

**PLAN DE MANTENIMIENTO ELECTRICO Y ELECTRONICO DE LA CENTRAL
DE GENERACION ELECTRICA DEL MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA**



Javier Alfonso Grueso Cadena

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Facultad de Ingenierías
Programa de Ingeniería Electrónica
Popayán 2016

**PLAN DE MANTENIMIENTO ELECTRICO Y ELECTRONICO DE LA CENTRAL
DE GENERACION ELECTRICA DEL MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA.**

Javier Alfonso Grueso Cadena

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO ELECTRONICO

Director

Geovanny Alberto Catamuscay Medina

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería Electrónica

Popayán 2016

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres por su continuo esfuerzo permitiendo lograr este paso tan importante en mi vida; de igual manera a mi director el ingeniero Geovanny Alberto Catamusca Medina por su tiempo, y orientación en el desarrollo de este trabajo modalidad pasantía, así como a la empresa de generación de energía Gensa S.A E.S.P por permitirme realizar este trabajo para mejorar la calidad de vida de la comunidad de Guapi.

El autor.

DEDICATORIA

A mis padres, el pilar de mi vida, que con sus valores me inculcaron lo que es el deseo de superación en cada paso de la vida.

A mis compañeros de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, que son parte importante de este proceso.

A Dios, gran parte de este logro es suyo.

AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA.....	4
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCION.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1 JUSTIFICACION	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 <i>OBJETIVO GENERAL.....</i>	<i>14</i>
1.2.2 <i>OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</i>	<i>14</i>
1.3 ENFOQUE METODOLOGICO.....	15
1.4 TRABAJOS RELACIONADOS	17
1.5 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	18
2. MARCO REFERENCIAL	19
2.1 MARCO LEGAL	19
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	20
2.2.1 <i>SUBESTACIÓN ELÉCTRICA</i>	<i>20</i>
2.2.2 <i>FUNCIONES PRINCIPALES DE UNA SUBESTACIÓN</i>	<i>21</i>
2.2.3 <i>TIPOS DE SUBESTACIONES.....</i>	<i>22</i>
2.2.4 <i>CLASIFICACIÓN DE LAS SUBESTACIONES.....</i>	<i>23</i>
2.3 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	24
2.4 FILOSOFIA DEL MANTENIMIENTO	27
2.5 DISPOSITIVOS DE LA CENTRAL ELECTRICA	30
2.6 SISTEMA DE MONITOREO	37
3. PLAN DE MANTENIMIENTO	40
3.1 FORMATOS PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO	40
3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	42
4. SISTEMA DE MONITOREO PARA LOS RECONECTADORES	56
5. APORTE DEL ESTUDIANTE A LA EMPRESA.....	63

5.1	APORTES EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO	63
5.2	APORTES EN EL SISTEMA DE MONITOREO DE RECONECTADORES	64
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
6.1	CONCLUSIONES.....	65
6.2	RECOMENDACIONES.....	66
7.	BIBLIOGRAFÍA	67

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: LISTADO GENERAL DE EQUIPOS	41
TABLA 2: DISPOSITIVOS PARA LA MEDICION DE AISLAMIENTO DE CABLES DE POTENCIA	42
TABLA 3: DISPOSITIVOS PARA LA MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	44
TABLA 4: RELACION TENSION NOMINAL CONTINUA	45
TABLA 5: RESISTENCIAS RECOMENDADAS	46
TABLA 6: RELACION DE AISLAMIENTO – IP MINIMO	47
TABLA 7: DISPOSITIVOS PARA LA MEDICION DE PARAMETROS EN CONTACTOS	47
TABLA 9: PARAMETROS DE FASE R,S,T	49
TABLA 9: PARAMETROS DE FASE R,S,T	50
TABLA 10: DISPOSITIVOS PARA LA REVISION ELECTRICA DEL TABLERO	51
TABLA 11: FORMATO DE INVENTARIO	52
TABLA 12: CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	15
FIGURA 2. ORGANIGRAMA DE GENSA S.A.	19
FIGURA 3. PROCESO DE GENERACION, TRASMISION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA	27
FIGURA 4. GRUPO ELECTROGENO	31
FIGURA 5. GRUPO ELECTROGENO MTU 500KW Y 900KW	32
FIGURA 6. INTERRUPTOR UNIDAD CUMIS	32
FIGURA 7. INTERRUPTORES UNIDADES MTU 2,3 Y 4	33
FIGURA 8. INTERRUPTOR UNIDAD MTU5	33
FIGURA 9: BARRAS DE CONEXIÓN	34
FIGURA 10. CELDA DE PROTECCION Y SINCRONISMO	34
FIGURA 11. INTERRUPTORES DE LOS TRANFORMADORES 1 Y 2	35
FIGURA 12. TRANSFORMADORES DE ALTA Y MEDIA TENSION	35
FIGURA 13. SEPAM	36
FIGURA 14. RECONECTADORES DE LOS CIRCUITOS DESALIDA	37
FIGURA 15. FUENTE DE ALIMENTACION DE MERGENCIA	37
FIGURA 16. CONTROLADOR Y UNIDAD DE INTERRUPTOR	57
FIGURA 17. SOFTWARE WSOS5	58
FIGURA 18. VENTANA DE INICIO	59
FIGURA 19. CONFIGURACION NUEVO PROYECTO	60
FIGURA 20. USB DIVICE	60
FIGURA 21. VENTANA DE TRABAJO	61
FIGURA 22. CONFIGURACION DE COMUNICACION	62
FIGURA 23. CONFIGURACION DE RED LOCAL	63
FIGURA 24. MANTENIMIENTOS REALIZADOS ANTERIORMENTE EN LA EMPRESA	63

RESUMEN

En este trabajo de investigación, bajo la modalidad de pasantía que a continuación se presenta se realiza el estudio de los procesos de mantenimiento para realizar un plan aplicado a la central energética de Guapi, además de presenta los diferentes requerimientos a tener en cuenta para los dispositivos eléctricos y electrónicos que se encuentran en el sistema energético, tales como: lista de chequeos, elaboración de informes, normas técnicas, manejo de desechos y demás consideraciones.

Con el cumplimiento de los objetivos planteados, se obtuvieron las especificaciones de un plan de mantenimiento y la información pertinente que establecen el punto de partida de diferentes proyectos académicos en el ámbito energético.

Palabras claves:

ABSTRACT

In this research, in the form of internship which then presents the study of maintenance processes is performed for a plan applied to the power plant Guapi, plus presents the different requirements to be considered for devices electrical and electronic found in the energy system, such as: list of checks, reporting, technical standards, waste management and other considerations.

With the fulfillment of the objectives, the specifications of a maintenance plan and relevant information to establish the starting point of different academic projects were obtained.

Keywords:

INTRODUCCION

El presente proyecto surge debido a las diferentes necesidades que presenta la comunidad de Guapi-Cauca, respecto al servicio de energía eléctrica que en la actualidad se encuentra ligada como un servicio vital, la cual influye en la forma de vivir, comunicarse, prestar servicios en el ámbito de la salud entre otros; debido a lo manifestado por la comunidad respecto a los cortes de energía continuos y restablecimiento no inmediato de la misma, acción que afectaba a los guapienses por días y a veces semanas, se planteó la ejecución de un plan de mantenimiento para los diferentes equipos de la central eléctrica, así como un sistema de monitoreo a los dispositivos conocidos como reconectores.

Dicho plan de mantenimiento permite de forma preventiva la generación de fallas posteriores de los equipos, además de permitir una ejecución ordenada y optima del servicio, no obstante, el proceso de monitoreo, se realiza con el fin de tener un reporte inmediato respecto a una falla evaluado en dichos elementos, para así tomar las respectivas correcciones con el operario para el proceso de conexión en el menor tiempo posible.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La central generadora de energía eléctrica ubicada en el municipio de Guapi en el departamento del Cauca, cuenta con diversos dispositivos eléctricos y electrónicos, los cuales deben ser revisados periódicamente para detectar anomalías en el funcionamiento, garantizando que los equipos cumplan con la demanda y eficiencia energética requerida por la comunidad, ya que se podría incurrir en un racionamiento energético indefinido por el simple hecho de encontrarse en una zona de difícil acceso.

Desde esta perspectiva, la eficacia del servicio eléctrico depende en gran medida del continuo monitoreo de las unidades de control de sobrecargas o cortocircuitos internos o externos de la central.

Según datos históricos suministrados por la empresa, en varias ocasiones se ha presentado el aislamiento de uno de los dos circuitos de distribución eléctrica, a esta problemática se le suma el hecho de que no tienen implementado ningún tipo de señalización o alarma, dejando la detección de la anomalía a criterio de los operadores de turno, los cuales tan solo se dan cuenta de que el circuito está abierto cuando se reporta la falla por algún usuario del sector afectado.

Con el propósito de dar solución a la problemática expuesta anteriormente, se pretende implementar un plan de mantenimiento eléctrico y electrónico de todos los dispositivos de media y alta tensión de la central eléctrica, en conjunto a la implementación de un sistema de monitoreo para los reconectores de distribución eléctrica.

1.1 JUSTIFICACION

El suministro de la energía eléctrica es un servicio básico, determinado como factor crítico en el desarrollo de las condiciones de vida básicas de una comunidad, por lo tanto, los sistemas diseñados para satisfacer esta necesidad debe cumplir con criterios de suministro, calidad y capacidad de acuerdo a la demanda máxima requerida por la comunidad, sin embargo, ante incrementos sustanciales del parámetro de la carga, se genera la necesidad de asegurar la capacidad del sistema, su correcta operación y funcionamiento de cada uno de los elementos que lo componen.

La empresa generadora de energía eléctrica tiene como misión generar energía eficiente para el municipio de Guapi, incluyendo la buena administración de la misma, por consiguiente, todos los equipos, dispositivos y elementos eléctricos y electrónicos tienen que estar en óptimas condiciones para su buen funcionamiento.

Con la finalidad de prevenir fallas en las operaciones de la central eléctrica del municipio de Guapi, es pertinente realizar periódicamente mantenimientos preventivos y en su caso correctivos para garantizar la vida útil a largo plazo de los equipos generadores de la central, con importantes beneficios para los habitantes del municipio, en especial el mejoramiento en los servicios en calidad educativa, calidad en la salud, conservación de los productos del mar y la reducción de zonas de alta peligrosidad en la localidad en franjas nocturnas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer en la central eléctrica del municipio de Guapi un plan para el mantenimiento de equipos y dispositivos eléctricos y electrónicos de baja y media tensión comprendida entre 25V y 57.5KV

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Proporcionar un plan de mantenimiento seguro y confiable para la empresa y los operadores de la central, acorde a lo establecido en la resolución 90708 del 30/08/2013 que hace referencia al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).
- Evitar el deterioro de los equipos de la central, contribuir con la constante evolución del servicio y generar confianza en los usuarios de la comunidad Guapireña.
- Monitorear remotamente los reconectores de distribución eléctrica a través de una pantalla de visualización.

1.3 ENFOQUE METODOLOGICO

Para la formulación y desarrollo del plan de mantenimiento resultante de las actividades ejecutadas en la pasantía, se empleó una metodología que integra el modelo de investigación documental con la construcción de soluciones.

Este enfoque tiene las siguientes fases de referencia, las cuales se muestran en la siguiente figura:



Figura 1: Diagrama de flujo del plan de mantenimiento

Fase de exploración.

- Revisión bibliográfica
- Chequeo de los planos eléctricos de la central
- Estudio de los Manuales y Características de los Dispositivos Eléctricos y Electrónicos de la central objetos de este plan de mantenimiento.

