alabes.  Instrumentación de nivel y presión del GHGA. Dispositivos de medición de velocidad de la turbina. Detectores de posición del enclavamiento.
INVERSORES CM2 Y CM3	Tablero inversor, Conmutador Estático y Bypass
CARGADORES DE BATERIA CM2 Y CM3	Tablero Cargador de baterías
COMPRESORES DE AIRE DE LA CENTRAL CM2 Y CM3	Instrumentación del Compresor y del Tanque acumulador secuenciador.
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CM2	Instrumentación Chiller – UMA Panel de Control Chiller PC de Control Principal
SISTEMA DE	Auto sincronización. Relé verificador de

SINCRONIZACION CM2 Y CM3	sincronismo. Instrumentación sincronización Manuel/Auto
TABLEROS DE CONTROL DE LA UNIDAD CM2 Y CM3	Tablero completo (Excepto panel de protecciones)
TABLEROS DE TRANSFORMADOR DE LA UNIDAD CM2 Y CM3	Tablero completo (Excepto panel de protecciones y el equipo registrador de fallas)
TABLERO DE CONTROL DE LA SUBESTACION	Tablero completo (Excepto panel de protección y el equipo registrador de fallas)
EQUIPOS CRITICOS CM2 Y CM3	Vatímetros. Varímetros

## CAPITULO III

### MARCO TEORICO

En el siguiente capítulo se presenta desde el punto de vista teórico, los aspectos fundamentales a tener en cuenta para la comprensión y realización del estudio.

#### 3.1 Mantenimiento

Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados o restablecer dicha condición cuando esta se pierde.

#### 3.2 Objetivos del Mantenimiento

- ✓ Respalda las operaciones, asegurando la máxima disponibilidad de los equipos.
- ✓ Prolongar la vida útil de los equipos, siempre y cuando se justifique económicamente.
- ✓ Optimizar el tiempo y el costo de ejecución de las actividades de mantenimiento.
- ✓ Evitar detenciones inútiles o paradas de máquinas.
- ✓ Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- ✓ Optimización de los recursos humanos.
- ✓ Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.

### **3.3 Tipos de Mantenimiento**

Existen diferentes formas de diferenciar los tipos de mantenimientos, sin embargo la generalmente utilizada, parte del mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.

#### **3.3.1 Mantenimiento Predictivo**

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la maquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicación de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimiento preventivo, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos, y en contratación de personal calificado.

#### **3.3.2 Mantenimiento Preventivo**

Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener el equipo bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y la historia de fallas de los equipos. Las ventajas que proporciona este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- ✓ Disminución de los paros imprevistos y no deseados, Menor número de reparaciones repetitivas que pudieran resultar en daños y costos excesivos.

- ✓ Mayor conservación y seguridad de los equipos y personal.
- ✓ Intervenciones de manera organizada, ubicación de repuesto y con el personal calificado, y así tener control de materiales, herramientas, repuestos y personal.
- ✓ Menor número de los productos rechazados, por tanto mayor control de calidad.

### **3.3.3 Mantenimiento Correctivo**

Es una actividad no programada y se dirige a reparaciones por fallas ocurridas. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones operativas, por medio de restauración, reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas.

## **3.4 Actividades Fundamentales del Mantenimiento**

- ✓ **Planificación.** Proceso que consiste en la elaboración de una estructura en la cual se describen las rutinas y procedimientos de mantenimiento de manera detallada en lapsos de tiempo.
- ✓ **Ejecución.** Consiste en realizar los trabajos de mantenimiento en la forma u oportunidad que ha decidido la planificación.
- ✓ **Análisis y Control.** Controla el desempeño de la función de mantenimiento, tanto al nivel de planificación como gerencia y de esta manera tomar las acciones con respecto a las que deben implementarse.

### **3.5 Plan de Mantenimiento.**

Es una lista de tareas a realizar en los equipos de una planta, donde se especifica la frecuencia de ejecución de las mismas, con la única finalidad de mantener y conservar los equipos e instalaciones en estados óptimos y de esta manera aprovechar al máximo la vida útil de los mismos para alcanzar un mayor rendimiento.

### **3.6 Planificación y Programación del Mantenimiento.**

Es el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, donde la frecuencia puede ser conocida o desconocidas, los recursos asignados dependiendo de la situación actual y contexto de los equipos y permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización.

El inicio de mantenimiento es la planificación, donde se prepara la ejecución de los trabajos, consiguiendo la participación de todos los recursos y resolviendo todos los problemas que puedan afectar su eficiente ejecución.

### **3.7 Principales Actividades del Plan de Mantenimiento.**

✓ **Lubricación.** Actividad que se realiza con el fin de disminuir al máximo el rozamiento entre dos superficies metálicas que deslizan una sobre la otra. En efecto, gracias al empleo de un lubricante, el rozamiento entre dos superficies secas se sustituye por el rozamiento interno del fluido. La lubricación se debe aplicar en todos los elementos de una máquina o de un conjunto expuestos al roce.

✓ **Ajuste/Calibración.** Actividad que se realiza para la verificación de la precisión de los elementos de un equipo, asegurando así su funcionamiento dentro de las tolerancias respectivas.

- ✓ **Limpieza.** Esta actividad se realiza con el fin de liberar de polvo y suciedad los equipos tanto del área como de sala y así evitar daños en los mismos por acumulación de residuos.

### **3.8 Diagrama Causa – Efecto.**

El diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto o diagrama casual, se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también: diagrama de espina de pez, que consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha. Es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX en ámbitos de la industria y posteriormente en el de los servicios, para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son: calidad de procesos, los productos y servicios. Fue concebido por el licenciado en química japonés Dr. Kaoru Ishikawa en el año 1943.

Este diagrama casual es la representación gráfica de las relaciones múltiples de causa-efecto entre las diversas variables que intervienen en un proceso. En teoría general de sistemas, un diagrama casual es un tipo de diagrama que muestra gráficamente las entradas o inputs, el proceso, y las salidas u outputs de un sistema (causa-efecto), con su respectiva retroalimentación para el subsistema de control.

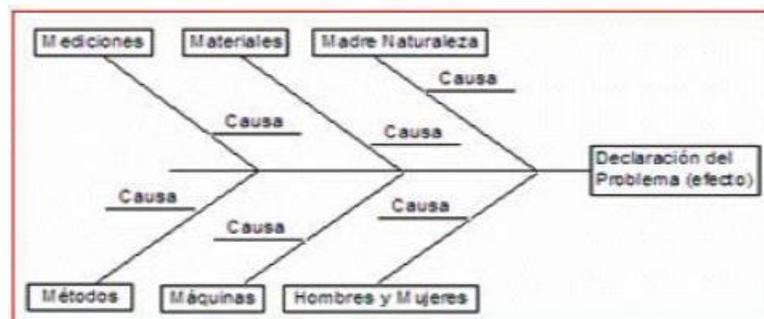
Causa: El problema analizado puede provenir de diversos ámbitos como la salud, calidad de productos y servicios, fenómenos sociales, organización, etc. A este eje horizontal van llegando líneas oblicuas (como la espina de un pez) que representan las causas valoradas como tales por las personas participantes en el análisis del problema. A su vez, cada una de estas líneas perpendiculares que representan las causas secundarias. Cada grupo

formando por una posible causa primaria y las causas secundarias que se relacionan forman un grupo de causas con naturaleza común. Este tipo de herramienta permite un análisis participativo mediante grupos de mejora o grupos de análisis, que mediante técnicas como por ejemplo la lluvia de ideas, sesiones de creatividad, y otras, facilita un resultado óptimo en el entendimiento de las causas que originan un problema, con lo que puede ser posible la solución del mismo.