Fase de diseño e implementación

Formulación del plan de mantenimiento

- Correctivo: enfocado a todos los circuitos y dispositivos en mal estado.
- Preventivo: dirigido a transformadores, reconectadores, banco de baterías, ups o inversores, generadores, interruptores de potencia, etc.
- Predictivo: orientado a los grupos electrógenos de la central.

Implementación del sistema de monitoreo de los reconectadores.

Fase de pruebas

- Evaluación del plan de mantenimiento.
- Evaluación del sistema de monitoreo de los reconectadores.

1.4 TRABAJOS RELACIONADOS

A continuación, se mencionan los trabajos relacionados para la realización de este trabajo de investigación en modalidad pasantía.

En Chuncho (2013), el autor realiza una descripción detallada de los dispositivos que se encuentran en la sub estación, plantea un proceso de modernización de la misma por medio de un sistema Scada el cual disminuirá los tiempos de reconexión y por ende los reclamos de los usuarios, además plantea procesos de manipulación y supervisión por parte de los operarios hacia los dispositivos.

En Prado (2004), se presenta un proceso de automatización de una sub estación encargada de la distribución de energía eléctrica a un sector de tipo industrial, el autor desarrolla el levantamiento de la sub estación y ejecuta un plan de manejo para el óptimo funcionamiento de los equipos, finalmente realiza un análisis de costo del proyecto.

Por su parte Garay & Ramírez (2002), plantean por medio de la automatización el control, y monitoreo de los transformadores e interruptores de una sub estación; apoyados en la implementación de un PLC para que realice las mediciones de las diferentes variables eléctricas y así ejercer las acciones de control.

En Baquero (2013), el autor plantea un estudio de confiabilidad del servicio eléctrico de la empresa encargada del sistema de distribución, detalla los tipos de fallas más comunes y define según la normativa la confiabilidad, describiendo de forma general los dispositivos que hacen parte de la red eléctrica.

En Oyarzo (2008), el autor desarrolla un sistema de monitoreo de un reconectador para las diferentes variables eléctricas por medio de una red modbus, y apoyado en la plataforma Yokogawa adquiere datos y visualiza en función del tiempo.

En Bosch (2013) se presentan los diferentes tipos de dispositivos que permiten la detección de fallas en un sistema eléctrico, el autor plantea tres soluciones como lo son el puente h, el puente trifásico y el puente NPC, aplicado a un inversor multinivel.

1.5 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

En el capítulo 2 se presenta el contexto general por medio de la fundamentación teórica para el desarrollo de este trabajo, abordando temas como: definiciones, características, filosofía, respecto al mantenimiento además de presentar algunos trabajos relacionados para la ejecución de este documento.

En el capítulo 3, se identifican los diferentes elementos a los cuales se aplicará el plan de mantenimiento, realizando un ejemplo con tres equipos.

En el capítulo 4, se presenta el proceso para generar el sistema de monitoreo desde la central eléctrica hacia los reconectores, así como la descripción y posterior instalación de la plataforma WSOS5.

El capítulo 5, describe la discusión de resultados obtenidos, y trabajos futuros.

Finalmente, en el capítulo 6, se establecen la bibliografía de este documento.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO LEGAL

A continuación, se describen la misión y la visión de la empresa Gensa S.A, además de describir el organigrama con la cual se establece la estructura organizacional, lo cual plantea la división de todas las actividades de la empresa, las cuales se agrupan para formar áreas o departamentos, estableciendo autoridades, que a través de la organización y coordinación buscan alcanzar objetivos.

Organigrama de Gensa S.A

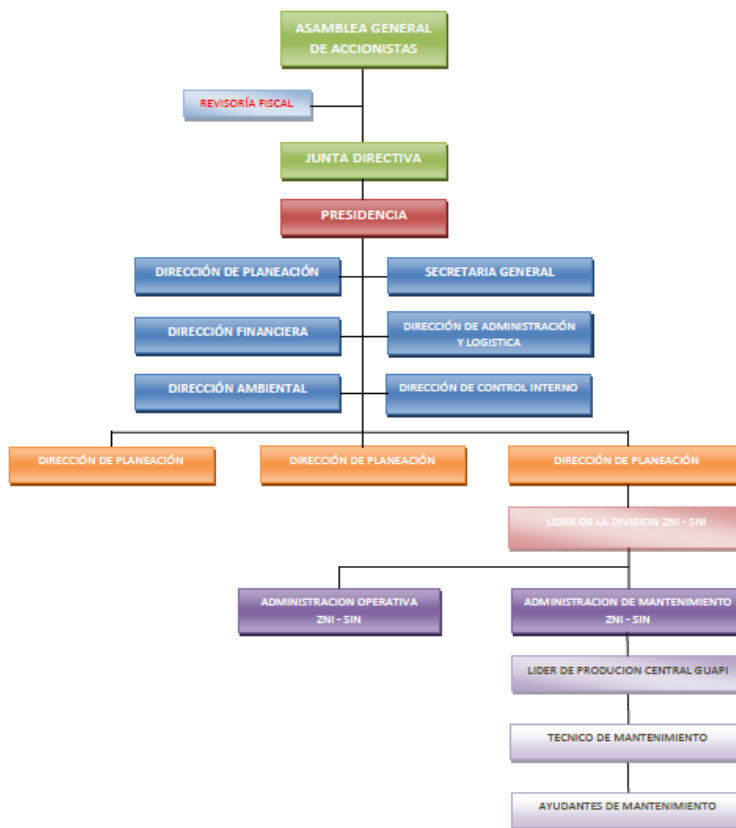


Figura 2. Organigrama de Gensa S.A

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

De acuerdo a Martín (2000), una subestación eléctrica es un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos, que tienen la función de modificar los parámetros de potencia eléctrica (corriente y voltaje) y de proveer un medio de interconexión y despacho entre las diferentes líneas de un sistema, permitiendo el control del flujo de energía, brindando seguridad para el sistema eléctrico, para los mismos equipos y para el personal de operación y mantenimiento.

En toda instalación industrial o comercial es indispensable el uso de la energía, la continuidad de servicio y calidad de la energía consumida por los diferentes equipos, así como la requerida para la iluminación, es por esto que las subestaciones eléctricas son necesarias para lograr una mayor productividad. En las grandes ciudades densamente pobladas, cada día es más notoria la necesidad de abastecer demandas de energía eléctrica que por sus características es imperioso satisfacerlas utilizando sistemas de alta tensión (132 kV en adelante), lo que hace imprescindible la instalación de Subestaciones para esas tensiones (Martín 2000).

El uso de subestaciones eléctricas en sistemas de generación de energía juega un papel relevante y de suma importancia ya que, en una instalación normal, los generadores de la central eléctrica suministran voltajes de 26.000 voltios; voltajes superiores no son adecuados por las dificultades que presenta su aislamiento y por el riesgo de cortocircuitos y sus consecuencias. Este voltaje se eleva mediante transformadores a tensiones entre 138.000 y 765.000 voltios para la línea de transporte primaria (cuanto más alta es la tensión en la línea, menor es la corriente y menores son las pérdidas, ya que éstas son proporcionales al cuadrado de la intensidad de corriente).

En la Subestación, el voltaje se transforma en tensiones entre 69.000 y 138.000 voltios para que sea posible transferir la electricidad al sistema de distribución. La tensión se baja de nuevo con transformadores en cada punto de distribución. La industria pesada suele trabajar a 33.000 voltios (33 kilovoltios), y los trenes eléctricos requieren de 15 a 25 kilovoltios. Para su suministro a los consumidores se baja más la tensión: la industria suele trabajar a tensiones entre 380 y 415 voltios, y las viviendas reciben entre 220 y 240 voltios en algunos países y entre 110 y 125 en otros.

Así mismo, el uso de subestaciones en proyectos de construcción temporales juega un papel importante debido a que, el uso de maquinaria pesada dentro de las obras, el uso de motores trifásicos, máquinas trifásicas y de elevado voltaje requieren forzosamente una transformación de voltaje que se proporciona por las centrales eléctricas y es modificada por la subestación (Martín, 2000). En edificios donde el consumo de potencia es elevado se efectúa la transformación de voltaje con subestaciones eléctricas locales para suplir los requerimientos de potencia propios del sistema.

2.2.2 FUNCIONES PRINCIPALES DE UNA SUBESTACIÓN

Las subestaciones eléctricas (Martín, 2000), son parte integral de un sistema de potencia y forma eslabones importantes entre las centrales de generación, los sistemas de transmisión, los sistemas de distribución y las cargas o usuarios, sus funciones principales son las siguientes:

- Alimentar o proporcionar la potencia eléctrica requerida por los consumidores en forma continua e ininterrumpida.
- Cubrir geográficamente lo máximo que requiere el suministro de la red.
- Dar la máxima seguridad del suministro.
- Acortar lo más posible la duración de las fallas.
- Contribuir a la máxima eficiencia de las plantas y de la red.

- Alimentar la potencia eléctrica dentro de los límites especificados de voltaje.

También se pueden incluir como funciones de las subestaciones, entre otras, las siguientes:

- Aislar un elemento en falla del resto del sistema.
- Permitir que un elemento se pueda desconectar del resto del sistema, para mantenimiento o reparación.
- Para cambiar o transformar los niveles de voltaje de una parte a otra de un sistema o instalación.
- Para controlar el flujo de potencia en el sistema metiendo o sacando elementos del mismo, mediante acciones de switcheo.
- Para proporcionar datos concernientes a los parámetros (voltaje, flujo de corriente, flujo de potencia) para su uso en la operación del sistema.

2.2.3 TIPOS DE SUBESTACIONES

Según Espinosa & Lara (1990), las subestaciones se pueden categorizar de acuerdo con el tipo de función que desarrollan, a continuación, se presentan cada una de ellas:

- **Subestaciones elevadoras**

Estas subestaciones se construyen normalmente como parte de las centrales generadoras de energía eléctrica, cuya función es elevar los niveles de tensión proporcionados por los generadores para transmitir la potencia generada a los puntos de interconexión de la red o a los grandes centros de consumo.

- **Subestación receptora de transmisión**

Es aquella que se construye en la proximidad de los grandes bloques de carga y está conectada a través de líneas de transmisión. La subestación central de transmisión es otra subestación receptora intermedia.

- **Subestación de subtransmisión**

Es aquella construida en general en el centro de los grandes bloques de carga, está alimentada por la subestación receptora, de donde salen los alimentadores de distribución primarios, alimentando directamente los transformadores de distribución y/o las subestaciones del consumidor.

- **Subestación del consumidor**

Generalmente son aquellas construidas en propiedades particulares, alimentadas por medio de alimentadores de distribución primaria, que parten de las subestaciones de subtransmisión y que alimentan los puntos finales de consumo.

2.2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS SUBESTACIONES

Las subestaciones se pueden clasificar de distintas formas a continuación se describirá cada una de ellas.

- **Clasificación basada en el nivel de tensión.**

Por ejemplo: subestaciones de extra alta tensión (765 kV ó mayores), de alta tensión (400, 230 kV), de media tensión (115, 34,5, 69, 13.8, 23 kV), baja tensión (2.4, 0.480, 0.440, 0.220 kV) y subestaciones en alta tensión en corriente directa (HVDC).

- **Clasificación Exterior o Interior.**

Una subestación tipo exterior es aquella instalada a cielo abierto en tanto que una subestación tipo interior es aquella que se encuentra dentro de un edificio o construcción.

- **Clasificación basada en su configuración.**
 - Las subestaciones convencionales aisladas en aire.
 - Las subestaciones aisladas en Hexafloruro de azufre (SF6)
 - Las subestaciones híbridas compuestas por ambos tipos.