### **Procedimiento:**

Para empezar, se decide qué características de calidad, salida o efecto se quiere examinar y continuar con los siguientes pasos:

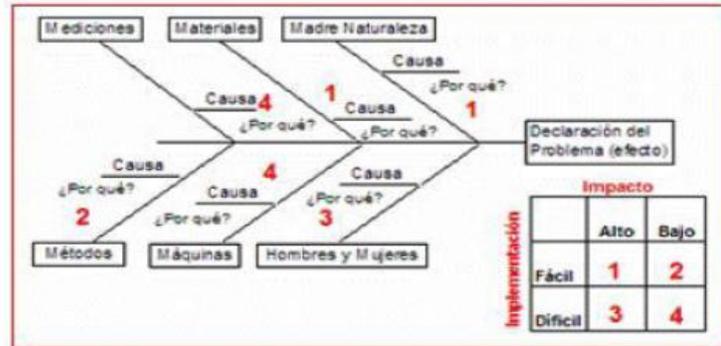
1. Hacer un diagrama en blanco
2. Escribir de forma concisa el problema o efecto
3. Escribir las categorías que se consideren apropiadas al problema: maquina, mano de obra, materiales, métodos, son las más comunes y se aplican en muchos procesos.
4. Realizar una lluvia de ideas de posibles causas y relacionarlas con cada categoría.



**Figura 6. Diagrama Causa – Efecto**  
**Fuente: Internet**

5. Preguntarse ¿Por qué? A cada causa, no más de dos o tres veces. ¿Por qué no se dispone de tiempo necesario? ¿Por qué no se dispone de tiempo para estudiar las características de cada producto?

6. Empezar por enfocar las variaciones en las causas seleccionadas como fácil de implementar y de alto impacto.



**Figura 7. Descripción Diagrama Causa – Efecto**  
Fuente: Internet

## CAPITULO IV

### MARCO METODOLOGICO

En el actual capítulo se colocan los aspectos referidos al diseño metodológico que se emplean para el desarrollo del estudio que se propone en el trabajo. Por tanto, se indica el tipo de estudio que se desarrollará, la caracterización de la muestra, los instrumentos de recolección de datos que se utilizarán y finalmente se especifica el procedimiento que va llevar a cabo para el cumplimiento de los objetivos planteados.

#### **4.1 Tipo de Investigación**

Para la realización de esta investigación se utilizaron los siguientes tipos de investigación:

##### **4.1.1 Investigación Descriptiva**

**Según Tamayo (2001) establece que:**

**“La investigación descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre una persona, grupo o cosas que se conducen o funcionan en el presente”.**

Esta investigación es descriptiva, puesto que describe como es la situación actual de los Generadores de Casa de Maquinas, para ello se tuvo

que obtener una información clara y concisa de esta planta que permitiera la realización de este estudio.

#### **4.1.2 Investigación Aplicada**

**Según la Universidad Nacional Abierta (1997) señala lo siguiente:**

**“La investigación aplicada es la que se realiza con la intención de buscar conocimientos con fines de aplicación inmediata a la realidad para modificarla. Tiene como propósito fundamental presentar solución a problemas prácticos, más que formular teorías acerca de ellos”.**

Esta investigación es aplicada, puesto que tiene como finalidad Actualizar el Plan de Mantenimiento de los Generadores ubicados en Casa de Maquinas II, creando así nuevas estrategias que permitan garantizar el correcto funcionamiento de dichos equipos a lo largo de su vida útil.

#### **4.2 Población y Muestra**

Para el desarrollo de la investigación y el logro de los objetivos, la población de estudio estará constituida por las Unidades Generadoras de Electricidad ubicadas en Casa de Maquinas II; esta población o universo de estudio estará conformado por doce (12) 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 tomara como unidad de estudio cualquiera de las doce (12) Unidades Generadoras.

### **4.3 Técnicas de Recolección de Datos**

**Según Sabino A, Carlos (2002):**

**“Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos la información”.**

Dada esta cita podemos describir las siguientes técnicas utilizadas durante el desarrollo de esta investigación:

#### **4.3.1 Revisión de Documentos, Manuales, Intranet e Internet**

Esto refleja la revisión de documentos de Planta Macagua, como los procedimientos y el control de la documentación interna, intranet para la información de la organización (Programas como SAO y SAP) y para la documentación sobre los procesos de mantenimiento e inspecciones, entre otros, los cuales servirán de soporte o guía para elaborar la documentación necesaria.

#### **4.3.2 Entrevistas**

**Según Sabino A, Carlos (2002) plantea que:**

**“La entrevista es una forma específica de la interacción social que tiene por objeto recolectar datos para una investigación.”**

La aplicación de entrevistas no estructuradas, fueron la fuente de información más precisa y detallada, pues estas permitieron obtener la información y data necesaria para el amplio conocimiento de los procesos y de la ejecución de las actividades dentro de la unidad, realizada de manera directa con el personal encargado.

### **4.3.3 Observación Directa**

**Sabino A, Carlos (2002), plantea que:**

**“La observación directa resulta útil y viable cuando se trata conocer hechos o situaciones que de algún modo tienen un cierto carácter público, o que por lo menos no pertenecen estrictamente a la esfera de conductas privadas de los individuos”.**

Esta técnica posibilita conocer e identificar directa y objetivamente la situación actual y realizar un análisis más detallado y cuidadoso de las actividades que se realizan en la Unidad de Mantenimiento.

### **4.3.4 Materiales**

Para obtener la información necesaria para la recolección de datos se emplearon instrumentos como los que siguen a continuación:

- Lápiz y papel: Utilizados en las entrevistas para hacer anotaciones.
- Memoria USB: Para el almacenamiento de todos los datos obtenidos digitalmente o transcritos, relacionados con la investigación realizada.
- Computadora: Para procesar información y datos.
- Paquetes Computarizados: Sistema operativo Windows, Paquete Microsoft, entre otros.

## **4.4 Procedimientos**

- Diagnosticar la situación actual en la que se encuentra la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua, para poder resolver los posibles problemas que está presente.

- Realizar una revisión en todos los equipos de pruebas existentes dentro de la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua para tener una clara noción de los equipos existentes dentro de la Unidad y así mismo saber cuáles serán reemplazados por tecnologías más avanzadas y nuevas.
- Analizar los antecedentes de compras antiguos para poder realizar un listado mínimo de repuestos, debido a que la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua no cuenta con un Stock de Repuestos mínimos necesarios a la hora de realizar los mantenimientos.
- Elaborar un Plan de trabajo óptimo donde se podrá mejorar los tiempos de trabajos y así mismo poder contar con la fuerza laboral mínima necesaria a la hora de realizar un mantenimiento.
- Elaborar un Plan de Mantenimiento Octomestral el cual contara con las siguientes especificaciones: Actividad a Desarrollar, Duración de la Actividad, Fuerza Laboral, Equipos de Prueba, Consumibles, Herramientas y Repuestos. Con el fin de mejorar y optimizar las actividades rutinarias de mantenimiento dentro del Departamento.

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS**

En esta sección del informe, se presenta de manera ordenada y precisa el desarrollo de los objetivos planteados, para así lograr el cumplimiento y el éxito de la investigación.

#### **5.1 Diagnostico de la Situación Actual.**

Por medio del Diagnóstico de la situación actual del Departamento de Mantenimiento Instrumentación y Control podremos analizar las debilidades que presenta, a través de los distintos documentos asociados al Mantenimiento Octomestral y entrevistas realizadas al personal mantenedor que labora en la empresa. Dentro del mismo encontramos fallas como la falta de organización a la hora gestionar los Mantenimientos Octomestrales, la falta de repuestos como componentes electrónicos e insumos y la desactualización de los equipos de prueba. Esto a su vez genera retraso a la hora de gestionar cada una de las actividades de mantenimientos en las Unidades Generadoras, desincorporación de las unidades generadoras por falta de repuestos e insumos generando una alta reducción en la producción de energía Eléctrica, también existe desmotivación por parte de los mantenedores e instrumentistas que labora en la empresa ya que los mismos no están contando con las herramientas e insumos necesarios para realizar dichas actividades de mantenimiento.

## 5.2 Diagnóstico de Fallas.

A continuación se presenta un diagnóstico de las fallas encontradas en la Unidad, con la ayuda del diagrama Causa – Efecto o Diagrama de Ishikawa podemos 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 la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua, 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 fomentaran o dieran origen a una falla en esa área.

- a. Mano de Obra
  - ✓ Personal
  - ✓ Trabajos Imprevistos

b. Métodos

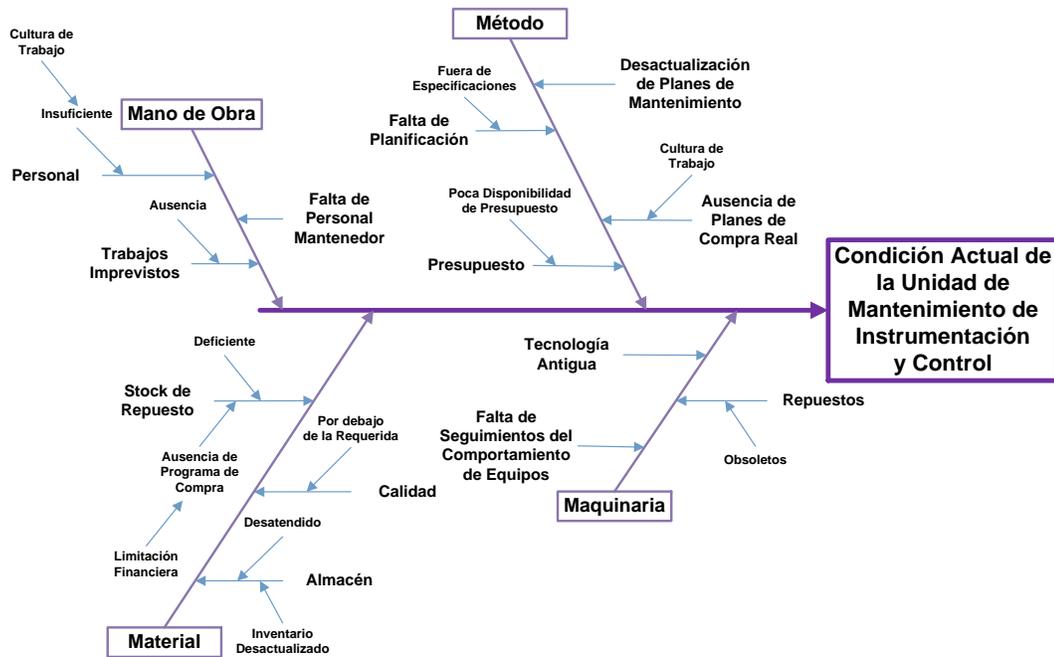
- ✓ Presupuesto
- ✓ Falta de Planificación
- ✓ Desactualización de Planes de Mantenimiento
- ✓ Ausencia de Planes de Compra real

c. Material

- ✓ Calidad
- ✓ Almacén
- ✓ Stock de Repuestos

d. Maquinaria

- ✓ Tecnología Antigua
- ✓ Falta de seguimiento del comportamiento de equipos
- ✓ Repuestos



**Figura 8. Diagnósticos de Fallas de la Unidad de Mantenimiento Instrumentación y Control Planta Macagua.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

Este diagnóstico de fallas nos permite observar de forma mucho más evidente en qué áreas de la Unidad existe un mayor riesgo para la organización. Tomando en cuenta lo ya definido, se puede decir que de acuerdo al diagrama elaborado, la categoría o área que representa un mayor riesgo es la de Métodos implementados en la organización, por lo tanto, se recomienda hacer mejoras en esta parte, puesto que se evidencia que es la más deficiente y por esta razón se ocasionan retrasos a la hora de realizar un Mantenimiento debido a que el departamento no cuenta con un Plan de Compra de Repuestos y consumibles por ello a la hora de Gestionar un Mantenimiento el personal Mantenedor no cuenta con los recursos necesarios para la realización de dichas actividades.

### 5.3 Listado de Actividades de Mantenimiento Octomestral.

Dentro de la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua se cuenta con una serie de actividades realizadas en cada uno de los mantenimientos. Como sabemos la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua se divide en dos secciones una es la sección de Instrumentación y la otra la sección de Reguladores Automáticos, el siguiente listado de actividades pertenece a cada una de las secciones antes mencionadas.

**Tabla 3. Actividades de Mantenimientos Octomestres. Sección de Instrumentación.**

<b>Listado de Actividades de Mantenimiento Octomestral</b>
<b>Sección de Instrumentación</b>
Equipos Macros
1. Excitatriz.
2. Compuerta de Toma y Captador de Posición.
3. Medidor Nivel de Aceite del Cojinete Combinado del Generador.
4. Monitor de Temperatura.
5. Medidor entre Hierros Zoom.
6. Medidor Nivel de Aceite del Cojinete guía de la Turbina.
7. Monitor de Vibración de la Turbina.
8. Medidor nivel de agua de la cubierta superior de la Turbina.
9. Flujómetros y Manómetros del Generador y Turbina.

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Tabla 4. Actividades de Mantenimientos Octomestres. Sección de Reguladores Automáticos.**

<b>Listado de Actividades de Mantenimiento Octomestral</b>	
<b>Sección de Reguladores Automáticos</b>	
Equipos Macro	
1.	Sistema de Gobernación. Mantenimiento de Gobernador, Mantenimiento General del Tablero, Interruptores de Presión, Electroválvulas, sustitución de Lámparas averiadas.
2.	Mantenimiento de Generador, Mantenimiento al DTL-725; ETR-10; SM-1200 y Componentes del Generador.
3.	Mantenimiento al Circuito de control de posición de paletas con pruebas en seco.
4.	Prueba de Servovalvulas de los modos de Control automático QTL y manual ETR pruebas funcionales del sistema de Gobernación.
5.	Revisión General de cableado y componentes, Revisión de PLC limpieza General.

**Fuente: Elaboración Propia.**

Dentro de estas actividades el personal mantenedor (Técnicos Superiores, Instrumentistas, Ingenieros Industriales, Eléctricos y Electrónicos) deben contar con un KIT de Herramientas específicos y consumibles para cada una de las distintas actividades.

A continuación, se nombrara el KIT de herramienta con la que debe contar el equipo de mantenedores a la hora de realizar los mantenimientos.

### **KIT de Herramientas.**

- Pinzas Hemostáticas 6"
- Juego de llaves Hexagonales Plegables (9): .050-3/16"
- Navaja
- Pinzas (4):
  - Corte Diagonal 4-1/4"
  - Punta Larga con Corte 6-1/2"
  - Articulación Ranurada 6-1/2"
  - De Presión 5"
- Regla de Acero de 6"
- Tijeras de Electricista
- Juego de Destornilladores tipo relojero con 7 piezas planos/Phillips  
Destornilladores (6):
  - Phillips #0 x 2"; #1 x 3"; #2 x 4"
  - Planos 1/8" x 4"; 3/16" x 4"; 1/4" x 4"
- Juego de Dados de 1/4 con 13 Piezas 3/16 – 1/2"
- Flexo Metro de 12'3 mts
- Juego de llaves Torx Plegables (7): T6-T20
- Pelador / Cortador de Cable
- Llave Ajustable 6"
- Linterna
- Maleta de Lona con cierre en color Gris, con dimensiones: 11-1/2" x 10" x 2 1/2"

#### **5.4 Equipos de Prueba.**

Son dispositivos digitales o analógicos que son utilizados para verificar el estado en el que se encuentra un equipo en particular, con la ayuda de los distintos Equipos de Prueba podemos verificar el funcionamiento de las maquinarias y dispositivos eléctricos. Dentro de los distintos equipos de prueba que maneja la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua tenemos el Multímetro el cual es un dispositivo digital que sirve para medir la cantidad de corriente que pasa por el equipo, los radios punto a punto, probadores de termoelementos entre muchísimos otros.