- **Clasificación basada en su aplicación**
 - Subestaciones elevadoras.
 - Subestaciones receptoras.
 - Subestaciones de switcheo (sin transformación).
 - Subestaciones de usuario (industriales, comerciales).
 - Subestaciones de carga o propósitos específicos (para hornos de arco eléctrico, etc.).

2.3 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

El objetivo de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) es el de suministrar la potencia eléctrica a las cargas con buena calidad y al menor costo posible (Viqueira, 2004). Un sistema eléctrico está compuesto, en términos generales, por los siguientes subsistemas:

- Generación de energía
- Transmisión
- Subestaciones
- Distribución
- Consumo

Por razones técnico-económicas, la energía se genera, transmite y distribuye, en forma trifásica. A continuación se describen cada una de los subsistemas que componen un sistema eléctrico de potencia:

- **Generación**

La energía eléctrica se genera en las centrales eléctricas; una central eléctrica es una instalación que utiliza una fuente de energía primaria para hacer girar una turbina que, a su vez, hace girar un alternador, que produce energía en corriente alterna sinusoidal a voltajes intermedios, entre 6.000 y 23.000 Voltios.

- Centrales hidroeléctricas
- Centrales termoeléctricas
- Centrales de gas
- Centrales eólicas

- **Transmisión.**

La energía se transporta, frecuentemente a gran distancia de su centro de producción, a través de la red de transporte, encargada de enlazar las centrales con los puntos de utilización de energía eléctrica. Para un uso racional de la electricidad es necesario que las líneas de transporte estén interconectadas entre sí con estructura de forma mallada, de manera que puedan transportar electricidad entre puntos muy alejados, en cualquier sentido. Estas líneas están generalmente construidas sobre grandes torres metálicas y a tensiones superiores a 66.000 Voltios.

- **Subestaciones.**

Las instalaciones llamadas subestaciones son plantas transformadoras que se encuentran junto a las centrales generadoras (*Subestación elevadora*) y en la

periferia de las diversas zonas de consumo (*Subestación reductora*), enlazadas entre ellas por la Red de Transporté.

- **Distribución**

Las redes de distribución de energía (Espínosa y Lara, 1990) se encuentran en áreas urbanas y rurales, pueden ser aéreas, o subterráneas (estéticamente mejores, pero más costosas). La red de distribución está formada por la red en AT (suele estar comprendida entre 6.000 a 23.000 Voltios) y en BT (400/230 V).

- **Consumo**

En los centros de consumo de energía eléctrica se puede operar en baja o alta tensión. A continuación, se ilustra la generación subestación de transformación transmisión subestación de transformación consumo:

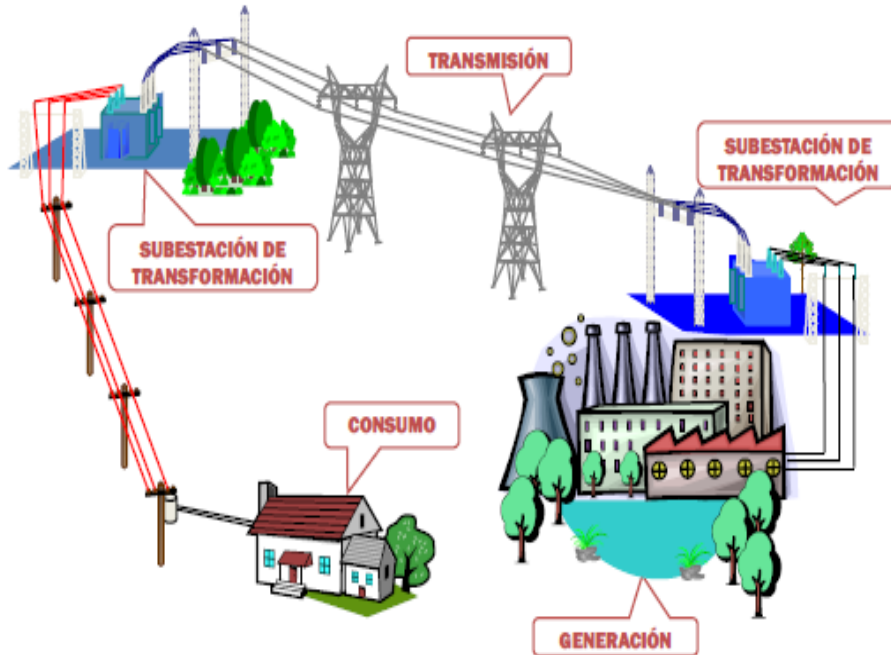


Figura 3. Proceso de generación, transmisión y distribución de la energía

2.4 FILOSOFIA DEL MANTENIMIENTO

La gestión del mantenimiento es un concepto que fue iniciado hace más de 40 años en Estados Unidos, aunque diversos planteamientos sostienen que es un concepto de origen japonés; la gestión del mantenimiento, desarrolla un papel importante en la competitividad de las empresas, involucrando propiedades humanas, técnicas y de maquinaria (Mora, 2007).

Según la real academia española se puede definir al mantenimiento como el conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, para que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados (Rae, 2016).

Dentro de las primeras visiones con respecto a la gestión del mantenimiento se tiene al mantenimiento productivo total, según Rey (2003), se establece como el conjunto de disposiciones técnicas, para desarrollar un trabajo que se tiene previsto dentro de un plan de producción, de manera continua, optima, basados en las actuaciones de las maquinarias e instalaciones mediante procesos de organización en una línea de producción.

Dentro de la estructura del mantenimiento productivo total, se debe garantizar el perfil humano, favoreciendo la relación entre el recurso humano y el mantenimiento, no obstante, esta táctica plantea principios de acciones correctivas, modificativas y preventivas en la mayoría de las intervenciones (Mora, 2007).

Por su parte el mantenimiento centrado en la confiabilidad, plantea la determinación de políticas para el mejoramiento de funciones de activos físicos y su manejo tras consecuencias debido a fallas, el principal objetivo es la reducción del costo en los procesos de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, evitando acciones no necesarias (Sainz, 2008).

En consecuencia, se manejan dos vertientes respecto a la visión de mantenimiento, aunque existen diversas metodologías, las anteriormente mencionadas crearon un camino para establecer procesos humano-maquinaria.

Existen diversos tipos de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, y en función a los recursos utilizados.

- **Correctivo**

Este tipo de mantenimiento tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema, en este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores (Rivera, 2001).

Según Idhamar (1997), es aquel mantenimiento que se realiza solo después de que la maquina ha presentado problemas o fallas; esta táctica es aplicable a organizaciones industriales y de servicios que no permanecen mucho tiempo con los dispositivos, que consumen o generan tecnología, que sus productos y áreas de negocio cambian de manera constante, razón por la cual es una empresa que se ve obligada a desarrollar competencias frente a las necesidades de mantenimiento.

Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias, según Rivera (2001), se tiene:

Paradas no previstas, en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas, afectación de las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.

Procesos que presentan costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado y finalmente la planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

- **Preventivo**

Es el conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia, evitando que se produzcan paradas forzadas o imprevistas (Mora, 2007).

Este proceso requiere un alto grado de conocimiento y una organización muy eficiente. Implica la elaboración de un plan de inspecciones para los distintos equipos de la planta, a través de una buena planificación, programación, control y ejecución de actividades a fin de descubrir y corregir deficiencias que posteriormente puedan ser causa de daños más graves (Mora, 2007).

- **Proactivo**

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento (Oiltech, 1995).

Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento,

bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente, el mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el plan estratégico de la organización, este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores (Pirret, 1999).

- **Programado**

Este tipo de mantenimiento basa su aplicación en el supuesto de que todas las piezas se desgastan en la misma forma y en el mismo periodo de tiempo, no importa que se esté trabajando en condiciones diferentes (Cuartas, 2008).

Para implementar el mantenimiento programado se hace un estudio de todos los equipos de la empresa y se determina con la ayuda de datos estadísticos de los repuestos y la información del fabricante, cuales piezas se deben cambiar en determinados periodos de tiempo (Cuartas, 2008).



Se tiene el inconveniente con este mantenimiento que hay partes del equipo que se deben desarmar o retirar, aunque estén trabajando sin problemas, para dar cumplimiento a un programa (Cuartas, 2008).

2.5 DISPOSITIVOS DE LA CENTRAL ELECTRICA

A continuación, se realiza una descripción general de los diferentes equipos que conforman la central eléctrica Gensa S.A, los cuales se encuentran actualmente divididos por áreas de prestación, descritos a continuación:



- **Generación**

En el área de generación, se cuenta con cinco grupos electrógenos de alta capacidad, conformados por los dispositivos cummis 800 KW, MTU 500 KW y MTU 900KW,

GENERADOR			MOTOR	
MODELO	800DFJR		ENGINE No.	33131818
SERIE No.	J950590659	Spec. 69164L	FAMILY	D23
SERVICE RATING		STANDBY	MODEL	KTA38 - G2
HZ:	60	RPM	1800	
PF:	0.8 / 1.0	BAT	24V	
1PH:	N / A KW	KVA	N / A	
3PH:	800 KW	KVA	1000	
3PH VOLTS		AMPS		
120 / 208		2776		
127 / 220		2824		
139 / 240		2406		
240 / 416		1388		
254 / 440		1312		
277 / 480		1203		
120 / 240		2406		
		CPL		
		864		
DATE OF MFG		18/09/1995		
REF N°		100 - 3142 - 01		
RPM		1800		
IDLE SPEED		575 - 650 RPM		
CONF. N°		D233020DX02		
INJECTOR TRAVEL		3075 INCH		
ADVERTISED HP		1200		

Figura 4. Grupo electrógeno Cumiss 800KW

UNIDADES 2,3 Y 4			GENERADORES 2, 3 Y 4	
MODELO	SMDDC500		SERIAL N°	M09L293108
SERIE No.	S SC -101006136	OT : 901153	MODEL	HC1534E1L-0080E
MOTOR:	12V1600G70S	S/N : 16701001213	KW: 600	HZ: 60
HZ:	60	RPM	1800	KVA: 750
PF:	0.8 / 1.0	FASE	3	FP: 0.8
TENSION	220 / 440	KVA	625	RPM: 1800
AMP	1640 / 820	KW	500	RATING: STBY
VOLTS: 220		AMPS: 1968		
FASE: 3		AMP TEMP: 40		
UNIDAD 5			GENERADOR 5	
MODELO	SMDDC900		SERIAL N°	X14F233713
SERIE No.	S SC -101006136	OT: 499	MODEL	HC 1634J1
MOTOR:	16V2000G45	S/N : 536112230	KW: 1000	HZ: 60
HZ:	60	RPM	1800	FP: 0.8
PF:	0.8	FASE	3	RATING: STBY
TENSION	480	KVA	1125	VOLTS: 480
AMP	1353	KW	900	AMPS: 1503.6
FASE: 3		AMP TEMP: 40		

Figura 5. Grupos electrógenos MTU 500KW y 900KW

- **Protección**

En el área de protección, se cuenta con interruptores automáticos de baja tensión especificados a continuación:



CARATERISTICAS			
Parámetros	Rango ~	Unidad	Detalle
In	1250	A	Corriente nominal
Ui	1000	V	Tensión asignada de aislamiento
Uimp	8	KV	Tensión asignada soportada a impulso
Ue	690	V	Tensión asignada de servicio
Icu	30/50	KA	Corriente asignada de corte ultimo en cortocircuito
Icw	50	KA/1s	Corriente de corta duración admisible asignada
Ics	50	KA	Poder de corte asignado en corto circuito
F	50/60	Hz	Frecuencia de operación

Figura 6. Interruptor unidad cumis



CARATERISTICAS			
Parámetros	Rango ~	Unidad	Detalle
In	800	A	Corriente nominal
Ue	690	V	Tensión asignada de servicio
Icu	30	KA	Corriente asignada de corte ultimo en cortocircuito
Ics	30	KA	Poder de corte a 440 Vac
F	50/60	Hz	Frecuencia de operación

Figura 7. Interruptores unidades MTU 2,3 y 4



CARACTERÍSTICAS			
Parámetro	Rango ~	Unidad	Detalle
I_n	1600	A	Corriente nominal
U_i	1000	V	Tensión asignada de aislamiento
U_{imp}	12	Kv	Tensión asignada soportada a impulso
U_e	415 - 690	V	Tensión asignada de servicio
I_{cu}	50	KA	Corriente asignada de corte ultimo en cortocircuito
I_{cs}	100%	I_{cu}	Corriente de corte asignada de servicio en corto circuito
I_{cw}	50	kA/1s	Corriente de corta duración admisible asignada
F	50/60	Hz	Frecuencia de operación

Figura 8. Interruptor unidad MTU 5

- **Barraje de potencia**

En el área de barraje de potencia, se encuentran las barras de conexión de las unidades de potencia.