Para la realización de cada una de las actividades de mantenimiento el departamento debe contar con los equipos de prueba específicos, dichos equipos deben encontrarse en perfecto de estado y con disponibilidad inmediata a la hora de que cada mantenimiento. A continuación podremos verificar los equipos de prueba que maneja la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control para la realización del Mantenimiento Octomestral.

1. Multímetros
2. Probador de TermoElementos
3. Transformador de 120/ 220 vac
4. PG – Siemens
5. Radio Punto a Punto
6. Fuente de Corriente
7. Laptop
8. Generador de Señales
9. Pinza Amperimetrica
10. Osciloscopio
11. Inyector de Corriente
12. Fuente de Inyección Trifásica
13. Traductor de Presión

Es de suma importancia que cada uno de los equipos ya nombrados cuenten con un estricto mantenimiento y que los mismos se encuentren en buen estado debido que son necesarios a la hora de la realización de los mantenimientos Octomestres de la empresa.

### **5.5 Plan de Mantenimiento.**

Una vez ya nombradas de manera ordenada las actividades o tareas de mantenimiento a realizar, sumado a esto, en esta etapa se agregó las horas hombre estimadas para realizar cada actividad en el Plan de Mantenimiento, estas se determinaron según indicaciones de los expertos en el área de mantenimiento, tomando en cuenta todos los factores que influyen en el tiempo de reparación y revisión de sistema.

Para comenzar a organizar las actividades, se creó un plan de operación para equipos Macros, donde se asignó el tiempo que van a estar en servicio y a su vez fuera de servicio, esto por recomendación del Departamento de Mantenimiento.

En la tabla 5 y 6 podremos evidenciar todas las actividades que se llevan a cabo en un mantenimiento octomestral de la Sección de Instrumentación y de Reguladores Automáticos, desde el listado de actividades hasta los repuestos que son necesarios reemplazar en cada uno de ellos, con el fin de tener un claro panorama de las necesidades que está presentando el departamento con respecto a los repuestos que deben tener de manera inmediata (Stock de Repuesto) al momento de ejecutar el Mantenimiento.

Tabla 5. Plan de Mantenimiento. Sección de Instrumentación.

	UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DIVISION PLANTA MACAGUA (MICM)						
	PLAN DE MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EQUIPOS MACROS						
Descripción de las Actividades	Duración (Horas)	Requerimiento Personal	Equipos de Protección	Equipos de Prueba	Consumibles	Herramientas	Repuestos
Mantenimiento Octomestral  Excitatriz	4 Horas	2 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> <li>• Guante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetros</li> <li>• Probador de Termoelemento</li> <li>• Transformador 120/ 220 vac</li> <li>• Resistencia variable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1Kg de Trapos</li> <li>• 1 Pote de Limpia Contacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extensión Eléctrica</li> <li>• KIT de Herramienta</li> <li>• Sopladora</li> <li>• Linterna</li> <li>• Aspiradora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fusibles 10 A CC1051CPGRB20 x 127 / 10</li> <li>• Sensor de flujo de agua</li> <li>• Sensor de temperatura de aire de entrada al enfriador</li> <li>• Motor paso a paso para celosías</li> </ul>

<b>Mantenimiento Octomestral</b> <b>Compuerta de Toma y Captador de Posición</b>	4 horas	5 Personas 2 Bomberos 1 Gruero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> <li>• Guantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> <li>• PG – Siemens</li> <li>• Radio punto a punto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ½ Kg de Trapo</li> <li>• 1 Pote de Limpia Contacto</li> <li>• Cilica 150 gr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KIT de Herramientas</li> <li>• Linterna</li> <li>• Sopladora</li> <li>• Brocha</li> <li>• Extensión</li> <li>• Cono de señalización</li> <li>• Arnés de seguridad</li> <li>• Eslinga</li> <li>• Guayas de acero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Batería Lito de 3.6 Voltios</li> <li>• Condensador electrolítico del relé supervisor de fase</li> <li>• Bombillos para el panel de alarma</li> <li>• CPU para el PLC S5</li> <li>• Fuente de poder para PLC</li> </ul>
<b>Mantenimiento Octomestral</b> <b>Medidor de Nivel de Aceite del Cojinete Combinado del Generador</b>	1 Horas	2 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> <li>• Guantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> <li>• Radio Punto a Punto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ½ Kg de Trapo</li> <li>• 1 Pote de Limpia Contacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KIT de Herramienta</li> <li>• + Sopladora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NO USA</li> </ul>
<b>Mantenimiento Octomestral</b> <b>Monitor de Temperatura</b>	3 Horas	2 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¼ kg Trapo</li> <li>• 1 Pote de Limpia Contacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KIT de Herramienta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensador de 50 v y 3.3µf</li> <li>• Condensador electrolítico</li> <li>• Sensores de Temperatura (RTD)</li> </ul>
<b>Mantenimiento Octomestral</b> <b>Zoom Medidor entre Hierros</b>	4 Horas	2 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> <li>• Guantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> <li>• Laptop con programa especial</li> <li>• Interfaz USB-RS 485</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¼ Kg de Trapo</li> <li>• 1 Pote de limpia Contacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KIT de Herramienta</li> <li>• Linterna</li> <li>• Escalera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NO USA</li> </ul>

<b>Mantenimiento Octomestral</b>  <b>Nivel de Aceite del Cojinete guía de la Turbina</b>	2 Horas	2 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Botas</li> <li>•Casco</li> <li>•Guantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Multímetro</li> <li>•Radio Punto a Punto</li> <li>•Inyector de Corriente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•½ Kg de Trapo</li> <li>•1 Pote Limpia contacto</li> <li>•+ Cinta Aislante Eléctrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•KIT de Herramienta</li> <li>•Llave de Combinación 17mm y 24mm</li> <li>•Regla Milimétrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•NO USA</li> </ul>
<b>Mantenimiento Octomestral</b>  <b>Vibración de la Turbina</b>	3 Horas	2 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Botas</li> <li>•Casco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Multímetro</li> <li>•Generador de Señales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•½ Kg de Trapo</li> <li>•1 Pote de Limpia Contacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•KIT de Herramienta</li> <li>•Brocha</li> <li>•Linterna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Condensadores 25 v – 470µf</li> <li>35 v – 470µf</li> <li>25 v – 100µf</li> </ul>
<b>Mantenimiento Octomestral</b>  <b>Medidor de Nivel de Agua Cubierta Superior de la Turbina</b>	1 Hora	2 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Botas</li> <li>•Casco</li> <li>•Guantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Radio Punto a Punto</li> <li>•Multímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•½ Kg de Trapo</li> <li>•1 Pote de Limpia Contacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•KIT de Herramienta</li> <li>•Llave de combinación 24mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•NO HAY</li> </ul>
<b>Mantenimiento Octomestral</b>  <b>Flujómetros y Nanómetros de la Turbina y Generador</b>	2 Horas	2 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Botas</li> <li>•Casco</li> <li>•Guantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Multímetro</li> <li>•Radio Punto a Punto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•½ Kg de Trapo</li> <li>•1 Pote de Limpia Contacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•KIT de Herramienta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•NO HAY</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6. Plan de Mantenimiento. Sección de Reguladores Automáticos.**

	UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DIVISION PLANTA MACAGUA (MICM)						
	PLAN DE MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL SECCIÓN DE REGULADORES AUTOMATICOS EQUIPOS PRINCIPALES						
Descripción de las Actividades	Duración (Horas)	Requerimiento Personal	Equipos de Protección	Equipos de Prueba	Consumibles	Herramientas	Repuestos
Mantenimiento Gobernador, Mantenimiento General del Tablero.  Interruptores de presión.  Sustitución de lámparas averiadas.	4 Horas	4 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> <li>• Protección Auditiva</li> <li>• Lentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> <li>• Bomba Hidráulica</li> <li>• Juego de Conexiones o Mangueras de Alta Presión</li> <li>• Inyector de Corriente</li> <li>• Traductor de Presión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lija 260</li> <li>• ½ kg de Trapo</li> <li>• ½ Pote de Limpia Contacto</li> <li>• 1 Pote Limpia Superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sopladora</li> <li>• KIT de Herramientas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lámparas de Señalización Tipo MIDGET de 60v</li> <li>• Bombillo tipo Rosca 120v</li> <li>• Ventiladores Cuadrados 115v /60Hz</li> <li>• Relé                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 48v / 8 pines</li> <li>➢ 115v / 11 pines</li> </ul> </li> <li>• Baterías de 9v</li> </ul>

<b>Mantenimiento del Gobernador, Mantenimiento DTL-725, ETR-10, SM-1200 y Componentes del Generador</b>	4 Horas	3 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> <li>• Protección Auditiva</li> <li>• Lentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> <li>• Pinza Amperimetrica</li> <li>• Generador de Señales</li> <li>• Inyector de Corriente</li> <li>• Laptop</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 gr de Trapo</li> <li>• 1 Pote de Limpia Contacto</li> <li>• 1 Pote de Limpia Superficie (PRIDE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sopladora</li> <li>• KIT de Herramientas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventiladores</li> <li>• Transformadores de corriente a corriente Camille Bauer 842I10 / 20mA</li> <li>• Diodos 3,2v / 6,3v</li> <li>• Relés 48v / 8pines / 11 pines</li> <li>• Resistencia 200Ω / led Amarillo 3mm</li> </ul>
<b>Mantenimiento Circuito de Control de Posición de paletas con pruebas en seco</b>	4 Horas	3 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> <li>• Guantes</li> <li>• Lentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> <li>• Pinza Amperimetrica</li> <li>• Osciloscopio</li> <li>• Inyector de Corriente</li> <li>• Laptop</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 gr Kg de Trapo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KIT de Herramientas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EPR 12</li> <li>• Transductores de posición de paletas directrices</li> <li>• Tarjeta de salida de control 3B725</li> <li>• Octoacopladores Entrada IDC5Q y Salida ODC5Q</li> <li>• Traductor de potencia <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 100 μf / 63v</li> <li>➢ 10 μf / 160v</li> </ul> </li> </ul>
<b>Prueba de Servovalvulas de los modos de control automáticos</b>	1 Horas	2 Personas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> <li>• Guantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> <li>• Laptop</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NO USA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KIT de Herramienta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NO USA</li> </ul>

<p><b>Revisión General de Cableado y Componentes</b>  <b>Revisión de TCU</b>  <b>Limpieza General</b></p>	<p>4 Horas</p>	<p>4 Personas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Casco</li> <li>• Protección Auditiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> <li>• Inyector de corriente</li> <li>• Pinza Amperimetrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 gr de Trapo</li> <li>• ½ Pote de Limpia Contacto</li> <li>• Limpia Superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sopladora</li> <li>• KIT de Herramientas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lámparas de Señalización: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ MIDGET 48v / 20mA</li> <li>➤ BAYONETA 130v / 20mA / 2,7cm</li> <li>➤ ROSCA 60v / 50mA / 2,8cm</li> </ul> </li> <li>• Ventiladores 115v / 60Hz / 28w</li> <li>• Bombillo de tubo Fluorescentes 3C TF 18w / F20D</li> <li>• Arrancadores Starte para lámparas con condensador 10-20w / 110v - 240</li> <li>• Resistencias 1,3KΩ / 4w</li> <li>• Relé de Paro <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ MTI / 48v / 125v</li> </ul> </li> </ul>
---	----------------	-------------------	---	--	---	--	---

**Fuente: Elaboración Propia.**

## **5.6 Plan de Compra Real.**

Una vez ya evaluado y visto los Planes de Mantenimiento de las secciones de Instrumentación y Reguladores automáticos de la Unidad de Mantenimiento de Instrumentación y Control Macagua, podemos tener una clara visión de la cantidad de repuestos y consumibles mínimos necesarios con la que debe contar la Unidad a la hora de realizar los Mantenimiento, con el fin de que podamos ser más eficiente y eficaces.

Es necesario para la unidad elaborar un Plan de Compra real para poder contar con un Stock de Repuesto mínimo de este modo podemos reducir los tiempos de trabajo y disminuir los tiempos de paradas de los generadores. En la tabla 6 podremos observar las ordenes de repuestos mínima que necesita la unidad a la hora de gestionar el Mantenimiento Octomestral.

Dentro de cada mantenimiento no solo necesitamos repuestos, sino también los consumibles que son de suma importancia para cada uno de los mantenimientos, por eso en la tabla N°8 tendremos una vista más clara de la cantidad de consumible mínimo necesario para realizar los mantenimientos.

**Tabla 7. Plan de Compra Real por Mantenimiento Octomestral.**

 <b>UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DIVISION PLANTA MACAGUA (MICM)</b> <b>PLAN DE COMPRA RELA</b> <b>(POR MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL)</b>			
<b>Sección</b>	<b>Equipo</b>	<b>Nombre del Repuesto / Descripción</b>	
<b>Instrumentación</b>	Excitatriz	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fusibles 10 A</li> <li>2. Sensor de flujo de agua.</li> <li>3. Sensor de Temperatura de aire de entrada al enfriador</li> <li>4. Motor paso a paso celosías</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 12 Unid</li> <li>2. 5 Unid</li> <li>3. 5 Unid</li> <li>4. 2 Unid</li> </ol>
<b>Instrumentación</b>	Compuerta de Toma y Captador de Posición	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Batería LITIO de 3.6 voltios</li> <li>2. Condensador Electrolítico del relé supervisor de fase</li> <li>3. Bombillos panel de alarma</li> <li>4. Fuente de poder para el PLC S5</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2 Unid</li> <li>2. 6 Unid</li> <li>3. 100 Unid</li> <li>4. 2 Unid</li> </ol>
<b>Instrumentación</b>	Monitor de Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Condensadores de 50 v (Voltios) - 3.3<math>\mu</math>f (microfaradio)</li> <li>2. Condensador electrolítico</li> <li>3. Sensores de Temperatura (RTD)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sin especificación</li> <li>2. Sin especificación</li> <li>3. Sin especificación</li> </ol>
<b>Instrumentación</b>	Monitor de Vibración de Turbina	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Condensadores 25 v – 470 <math>\mu</math>f 35 v – 470 <math>\mu</math>f 25 v – 100 <math>\mu</math>f</li> </ol>	4 de C/U
<b>Registros Automáticos</b>	Sistema de Gobernación	Tipo MIDGET 60 v	100 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Sistema de Gobernación	Ventiladores Cuadrados 115v / 60Hz	10 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Sistema de Gobernación	Bombillo tipo Rosca 120v	15 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Sistema de Gobernación	Relé: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 48v / 8 pines</li> <li>2. 115v / 11 pines</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 12 Unid</li> <li>2. 18 Unid</li> </ol>