Figura 9. Barras de conexión de las unidades

- **Tablero de sincronismo**

En el área de sincronismo, se encuentra el tablero, que establece un parámetro de protección por medio de una celda, y actúa sobre generadores de 480 voltios.



Figura 10. Celda de protección y sincronismo

- **Totalizadores**

Estos dispositivos son interruptores conectados al lado de baja tensión de los transformadores 1 y 2 para la protección contra cortocircuitos.

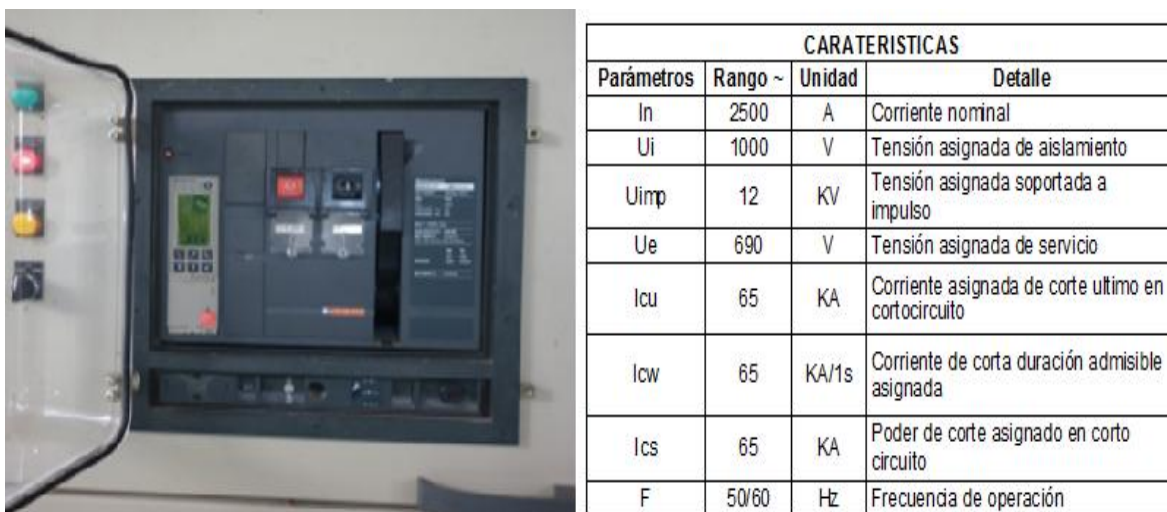


Figura 11. Interruptores de los transformadores 1 y 2

- **Transformadores de potencia**

La distribución eléctrica está a cargo de los transformadores 1 y 2, el transformador 3 se utiliza para el abastecimiento interno de la central.



TRANSFORMADORES			
ITEMS	TRANSF 1	TRANSF 2	TRANSF 3
FABRICANTE	SIERRA	CONFECCIONES ELECTRONICAS	MAGNETRON
N° SERIE	8024098	2840	1555029
POTENCIA KVA	2000	1900	45
VOLTAJE AT V	13800 / 7967	13800	13200
VOLTAJE BT V	480	480	126
AMP AT A	83.7	79.5	20
AMP BT A	2408	2285	115
FRECUENCIA	60 Hz	60 Hz	60 Hz
N° FASES	3	3	3
TEM. AMB. MAX	40 °C	40 °C	40 °C
REFRIGERAC	ONAN	ONAN	ONAN
CLASE AISL.	AO	AO	AO
CONEXIÓN	Ynd-7	Ynd-5	Dyn-5
PESO	5230 Kg	5500 Kg	789 Kg
VOL. ACEITE	1310 L	2863 L	319
ALTITUD	1000 m	1000 m	1000 m

Figura 12. Transformadores de alta y media tensión

- **Protección transformadores**

En el área de protección aplicada a los transformadores, se maneja un relé de protección de entrada y salida de los transformadores 1 y 2, actuando por medio de un disparo por variación de frecuencia.



Figura 13. SEPAM

- **Reconectores**

Son dispositivos de control ON – OFF que permite la protección de la central de fallas externas.

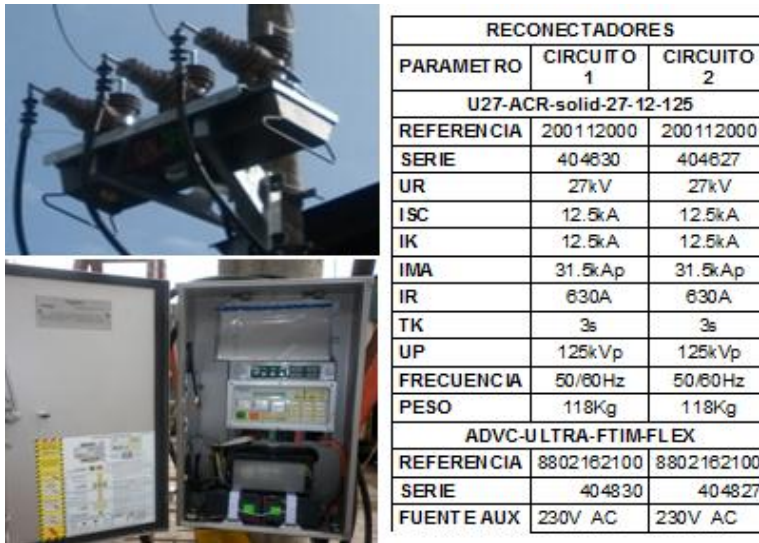


Figura 14. Reconectores de los dos circuitos de salida

- **Sistema de alimentación de emergencia**

Esta área, permite un respaldo frente a una falla constante que se presente en algún equipo o dispositivo, es una fuente utilizada para la alimentación de todos los tableros con el objetivo de mantener vigente la información.



Figura 15. Fuente de alimentación de emergencia

2.6 SISTEMA DE MONITOREO

Actualmente los sistemas de monitoreo y comunicaciones cada vez son más seguras y confiables, gracias a la nueva tecnología. En los sistemas convencionales de control y monitoreo de subestaciones eléctricas, los dispositivos que realizan las diferentes actividades han quedado obsoletos. La interconexión entre dichos dispositivos, siempre han implicado un gran trabajo de ingeniería, cableado, montaje y puesta en servicio. En la actualidad, la moderna tecnología ha reducido notablemente el número de componentes aumentando así la disponibilidad del sistema y reduciendo los costos asociados al mismo.

También el uso de redes de comunicación tales como LAN (Local Area Network), WAN (Wide Area Network) ahorra de manera considerable el volumen de cableado y gracias a su inmunidad a las interferencias electromagnéticas (en el caso de la fibra óptica) permite la utilización cerca al trabajo en campo.

Además el utilizar los IEDs (Intelligent Electronic Device) que contienen microprocesadores, hacen posibles nuevas funciones como adquisición de datos en tiempo real, supervisión continua, análisis de señales, programación computacional, manejo de eventos, etc.

- **Monitoreo.**

El monitoreo es una manera ordenada o sistemática de adquirir, analizar y utilizar información de un proceso determinado, para realizar un seguimiento permanente al progreso o estado de dicho proceso con la finalidad de que los resultados obtenidos vayan de acorde a los objetivos planteados, y para tomar decisiones de gestión. Toda la información adquirida, se visualiza de manera gráfica ya sea mediante pantallas o monitores, de forma remota en campo.

- **Monitoreo en subestaciones eléctricas**

Las subestaciones eléctricas son parte fundamental para la transmisión y distribución de energía eléctrica hacia los consumidores finales, es por esto que se ve la necesidad de tener un seguimiento constante y obtener información del funcionamiento de los diferentes equipos que componen las subestaciones eléctricas, luego con la información adquirida durante el monitoreo tomar decisiones para cumplir con los programas de operación y mejorar la confiabilidad de las subestaciones, reduciendo así la probabilidad de desabastecimiento de energía eléctrica.

Anteriormente la tecnología en las subestaciones fue de carácter electromecánico y con el transcurso del tiempo han quedado obsoletas. En la actualidad la tecnología en la industria eléctrica se ha mejorado en gran magnitud, desarrollándose dispositivos electrónicos de control, protección, adquisición de datos, etc, esta nueva tecnología permite realizar acciones de control y monitoreo de manera remota, los equipos con esta nueva tecnología son los Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED, por sus siglas en inglés), lo mismos que trabajan con plataformas computacionales, los sistemas operativos, redes de comunicación e interfaces gráficas de usuario.

- **Medición de variables**

La medición de las diferentes variables que se consideran importantes para el conocimiento del estado del transformador de potencia, se efectúan a través de sensores y/o transductores que están localizados por lo general junto al transformador de potencia.

Si la arquitectura adoptada para el monitoreo fuere la centralizada, existirá también un dispositivo concentrador de las mediciones (PLC); la medición de

variables para el sistema de monitoreo debe tomar en consideración dos aspectos importantes como son:

- Cuáles variables deben ser medidas
- Cuál es la arquitectura adoptada para medir esas variables

3. PLAN DE MANTENIMIENTO

A continuación, en esta sección, se realiza la descripción del plan de mantenimiento, aplicado a tres equipos, con el fin de ejemplificar el proceso.

3.1 FORMATOS PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO

El formato empleado para el desarrollo del plan de mantenimiento fue suministrado por la empresa, se compone de nueve puntos, descritos a continuación:

- **Herramientas y Equipos:** Se hace necesario detallar el tipo de herramientas y equipos que son necesarios para realizar la inspección.
- **Materiales y Repuestos:** Radica en el tipo de materiales y repuestos necesarios para adelantar la actividad de mantenimiento.
- **Equipos de protección personal:** Son todos aquellos equipos necesarios que permiten la protección de los operarios.
- **Medidas de seguridad industrial:** Detallan las medidas de seguridad que son necesarias para adelantar el trabajo. Siempre incluye como referencia el documento interno de GENSA “Normas básicas de seguridad industrial” para realizar los procedimientos seguros.
- **Información técnica:** Son los procesos de descripción de los manuales, documentos técnicos de respaldo requeridos para adelantar la inspección.
- **Lista de chequeos y ajustes complementarios:** Son preguntas con las cuales se pretende que el ejecutante durante la inspección se fije en ciertos

detalles importantes, alrededor del contexto operativo y funcional del momento.

- **Recolección y disposición de desechos:** Son los procedimientos que establecen el cuidado del medio ambiente, con respecto a cualquier desecho producido por el mantenimiento.
- **Elaboración del informe:** El informe debe registrar los resultados de las inspecciones y pruebas para cada uno de los elementos. Deberá diligenciarse la OT respectiva de soporte y almacenar la información.
- **Observaciones:** Espacio para consignar aclaraciones, dudas relativas a lo realizado en el trabajo, se incluye la información del número de la OT respectiva, quien diligenciara la lista o Instructivo y la fecha.

Tras determinar los parámetros para el plan de mantenimiento, se listan a continuación los equipos a los cuales se realiza la ejecución del mismo, descritos más detalladamente en el anexo A.

LISTADO DE EQUIPOS	
Tierra, grupo electrógeno	Cables de potencia
Generadores	Resistencias de contactos
Transformadores	Resistencias de aislamientos
Resistencia de devanados	Transformador seco
Relés	Aisladores
Barrajes	Panel de protección y control
Baterías	Ups
Pararrayos	Reconectores, interruptores

Tabla 1. Listado general de equipos

3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

A continuación, se realiza un ejemplo aplicando el plan de mantenimiento a los cables de potencia, resistencia de aislamiento e índice de polarización en generadores, tiempo de apertura, cierre, simultaneidad de contactos y revisión eléctrica del tablero de control.

- **Medición de aislamiento de cables de potencia**

Para realizar la medición de aislamiento de cables de potencia, se requiere:

Herramientas y equipos	
Herramienta de electricista	Meghometro de 250 V-5000V
Etiquetado y candado	Cámara digital
Materiales y repuestos	
Linterna de mano	Tabla portapapeles
Tierras portátiles	Avisos de condenación de equipos
Equipos de Protección	
Guantes Aislantes (Voltajes altos)	Gafas de seguridad
Casco de seguridad	Zapatos dieléctricos

Tabla 2. Dispositivos para la medición de aislamiento de cables de potencia

A continuación, se establece la lista de chequeos y ajustes complementarios.

Se debe realizar el aviso a operación y verificar todas las actividades relacionadas con el bloqueo de los diferentes dispositivos que estén ligados a la inspección o al instructivo.

Posteriormente abrir, bloquear y colocar avisos de condenación de equipos y cintas de seguridad en la zona del lugar del de trabajo, para aplicar el procedimiento de conexión a tierra del grupo electrógeno.

Luego se procede a desconectar los cables de potencia a la salida del transformador y en la entrada del interruptor general en el tablero principal de distribución de energía si se va a evaluar el lado de alta, en caso contrario desconectar los cables de potencia a la salida del generador y en la entrada del transformador principal entre la caja de conexiones del generador y el patio de transformadores si se va a evaluar el lado de baja tensión.

Realizar la conexión del cable de línea del Megóhmetro a una fase, manteniendo las otras dos fases aterrizadas y conectadas al cable de tierra del Megóhmetro.

Posteriormente aplicar un voltaje de 500vDC hasta que la lectura se estabilice, luego registrar los datos y efectuar la misma operación para las otras dos fases:

- Línea L1 (R)_____
- Línea L2 (S)_____
- Línea L3 (T)_____
- Neutro (N)_____

Para analizar los registros, tomar como referencia que el valor mínimo permitido será de: “1 megohmio por kilovoltio + 1 megohmio más”

A continuación, se realiza un ejemplo:

Cable para 13,2 kV= Valor mínimo de resistencia de aislamiento = 13Mohm + 1Mohm = 14Mohm, comparar la tendencia actual con las medidas anteriores.

- **Medición de resistencia de aislamiento e índice de polarización**

Para realizar el procedimiento de medición de resistencia de aislamiento e índice de polarización en generadores se requiere:

Herramientas y equipos	
Termómetro de contacto	Meghometro de 250 V-5000V
Puesta a tierra portátiles	Cámara digital
Materiales y repuestos	
Paños absorbentes	Tabla portapapeles
Cinta de seguridad	Avisos de condenación de equipos
Equipos de Protección	
Guantes Aislantes (Voltajes altos)	Gafas de seguridad
Casco de seguridad, Zapatos dieléctricos	Arnés de seguridad

Tabla 3. Dispositivos para la medición de resistencia de aislamiento e índice de polarización en generadores

Para este dispositivo además de contar con la norma técnica descrita en la tabla, se debe contar con el certificado de calibración vigente de los equipos de medida a utilizar y la norma IEEE 43-2013 (43-2000 actualizada).

A continuación, se realiza la lista de chequeos y ajustes complementarios.

Coordinar con operación que el servicio de energía con este equipo se suspenderá para la ejecución de la presente prueba, verificar el bloqueo eléctrico y mecánico de todos los interruptores y seccionadores involucrados.

Posteriormente, instalar avisos de condenación de equipos y cintas de seguridad alrededor del área afectada, y aterrizar los seccionadores generales de 13,2 Kv.

En caso de que el generador sea del tipo auto-excitado, desconectar la AVR (regulador automático de voltaje) y realizar la desconexión de los cables de potencia a la salida del generador.

Para el caso de chequeos en la resistencia de aislamiento, se debe considerar:

Si el generador tiene una configuración en estrella y existe acceso para desconectar el neutro, realizarlo, de esta forma se puede hacer la medición en cada una de las fases.

Posteriormente chequear el aislamiento de cada una de las fases conectándola al cable de línea del Megóhmetro, cortocircuitando las otras dos fases y aterrizando al sistema de tierra; el cable de tierra del Megóhmetro se conectará a las fases que no se prueban en el momento.

Luego aplicar la tensión VDC recomendada durante 10 minutos, tomando medidas cada minuto, considerando resistencia_minuto 10 (R10), resistencia_minuto 5 (R5), resistencia_minuto 1 (R1), inmediatamente registrar el valor medido y la temperatura ambiente.

Tensión Nominal del Equipo (V)	Tensión Continua de Ensayo de Resistencia de Aislamiento (VDC)
< 100	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
> 12000	5000 – 10000

Tabla 4. Relación tensión nominal – tensión continua de resistencia de aislamiento

Una vez se haga la prueba, apagar el Megóhmetro y descargar el sistema contra un sistema de puesta a tierra, efectuar el mismo procedimiento para las otras dos fases.

No obstante, si el generador tiene una configuración en triángulo, no es posible independizar las tres fases, por tanto, se hará una sola medida donde se probará

el devanado completo, conectando una fase a la línea del Megóhmetro, mientras que la línea de tierra del Megóhmetro se conecta al sistema de tierra.

Posteriormente aplicar una tensión VDC recomendada durante 10 minutos, tomando medidas cada minuto, realizar el proceso de registro, correspondiente al valor medido y la temperatura ambiente.

Con los valores de resistencia medidos se deben hacer las siguientes consideraciones y aplicación de normas y criterios de aceptación:

- Teniendo como referencia el valor medido de temperatura, calcular el factor de corrección Kt para referir los valores de aislamiento a 40°C.
- Con el valor Kt calculado se afectan los valores de resistencia medidos para referirlos a 40°C; sin embargo, se admite que son resultados confiables para extrapolaciones mayores a 10°C.

A continuación, se dan los valores de resistencias recomendados.

Resistencia de Aislamiento Mínima (Mohm)	Maquina bajo Ensayo
R1min = KV + 1	La mayoría de bobinados fabricados antes de 1970, bobinados de campo y otros no descritos más abajo.
R1min = 100	Para bobinados fabricados posteriormente a 1970
R1min = 5	Para bobinados con tensión nominal inferior a 1kv

Tabla 5. Resistencias recomendados

Para el proceso del índice de polarización (IP), se tiene:

Calcular el índice de polarización (IP) de cada medida, expresada en (1) como:

$$IP = \frac{R10}{R1} \quad (1)$$

Donde:

- R10, Es el valor de resistencia medido a los 10 minutos.
- R1, Es el valor de resistencia medido a 1 minuto.

Registrar los valores calculados.

A continuación, se expresan los valores de IP mínimos recomendados

TIPO DE AISLAMIENTO	IP MINIMO
Clase A	1.5
Clase B	2
Clase F	2
Clase H	2

Tabla 6. Relación tipo de aislamiento – IP mínimo

Se debe considerar que valores por debajo del mínimo en resistencia de aislamiento o el IP en un estator moderno, indica que existe contaminación o humedad excesiva.

- **Prueba de tiempo de cierre, apertura y simultaneidad de contactos**

Para realizar el procedimiento de prueba de tiempo de cierre, apertura y simultaneidad de contactos se requiere:

Herramientas y equipos	
Herramienta para electricista	Analizador de interruptores Vanguard Ct-6500
Multímetro digital	Cámara digital
Materiales y repuestos	
Linterna de mano	Tierra portátiles
Cinta de seguridad reflectiva	Aviso condenación de equipo
Equipos de Protección	
Guantes aislantes	Gafas de seguridad
Casco de seguridad	Zapatos dieléctricos

Tabla 7. Dispositivos para la medición de parámetros en contactos

Además de la tabla correspondiente a la norma técnica requerida, se necesita tener conocimiento acerca del manual del interruptor o seccionador a evaluar, y la norma IEC 56.

A continuación, se realiza la lista de chequeos y ajustes complementarios para la prueba del tiempo de cierre, apertura y simultaneidad de contactos:

Avisar a operación y verificar todas las actividades relacionadas con el bloqueo de los diferentes dispositivos que estén ligados a la inspección o al instructivo.

Realizar la lectura del contador de operaciones: _____

Posteriormente abrir, bloquear y colocar avisos de condenación de equipos y cintas de seguridad en la zona del lugar del de trabajo.

Colocar el interruptor en su posición de prueba, considerando:

Al tiempo de apertura, como el tiempo medido desde el instante en que se energiza la bobina de disparo, estando el interruptor en posición cerrada, hasta el instante en que los contactos de arcos sean separados en todos los polos.

Al tiempo de cierre, establecido como el intervalo medido desde el instante en que se energiza la bobina de cierre, estando el interruptor en la posición abierta, hasta el instante en que se tocan los contactos primarios de arco en todos los polos, cada contacto del interruptor tiene que ser verificado separadamente.

Por su parte la simultaneidad de contactos se refiere al sincronismo entre contactos, tanto en cierre como en apertura la inducción debida a la proximidad de líneas de transmisión de energía, o una conexión defectuosa puede alterar la señal recolectada.

Luego se debe limpiar los terminales del interruptor donde se conectarán los terminales del equipo de prueba, alistar y encender el equipo de prueba para comprobar su correcto funcionamiento.

Posteriormente conectar los cables de control del equipo de prueba a las borneras de apertura y cierre del interruptor, así como en las borneras de alimentación de corriente directa, conectar los cables de medida en los terminales de potencia, referente a los tres polos del interruptor a ser probado.

Retirar las tierras portátiles de uno de los extremos (por donde se va a medir) del interruptor Y, comprobar que el interruptor esté en condiciones normales para operar (perilla local y remota, resortes).

Prender el equipo de prueba y ajustarlo de acuerdo con el interruptor que se esté probando.

Realizado los anteriores pasos efectuar la prueba:

PARÁMETRO MEDIDO	FASE R	FASE S	FASE T
Tiempo de apertura bobina # 1			
Tiempo de apertura bobina # 2 (*1)			
Tiempo de cierre			

Tabla 8. Parámetros de fases R,S,T

Si existe bobina de respaldo, considerar:

Que los tiempos de referencia varían de acuerdo con el tipo de interruptor analizado, uno de los valores generales que pueden ser:

- Tiempo de apertura: 30 – 60 milisegundos.
- Tiempo de cierre: 70 – 120 milisegundos.