<b>Registros Automáticos</b>	Transductor de Presión	Baterías de 9v	1 Caja
<b>Registros Automáticos</b>	Gobernador, DTL, ETR, SM	Ventiladores	6 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Gobernador, DTL, ETR, SM	Transformadores de corriente a corriente Camille Bauer 842I10 / 20mA	10 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Gobernador, DTL, ETR, SM	Diodos 3,2v / 6,3v	20 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Gobernador, DTL, ETR, SM	Relés 48v / 8pines / 11 pines	12 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Gobernador, DTL, ETR, SM	Resistencia 200Ω / led Amarillo 3mm	72 de C/U
<b>Registros Automáticos</b>	Circuito de Control de Posición	EPR 12	6 unid
<b>Registros Automáticos</b>	Circuito de Control de Posición	Transductores de posición de paletas directrices	12 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Circuito de Control de Posición	Tarjeta de salida de control 3B725	6 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Circuito de Control de Posición	Octoacopladores 1.Entrada IDC5Q 2.Salida ODC5Q	1. 14 Unid 2. 20 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	Circuito de Control de Posición	Traductor de Potencia 1. 100 μf / 63v 2. 10 μf / 160v	1. 30 Unid 2. 30 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	TCU	1. MIDGET 48v / 20mA 2. BAYONETA 130v / 20mA / 2,7cm 3. ROSCA 60v / 50mA / 2,8cm	200 de C/U
<b>Registros Automáticos</b>	TCU	Ventiladores 115v / 60Hz / 28w	30 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	TCU	Bombillo de tubo Fluorescentes 3C TF 18w / F20D	84 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	TCU	Arrancadores Starte para lámparas con condensador 10- 20w / 110v - 240	84 Unid

<b>Registros Automáticos</b>	TCU	Resistencias 1,3K $\Omega$ / 4w	40 Unid
<b>Registros Automáticos</b>	TCU	Relé de Paro MTI / 48v / 125v	20 Unid

**Fuente: Elaboración Propia.**

Una vez terminado el Plan de Compra, podemos observar que el sistema de Gobernación de las unidades Generadoras es uno de los sistemas que presenta más fallas en el transcurso del año es necesario acotar esto debido a que se realizan actividades de Mantenimiento Correctivo y Preventivo, pero debido a la obsolescencia de tecnología y de repuestos en el mercado cada vez se dificulta más realizar las actividades de mantenimiento programadas e imprevistas en cada una de las actividades de Mantenimiento.

**Tabla 8. Consumibles Necesarios por Mantenimiento Octomestral de las dos Secciones.**

	<b>UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DIVISIÓN PLANTA MACAGUA (MICM)</b>	
	<b>PLAN DE COMPRA DE CONSUMIBLE (POR MANTENIMIENTO OCTOMESTRAL)</b>	
<b>Nombre del Consumible</b>	<b>Cantidad</b>	
Trapo	2 Bultos de 20kg c/u	
Limpia Contacto	2 Cajas	
Cinta Aislante Eléctrica	5 Rollos	
Cilica	1 kg	
Limpia Superficie	3 Cajas	
Lija 260	½ Caja	
Teipe Color Blanco	½ Caja	
Tirrap Plástico	1 Paquete	

**Fuente: Elaboración Propia.**

## **5.7 Gestión de Mantenimiento Octomestral de la Unidad de Instrumentación y Control Macagua.**

La Unidad organizativa en estudio a pesar de poseer un Plan de Mantenimiento bien estructurado sigue presentado fallas a la hora de gestionar el mantenimiento debido a que no cuenta con una planificación bien estructurada, razón por la cual se hace necesario la implementación de un método de Gestión de Mantenimiento Octomestral que permita el control y flujo correcto de las actividades llevadas a cabo en cada uno de los mantenimientos. Como parte de la propuesta para solventar un poco esta problemática se presenta a continuación una tabla (Ver Tabla N°9) de un nuevo modelo de Plan de Mantenimiento que ayudara a gestionar con mayor orden cada uno de los Octomestres de la Unidad de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua.

Es necesario que gestiones como esta se lleve a cabo en cualquier empresa cuyas deficiencias estén ligadas a los Planes de Mantenimiento y Stock de Repuesto independientemente de la razón por lo cual esto suceda.

La idea principal de este modelo de gestión de Mantenimiento basado en un Plan de Mantenimiento Octomestral que será cumplido por el personal ya designado en la Unidad, es solventar la falta de repuestos que persistirá ya que la empresa no cuenta con los recursos necesarios para realizar todas las ordenes de compras necesarias para la Unidad de Mantenimiento Instrumentación y Control Macagua; Por ende es de suma importancia que este tipo de ideas sean tomadas en cuenta pues permite a la Unidad de Mantenimiento funcionar mejor incluso con las deficiencias existentes. Tomando en cuenta todo lo planteado se podrá obtener como resultado el flujo correcto de actividades de Mantenimiento Octomestral.

Es necesario adaptarse a las necesidades de la empresa pues no siempre se puede contar con todos los recursos que son requeridos, buscar soluciones complementarias no es solo obligación de una alta gerencia sino también de todos aquellos individuos que forman parte de esta estructura organizacional.

## CONCLUSIONES

Una vez cumplidos cada uno de los objetivos específicos establecidos, y que a su vez permitió alcanzar el objetivo general de este trabajo de investigación.

Luego del análisis del estado actual del plan de Compra y el Programa de Mantenimiento de Casa de Maquinas N°2 de la Central Hidroeléctrica “Antonio José de Sucre” – Macagua, se plantean las siguientes conclusiones:

1. A través del estudio de los manuales de los equipos de prueba así como la información suministrada por el personal capacitado de CORPOELEC, se logró describir de forma detallada la necesidad de todos y cada uno de los equipos de prueba empleados en los mantenimientos.
2. En cuanto a las operaciones diarias en la casa de máquinas encontramos una mezcla entre actividades de mantenimiento lo que exige una planificación muy precisa de recursos para CORPOELEC, ellos administran todas las actividades de mantenimiento basándose en tres herramientas, el plan de Compra de Mantenimiento, el Plan de Mantenimiento y la programación de actividades rutinarias
3. Se decidió actualizar el programa de Mantenimiento de las unidades generadoras para mejorar 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.
4. Se logró establecer por medio del personal que labora en las distintas secciones del departamento la cantidad mínima de

repuestos y consumibles necesarios para cada uno de los mantenimientos Octomestres planificados durante el año.

5. Se dio a conocer por medio de la aplicación del diagrama causa – efecto las posibles causas de falla dentro del departamento el cual arrojó más riesgos en el área de métodos, por tanto es recomendable realizar mejoras en el área de planificación y organización,
6. Por último se elaboró un Plan de Compra donde se pudo observar los distintos repuestos y componentes Electrónicos que son necesarios a la hora de gestionar el Programa de Mantenimiento Octomestral de las unidades Generadoras.

Cabe destacar que el cumplimiento de cada uno de los objetivos generales permitió la adecuada realización del objetivo específico subsiguiente, lo cual permitió a su vez, cumplir con lo establecido en el objetivo general de este trabajo de investigación. De la misma manera se pudo lograr la actualización del Plan de Mantenimiento y la creación de un Plan de Compra tomando en cuenta las circunstancias y requerimientos actuales del Departamento de Mantenimiento de Instrumentación y Control de la Central Hidroeléctrica “Antonio José de Sucre” – Macagua.

## RECOMENDACIONES

- El Departamento deberá realizar actualizaciones de los documentos normalizados, asociados al proceso de ejecución y planificación de los Mantenimientos.
- Relacionar el plan de mantenimiento planificado con los planes de compra del Departamento ya que los mismos no se encuentran ligados.
- El Departamento no maneja costos actualizados asociados al Mantenimiento, las compras se realizan a través de la figura de caja chica en su mayoría para compras de componentes electrónicos e insumos.
- El Departamento deberá realizar inversiones en adquisición de herramientas y equipos de pruebas, debido que el mismo no cuenta con equipos nuevos desde hace 5 años.
- Gestionar una lista de componentes electrónicos para sistemas que sean rutinariamente reemplazados en los Mantenimientos preventivos.

## BIBLIOGRAFÍA

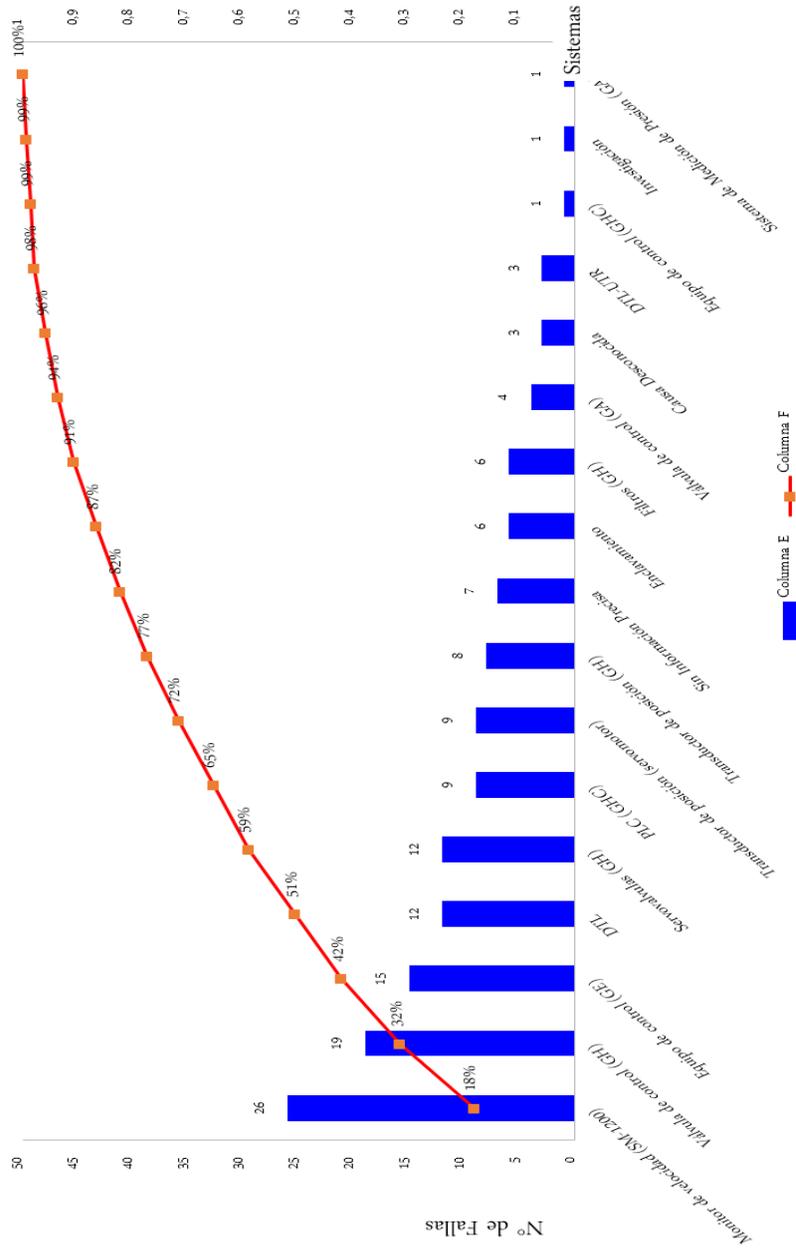
- **HUMBERTO GUTIÉRREZ PULIDO** “Calidad total y Productividad” Tercera Edición.
- **KAORU ISHIKAWA** “¿Que es el Control Total de Calidad? La Modalidad Japonesa” 1986.
- **ENARO MOSQUERA CASTELLANOS (2002)**. Apoyo Logístico para la Administración del Mantenimiento Industrial (4ta Edición). Madrid Edición Barcelona.
- **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).
- **MONOGRAFÍAS.COM (2010). MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL,** [en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>

# **ANEXOS**

# **ANEXOS N°1**

**Diagrama de Pareto para el Sistema de Gobernación Casa de  
Maquinas N°2 Central Hidroeléctrica “Antonio José de Sucre” –  
Macagua.**