Posteriormente realizar el monitoreo de las corrientes de apertura y cierre, realizando la medición de las corrientes en las bobinas, de manera simultánea con la prueba anterior.

PARÁMETRO MEDIDO	FASE R	FASE S	FASE T
Corriente de bobina de apertura # 1			
Corriente de bobina de apertura # 2 (*1)			
Corriente de bobina de cierre			

Tabla 9. Parámetros de fases R.S.T

Si existe bobina de respaldo, considerar:

Que las corrientes de referencia varían de acuerdo con el tipo de interruptor analizado, unos valores generales pueden ser:

- Corriente bobina de apertura: 5 amperios
- Corriente bobina de cierre: 5 amperios

Posteriormente realizar el monitoreo de la tensión de mando para apertura y cierre.

Con el multímetro digital y en la escala adecuada de acuerdo a las características del equipo, registrar la tensión en bornes de la bobina y comparar con los datos nominales.

- Voltaje (+) – (-): Valor medido_____ Valor de referencia: 120 – 135 voltios.

Finalmente se establece el plan de mantenimiento aplicado a la revisión eléctrica del tablero o panel de protección y control.

- **Revisión eléctrica del tablero**

Para realizar el procedimiento de revisión eléctrica del tablero, se requiere:

Herramientas y equipos	
Herramienta de electricista	Cámara digital
Linterna de mano	Escalera tipo tijera
Aspiradora industrial	Compresor, radio teléfonos
Materiales y repuestos	
Pincel	Tabla portapapeles
Paños absorbentes	brocha
Equipos de Protección	
Guantes aislantes	Gafas de seguridad
Casco de seguridad	Zapatos dieléctricos
Arnés de seguridad	Etiquetado y candado

Tabla 10. Dispositivos para la revisión eléctrica del tablero

A continuación, se tiene la lista de chequeos y ajustes complementarios, para la revisión eléctrica y electrónica del tablero o panel de protección y control

Avisar a operación y verificar todas las actividades relacionadas con el bloqueo de los diferentes dispositivos que estén ligados a la inspección o al instructivo. Para las condiciones de aseo (limpieza, humedad y seguridad), verificar las condiciones de limpieza internas y externas del tablero,

Posteriormente verificar estado de adherencia y calidad de sellamiento del empaque de cerramiento, luego verificar que el ambiente alrededor del equipo se

encuentra libre de polvo y elementos extraños, si no es así tomar las medidas necesarias para corregir el problema.

Si aplica, limpiar el filtro de aire en tableros o paneles con ventilación por corriente de aire o forzada, extraer de acuerdo a lo previsto en el manual del equipo, si se presenta humedad excesiva en el área alrededor del equipo; corregir si es posible.

Si se observa humedad dentro del tablero; corregir y clarificar su origen.

Si hay elementos extraños dentro del tablero; retírelos de inmediato.

Verificar que la chapa frontal cierre completamente y que tenga su respectiva llave; Si esto no ocurre informar para solucionar el problema.

Verificar que tenga las señales de protección por peligro colocadas de manera adecuada y visible.

Verificar que las placas de identificación del tablero con los servicios y/o circuitos controlados por esta unidad estén en buen estado.

Para el proceso de inventario actual de los elementos que contiene el tablero

- Aplicación actual del tablero: _____
- Tensión nominal o de servicio: _____

Hacer un inventario de todos los sub equipos que contiene el tablero y anotar su cantidad, características, marca y referencia.

Sub-equipos	Cantidad	Características	Marca	Referencia

Tabla 11. Formato de inventario

El listado del inventario debe quedar incorporado al interior del tablero para posteriores controles o verificaciones.

Para las condiciones eléctricas generales, verificar que los bornes de conexión de los sub equipos se encuentran debidamente ajustados. aplicar: ajuste terminal conductores.

Si existe algún cable defectuoso en su estructura, aplicar la verificación estado cableado.

Verificar que el cableado se encuentra bien figurado y organizado con amarras o en canaletas.

Verificar que los sub-equipos del tablero están identificados en un diagrama al interior de éste, si no lo están informar para que se elabore dicho diagrama y se coloque al interior del tablero.

Verificar al tacto si se encuentra algún sub-equipos con temperatura alta. Si es así, notifique de inmediato y aplicar: Verificación termo magnéticos con la carga.

Si alguno de los cables eléctricos presenta quemaduras en su parte metálica o conductora por posibles calentamientos, corregir e inspeccionar sub equipos relacionados, verificar si se requiere cambiar alguno de los fusibles incorporado a este tablero, posteriormente verificar si el tablero en su interior posee iluminación y si ésta funciona adecuadamente.

Verificar si el totalizador del tablero (si aplica), funciona adecuadamente.

Verificar si el tablero tiene luces piloto en su parte exterior, finalmente verificar si funcionan adecuadamente las opciones de alimentación del tablero.

24V C.C., 48V C.C., 110V C.C., 120V C.A., 220V C.A., 380/220V C.A.

Para la verificación funcional de mandos – señalizaciones – alarmas y equipos, comprobar la adecuada condición funcional del 100% de los mandos incluidos en el tablero.

Comprobar la adecuada condición funcional del 100% de las señalizaciones incluidas en el tablero, comprobar la adecuada condición funcional del 100% de

las alarmas incluidas en el tablero, comprobar la condición funcional del 100% de los equipos de medida incluidos en el tablero.

En el caso de los barrajes aplicar, la revisión eléctrica de barrajes, de igual manera para la puesta a tierra, comprobar que el tablero se halle conectado sólidamente a la línea de puesta a tierra.

Finalmente, para las condiciones mecánicas:

Comprobar el estado de la pintura interna y externa. Si se encuentran zonas de oxidación o con erosión, programar restauración.

Verificar el adecuado funcionamiento del sistema de calefacción interior.

Comprobar la calibración de los termostatos de las resistencias de anti-condensación

Controlar el adecuado ajuste de los elementos de unión de los diferentes componentes constitutivos del panel o tablero

Verificar que los elementos de anclaje se encuentran debidamente ajustados. Si no lo están apretarlos.

Verificar que los elementos de anclaje se encuentran libres de procesos corrosivos

Si el tablero cuenta con ventanas de inspección en vidrio, para comprobar la posición del interruptor o para observar el indicador de posición, verificar que se encuentran éstas en buen estado.

Si el tablero cuenta con rejillas de protección contra roedores en los ductos a la salida o entrada de los cables eléctricos, corregir si tiene alguna deficiencia, eliminar cualquier obstrucción o elemento extraño que impida la adecuada ventilación por las rejillas del tablero.

PLAN DE MANTENIMIENTO ELECTRICO Y ELECTRONICO DE LA CENTRAL DE GENERACION ELECTRICA DE GUAPI		
EQUIPOS	ACTIVIDADES	FRECUENCIA
GENERADORES	Conexión a Tierra Grupo Electrogeno	CADA 6 MESES
	Medicion de Aislamiento Cables de Potencia	
	Resistencia de Aislamiento e Indice de Polarizacion	
	Limpieza de Equipos Electricos	
INTERRUPTORES	Medicion resistencia de contactos	CADA 3 MESES
	Prueba tiempo de cierre, apertura y simultaneidad de contactos	
	Inspección Termografica	
	Revision Electrica de Interruptores	
	Lubricacion de Interruptores	
TRANSFORMADORES	Limpieza de Equipos Electricos	CADA 6 MESES
	Revisión Termografica	
	Registro de Voltajes y Corrientes en Baja Tension	
	Revision Electrica de Transformadores de Potencia	
	Revision Electrica de Transformadores de Secos de Bja y Media Tesion	
	Limpieza de Equipos Electricos	
	Medicion de Relacion de Transformacion	
	Medicion de Resistencia de Aislamiento	
Medicion de Resistencia de Devanados		
RECONECTADOR	Prueba predictivas de Reconnectores electricos	CADA 6 MESES
PANEL DE PROTECCION Y CONTROL	Revision Electrica de Tablero o Panel de Proteccion y Control	CADA 4 MESES
RELE	Verificacion Funcional y Calibracion de Rele	CADA 4 MESES
	Verificacion de Termomagneticos con Carga	
AISLADORES	Revision Electrica de Aisladores	CADA 4 MESES
	Inspección Termografica	
	Limpieza de Equipos Electricos	
CABLEADO	Verificacion Estado de Cableado	CADA 6 MESES
	Ajuste de Terminales de Conductores	
BARRAJE	Revision Electrica de Barraje	CADA 3 MESES
BATERIAS	Prueba de Capacidad de Baterias	CADA 4 MESES
	Revision Electrica de Baterias Abiertas	
UPS	Revision Electrica de UPS	CADA 6 MESES
PARARRAYOS	Revision Electrica de Pararrayos	CADA 4 MESES

Tabla12. Cronograma de Mantenimiento

4. SISTEMA DE MONITOREO PARA LOS RECONECTADORES

En este capítulo se ilustra el procedimiento de configuración para el sistema de monitoreo de los equipos reconectadores, así como la instalación de la plataforma software WSOS5, con la cual se ejecuta dicho proceso.

El proceso de monitoreo a un reconectador es fundamental a la hora de realizar maniobras de reconexión, ya que este dispositivo es el encargado de generar apertura y cierre en el sistema eléctrico, no obstante, en la última apertura al presentarse una falla, se establece el enclavamiento por lo que la central necesita contar con un registro de estados de los dispositivos, para efectuar las correcciones pertinentes en el menor tiempo posible.

El reconectador de la marca Schneider es un interruptor automático trifásico con medio de interrupción al vacío, constituido por una caja de actuación también llamada caja de polos, contiene además una caja de control.

El reconectador es controlado tanto de manera remota como local, en la siguiente figura se muestran los dos componentes principales de los reconectadores:



Figura 16. Controlador (Caja de Control) y unidad de interruptor (Caja de Polos)

Básicamente los reconectores cuentan con unos puertos de comunicación y una interface software que permite configurar desde una estación remota las diversas variables de los equipos de reconexión, además de permitir el acceso al historial de eventos causados tales como: potencia máxima de la carga (día, semana o año), hora apertura y/o cierre de la puerta del gabinete, corriente pico, entre otros, también permite controlar el reconector en tiempo real para el cierre y/o apertura de los polos.

A continuación, se realiza una descripción correspondiente a:

Puertos de comunicación, los cuales se clasifican así:

- Un puerto local para USB
- Cuatro puertos serial RS232
- Un puerto RS485
- Un puerto V23
- Un puerto 10 Base T Ethernet (determinado para este proyecto)

Los reconectores vienen provistos del software WSOS5, el cual permite la interacción entre un computador y el dispositivo, teniendo en cuenta que por medio de este se pueden configurar todos los parámetros de las variables del dispositivo.

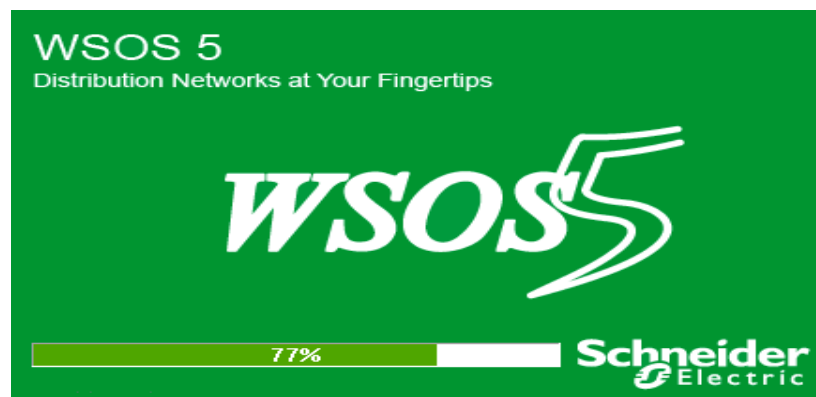


Figura 17. Software WSOS5

A continuación, se realizará un ejemplo de una rutina para conectar el reconector al computador, para la creación de un archivo se deben seguir los siguientes pasos:

Instalar el software WSOS5 en el computador.

Después de instalado correctamente, conectar cable USB y abrir el software

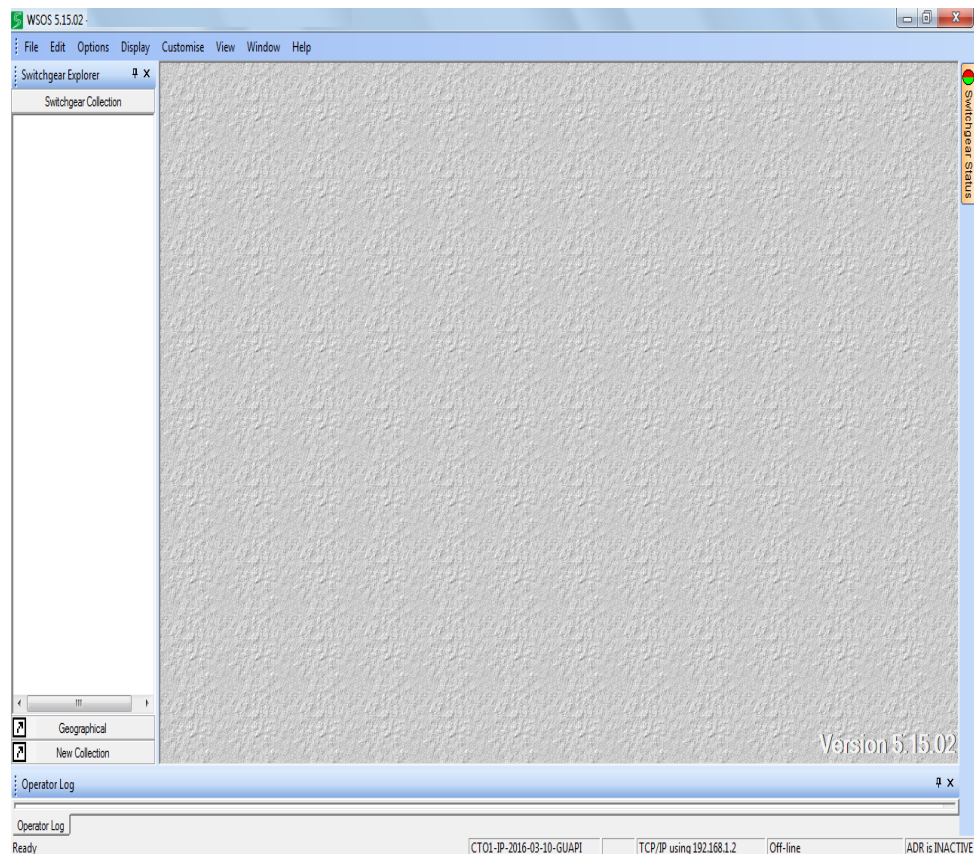


Figura 18. Ventana de inicio

Hacer clic en “File” en la parte superior de la pantalla, posteriormente hacer clic en “New” y crear un nombre para el archivo, elegir la opción “Automatic Creation”, y elegir la opción “USB”.

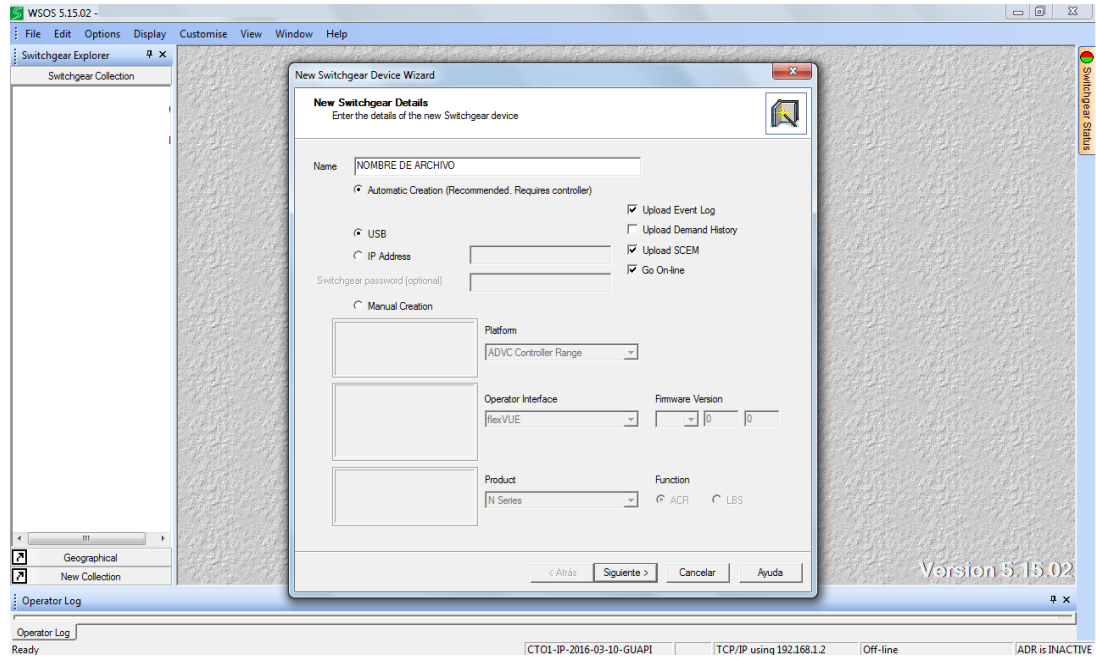


Figura 19. Configuración nuevo proyecto

Una vez establecido los anteriores parámetros hacer clic en siguiente, luego hacer clic sobre Off-line y luego en “OK”

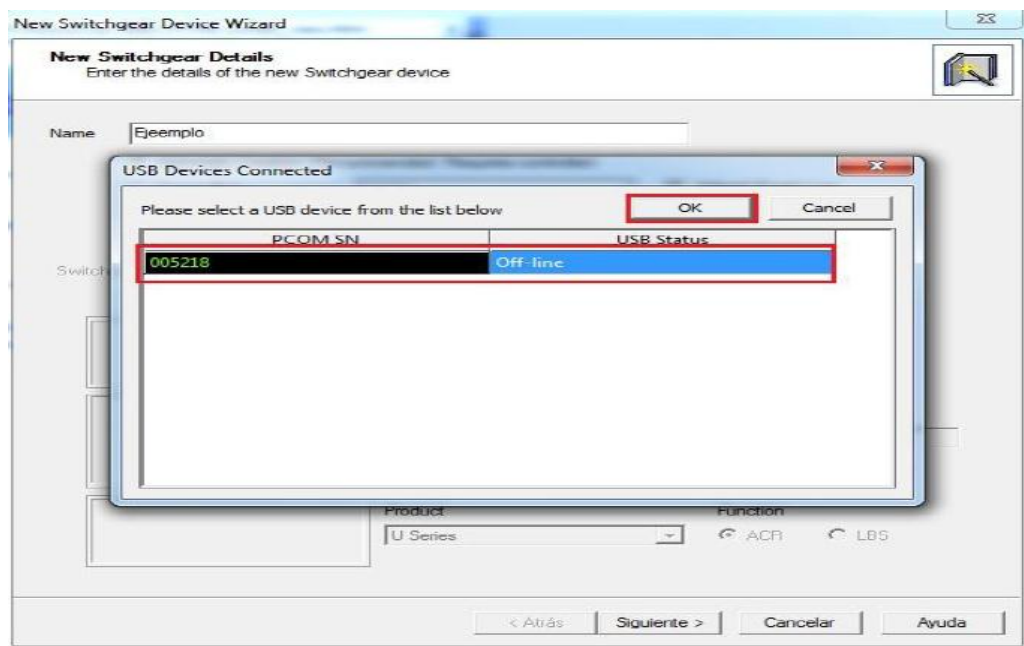


Figura 20. USB Devices Connected

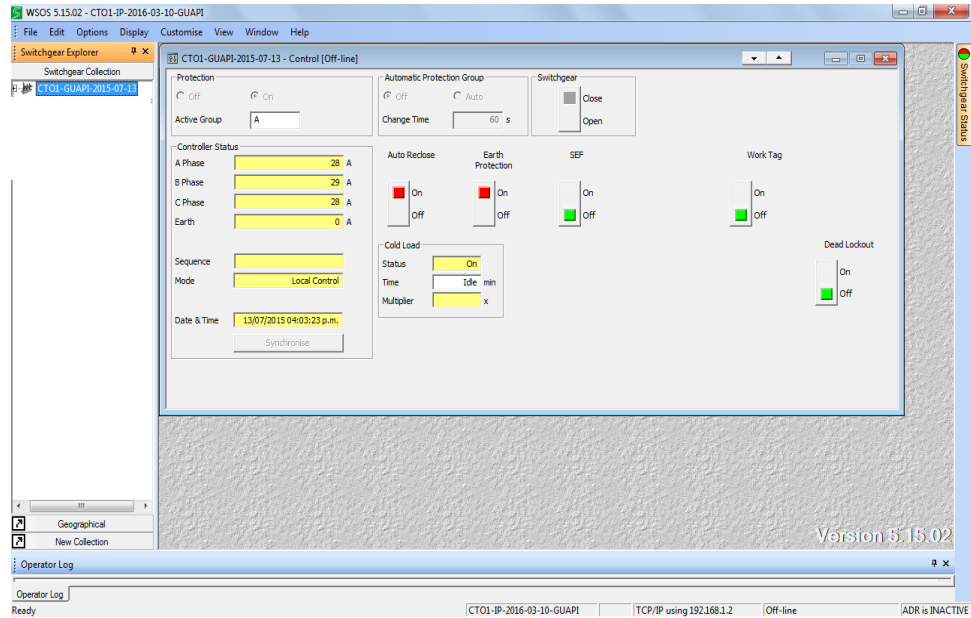


Figura 21. Ventana de trabajo

Para dar cumplimiento con el monitoreo a través de la red de la empresa se siguieron los siguientes pasos, los cuales permiten la configuración del puerto Ethernet para el proceso de monitoreo:

Abrir el software, luego hacer clic en display en la parte superior de la pantalla, hacer clic en swtchgear communications, hacer clic en ports, y finalmente hacer clic en ports configurations

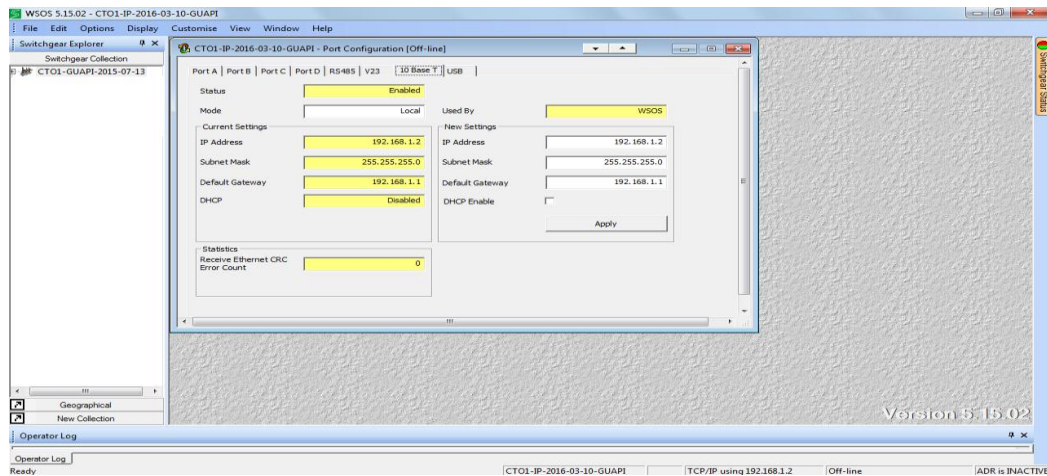


Figura 22. Configuración de comunicación

Posteriormente asignarle una dirección IP, dar clic en apply

Implementar la red inalámbrica o cableada, en este caso para un mejor tránsito de datos se optó por la red cableada, conectar un extremo del cable UTP al reconector y el otro a un router de la red área local.