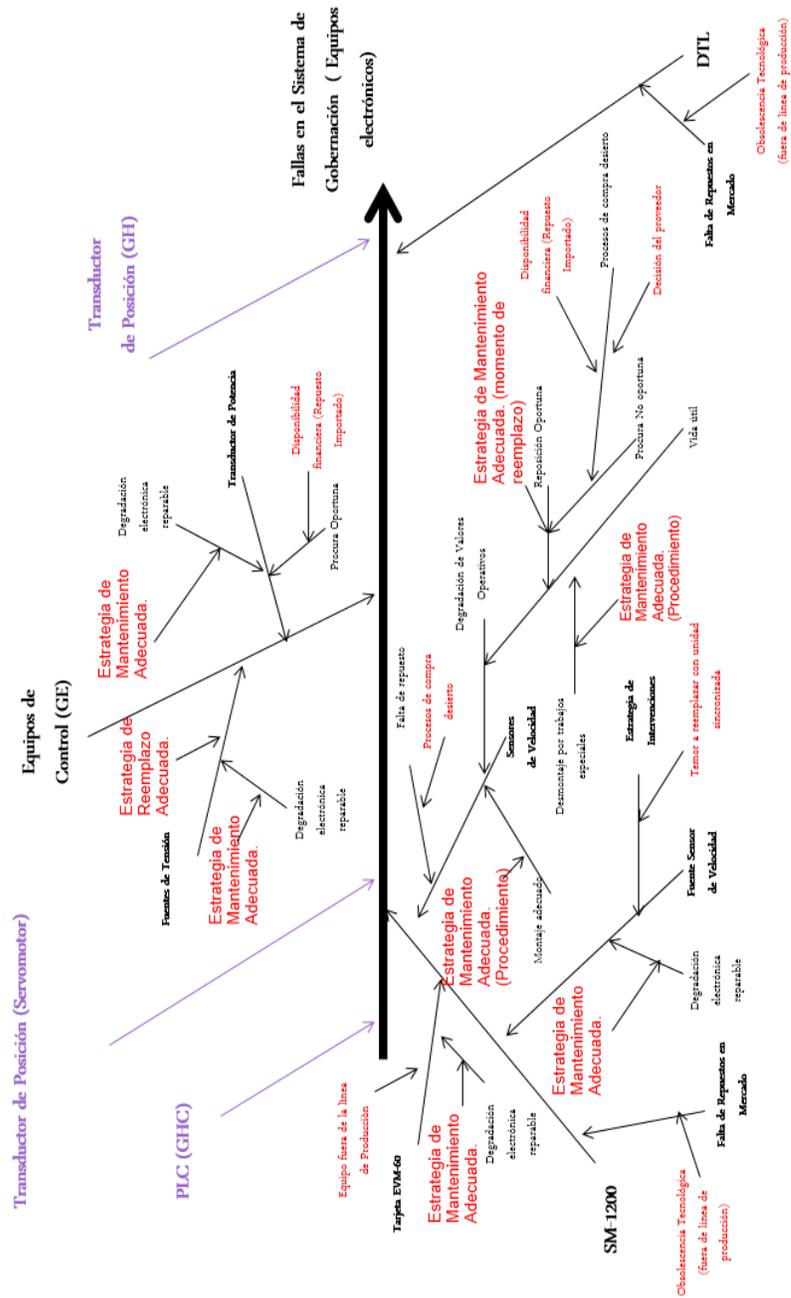
DIAGRAMA DE PARETO DE FRECUENCIA DE FALLAS GOBERNADOR CM2 Y CM3



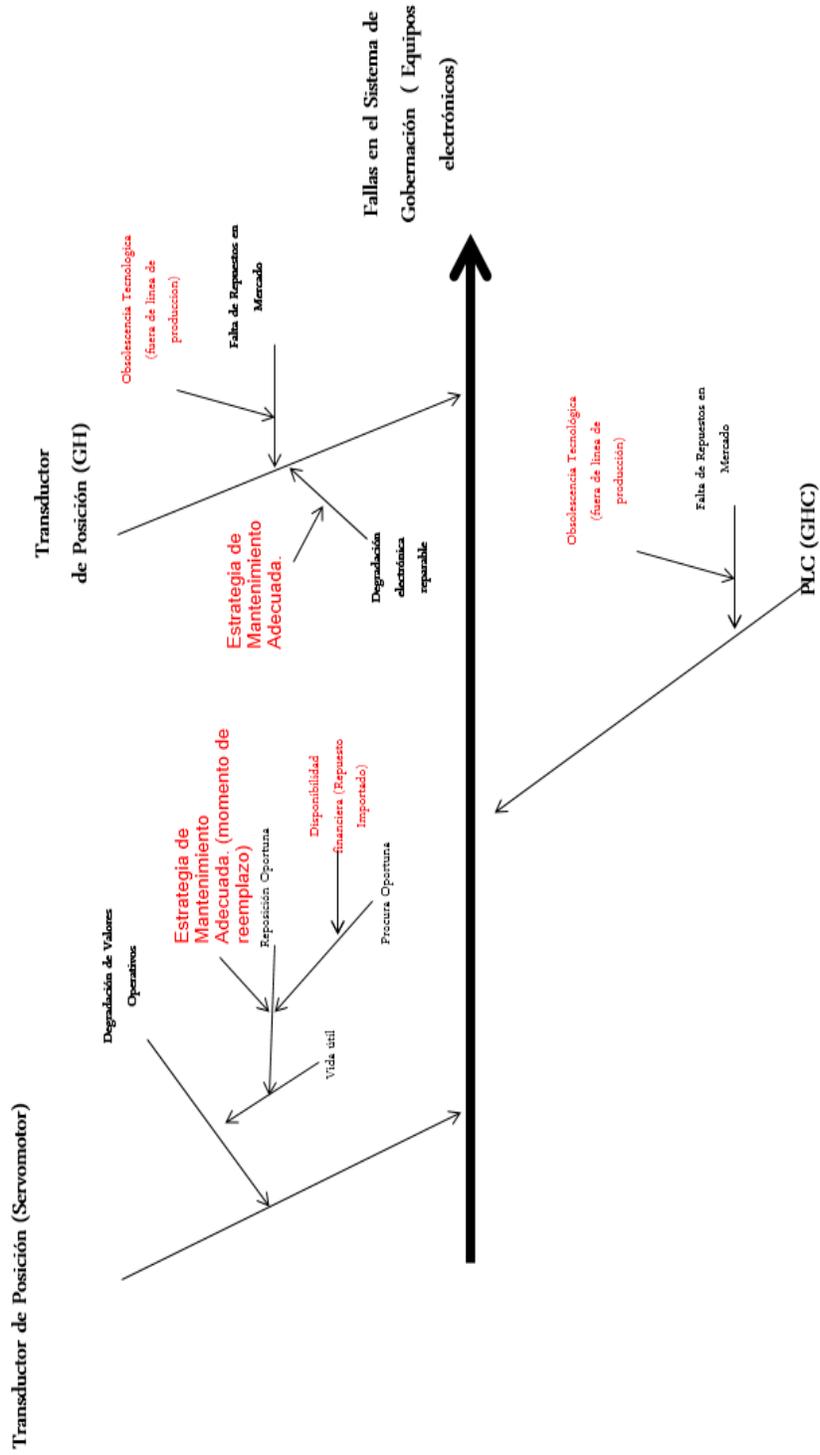
## **ANEXOS N°2**

**Diagrama Causa – Efecto del Sistema de Gobernación Casa de  
Maquinas N°2 Central Hidroeléctrica “Antonio José de Sucre” –  
Macagua.**

## GOBERNADOR (1/2)



## GOBERNADOR (2/2)



# **Anexos N°3**

**Nuevo Plan de Mantenimiento**

**Fuente: Elaboración Propia.**

 <b>CORPOELEC</b> <small>CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL</small>	<b>Planta Macagua</b> <b>Departamento de Mantenimiento</b> <b>de Instrumentación y Control</b> <b>MANTENIMIENTO</b> <b>OCTOMESTRAL SECCION DE</b> <b>INSTRUMENTACION CM2</b>	<b>Fecha de</b>	<b>Fecha de</b>	<b>Fecha</b>
		<b>Revisión:</b>	<b>Aprobación:</b>	<b>Emisión:</b>
		--/--/--	--/--/--	--/--/--

<b>Fecha:</b>		<b>Nº</b>		<b>Nº</b>		<b>Nº</b>	
		<b>Solicitud:</b>		<b>Permiso:</b>		<b>Anomalía:</b>	
<b>Instalación o</b>		EXCITATRIZ		<b>Trabajo a</b>		MANTENIMIENTO	
<b>Equipo:</b>				<b>Efectuar:</b>		OCTOMESTRAL	
<b>Hora de Apertura:</b>			<b>Hora de Cierre:</b>			<b>Duración:</b>	

LISTA DE ACTIVIDADES	EJECUTADO
Inspección Visual	
Verificación de funcionamiento de los bombillos de señalización	
Revisión, limpieza interna y externa (incluyendo el techo), de todos los cubículos.	
Revisión y ajuste de conexiones de ser necesario.	
Medición de voltaje de 125Vdc $\pm 10\%$ en la bornera ER-X1: 47(+), 48(-) y 49(+), 50(-).	
Medición de voltaje de 120Vac $\pm 10\%$ en la bornera ER-X1: 45 y 46.	
Inspección de funcionamiento de +48Vdc y $\pm 15$ Vdc en las Fuentes de alimentación UN0760 (3 Fuentes).	
Medición de voltaje de +48Vdc en las Fuentes de alimentación UN0098 (3 Fuentes).	
Medición de voltaje de +24Vdc, +5Vdc y $\pm 15$ Vdc en las fuentes UN0664.	
Revisión y ajuste de los Indicadores analógicos (4-20mA), en caso de ser necesario.	
Apertura y cierre del Interruptor de Campo (ON/OFF)(Local y Remoto)	
Conmutación de Canales I y II . (Local y Remoto)	
Conmutación de enfriadores 1 y 2	
Tablero Excitación Inicial y Des excitación	
Revisión y ajuste de conexiones, en caso de ser necesario.	

OBSERVACIONES

JEFE DE SECCION	
Nombre	Firma

RESPONSABLE DEL TRABAJO	
Nombre	Firma

PERSONAL QUE PARTICIPO EN EL TRABAJO			
Nombre		Firma	
HERRAMIENTAS, MATERIALES, EQUIPOS Y REPUESTOS UTILIZADOS			
Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad
Multímetro Digital		Caja de Herramientas	
Probador de Termoelemento		Lija 260	
Transformador 120/ 220 vac		Limpiador de Superficie	
Radio Punto a Punto		Trapos	
Fuente de corriente		Bombillos de Señalización de 130 V, 20 mA, tipo Bayoneta	
Laptop			
Generador de Señales			
Pinza Amperimetrica			
Osciloscopio			
Inyector de Corriente			
Fuente de Inyección Trifásica			
Otros:			