De esta forma se tiene conectado el reconector a la red de área local de la empresa; posteriormente conectar el computador a la red de área local (wifi) de la empresa, y ejecutar:

- Abrir el software
- Hacer clic en “File” en la parte superior de la pantalla.
- Hacer clic en “New”
- Crear un nombre para el archivo
- Elegir la opción “Automatic Creation”.
- Elegir la opción “IP Adress”.
- En el recuadro del frente digitamos la dirección IP del reconector.

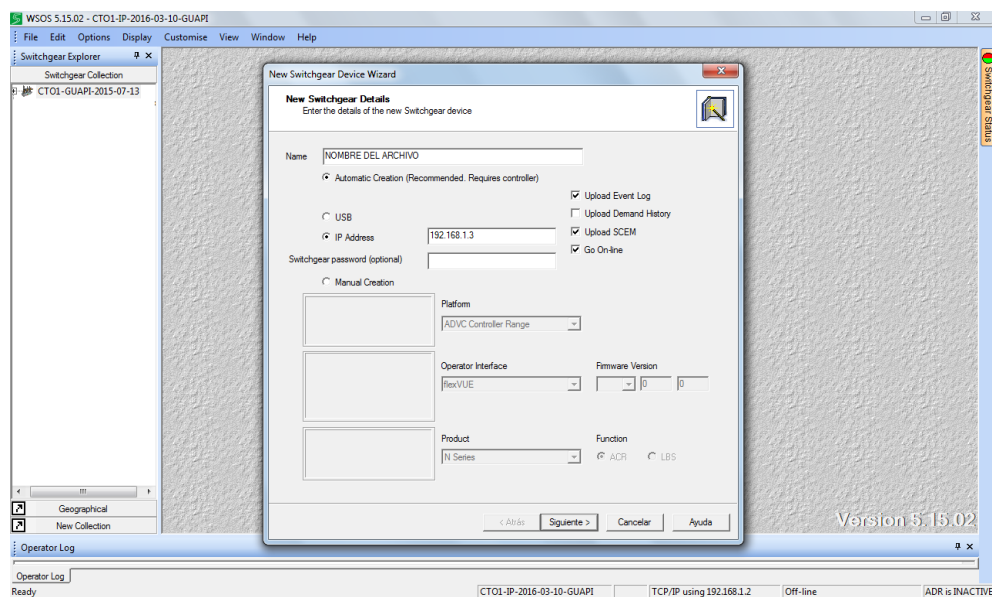


Figura 23. Configuración de red local

Posteriormente hacer clic en siguiente, hacer clic sobre Off-line y luego en “OK”, y hacer clic en “Finalizar”

Al finalizar este proceso ya se podrá monitorear el reconectador en tiempo real, dejando ver todas las variables que posee y el control en manos del operador.

A continuación, se establecen las pruebas realizadas al sistema, estas pruebas que permiten verificar la comunicación remota, se tiene:

- Verificación de operación eléctrica: por medio de cierre y disparo, respuesta a la sobre corriente y re cierre automático.
- Configuración de los rangos de disparo o abertura de sobre corriente, sobre voltaje, frecuencia, etc.
- Visualización y lectura del historial de eventos causados.

Cabe mencionar que las debido a que los reconectadores siempre están en servicio, para realizar la prueba de cierre y disparo se tramitó un permiso especial y como condición establecieron no demorar más de un minuto, es decir, que se ocasiono un corte de energía en un lapso de tiempo mínimo.

5. APORTE DEL ESTUDIANTE A LA EMPRESA

5.1 APORTES EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO

Teniendo en cuenta la experiencia adquirida durante el tiempo de pasantía en la empresa se pudo dar testimonio que es la mejor oportunidad que se le puede otorgar a un estudiante en periodo formación profesional, ya que el pasante puede hacerse una idea de lo que es la vida laboral con todas sus exigencias de responsabilidad y conocimiento.

A continuación se muestra una tabla con las diferentes pruebas que se realizaban en la Central de Generación Eléctrica del Municipio de Guapi – Cauca.

Pruebas Técnicas y Operativas Centrales ZNI	Frecuencia Establecida	Responsable
Pruebas Eléctricas a unidades y equipos. Aislamiento, Termografía.	Anual	División ZNI
Análisis de aceite de transformadores	Anual o semestral. Depende de los resultados.	Personal de Mantenimiento de cada Central
Análisis de aceite de Motores	Mensual	Personal de Mantenimiento de cada Central
Análisis de Vibraciones	Anual	Personal de Mantenimiento de cada Central
Diagnóstico del Sistema de Puesta a Tierra	Cada 2 a 4 años	Líder de Producción de cada Central - Prof. Esp. Mantenimiento ZNI-SIN
Medición Espesores, Hermeticidad y Estanqueidad de Tanques de almacenamiento de combustible.	Cada 5 años	Líder de Producción de cada Central.

Figura 24. Mantenimientos realizados anteriormente en la empresa.

Después de hacer una exhaustiva investigación, se evidencio que el personal encargado no estaba brindando mantenimiento a la mayoría de los dispositivos eléctricos y electrónicos de la central, todo esto por el desconocimiento de las diferentes rutinas y la poca importancia que los dispositivos representan debido a la durabilidad de los mismos.

Esto condujo a un minucioso inventario de los dispositivos eléctricos y electrónicos de la empresa, luego se le dio inicio a la organización del plan de mantenimiento de todos y cada uno de los dispositivos eléctricos y electrónicos con sus respectivas rutinas de mantenimiento.

Posteriormente se capacitó del funcionamiento del Plan de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico a todo el personal encargado, logrando así la puesta en marcha del mismo.

A causa de las condiciones ambientales y la salinidad que se presenta en la población guapireña se recomendó realizar algunos cambios en los periodos de mantenimiento tales como: pruebas en el sistema de puesta a tierra de toda la central.

Con respecto a los costos, se han incrementado ya que las pruebas y rutinas de mantenimiento aumentaron, los beneficios se notaran al transcurrir el tiempo.

5.2 APORTES EN EL SISTEMA DE MONITOREO DE RECONECTADORES

- Se Implementó la red Ethernet para el monitoreo de los reconectadores
- Se configuro los reconectadores para el acceso remoto
- Se capacitó en el manejo de la aplicación WSOS 5 al personal encargado en realizar este monitoreo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Esta pasantía, fue mi primer contacto dentro de un entorno laboral, por esto es importante destacar que el proceso de adaptación al comienzo de la misma no fue tan complicado ya que contaba con la colaboración del personal de la empresa y con las recomendaciones, tanto del tutor organizacional como del institucional.

En definitiva, esta experiencia, me aportó nuevas herramientas para enfrentar próximos escenarios laborales y una visión mucho más profesional de cómo desempeñarme laboralmente.

Por otra parte, en la actualidad los planes de mantenimiento son una herramienta muy importante e indispensable para el crecimiento de las empresas, esto implica el constante monitoreo de ciertos aspectos del funcionamiento de los equipos o maquinaria de las mismas, y para lograrlo el personal operativo se comprometió a dar cumplimiento a este plan.

Cabe resaltar que los conocimientos adquiridos y reforzados, dentro del trabajo de pasantía realizado en la empresa Gestión Energética S.A .E.S.P., se encuentran los siguientes:

- Formas y medidas de seguridad adecuadas que el personal de este tipo de empresa debe tener.
- Funcionalidad e importancia de los tipos de mantenimientos
- Manejo del software de los reconectores
- Conocimiento con respecto a las diversas protecciones eléctricas que posee el equipo y contacto físico con los diversos equipos que se encuentran en un sistema de generación y distribución de energía eléctrica.

6.2 RECOMENDACIONES

Con el fin de que la empresa sea más eficiente en la prestación del servicio se hacen Las recomendaciones:

- La tecnología en este tipo de dispositivos es muy cambiante y las empresas deben estar a la vanguardia, por ello se recomienda capacitar más a menudo al personal con el fin de que estos se adapten a las nuevas tecnologías con mayor facilidad
- Todos los tableros y dispositivos eléctricos y electrónicos deberán tener una correcta señalización de acuerdo al reglamento técnico de instalaciones eléctricas.
- Se realizaran chequeos más frecuentes en el sistema de puesta a tierra debido al alto grado de salinidad que se presenta en la región guapireña
- Para dar cumplimiento al plan y mantener los registros de los equipos en orden, se recomienda el uso de un software de mantenimiento, tales como: RENOVEFRE, E EXCEL, EASY MAINT
- Concientizar al personal de la importancia del uso del plan de mantenimiento ya que la relación costos – beneficios es significativa para la empresa a mediano o largo plazo.
- Mantener actualizado el plan de mantenimiento para evitar pérdidas económicas además de prestar un excelente servicio a la comunidad Guapireña.

7. BIBLIOGRAFÍA

Chuncho, J. (2013). *Modernización y automatización de la subestación gonzama perteneciente al sistema eléctrico de potencia para la empresa eléctrica regional del sur S.A.* (Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4791/1/UPS-CT002643.pdf>

Prado, M. (2004). *Automatización de subestación de 69/13.8 KV aplicada a una subestación de Emelec.* (Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-32821.pdf

Garay, W., Ramírez, M. (2002). *Automatización para control, monitoreo de interruptores y transformadores en subestación eléctrica reductora de San Blas.* (Trabajo de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica).

Baquero, J. (2013). *Análisis de calidad y estudio de confiabilidad del servicio eléctrico en el área de distribución de la S/E TENA de la empresa eléctrica Ambato zona Napo.* (Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5532/1/CD-4632.pdf>

Oyarzo, C. (2008). *Diseño e implementación de una res modbus para el monitoreo de variables eléctricas desde un reconector de circuito Noja propiedad de levaduras collico S.A.* (Trabajo de grado, Universidad Austral de Chile).
Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcio.98d/doc/bmfcio.98d.pdf>

Bosch, S. (2013). *Sistema de monitoreo inteligente para detectar fallas en inversor multinivel*. (Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica de Chile Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de

<https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/1841/614535.pdf?sequence=1>

Rivera, E. (2011). *Sistema de gestión del mantenimiento industrial*. (Trabajo de grado, Universidad nacional mayor de san marcos). Recuperado de

http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/1661/1/Rivera_re.pdf

Cuartas, L. (2008). *Que es el mantenimiento*. Recuperado de

http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso_concurso/area3/QUE_ES_EL_MANTENIMIENTO_MECANICO.pdf

Idhamar, C. (1997). *Results Oriented Reliability & Maintenance Management*. Estados Unidos: Idcon.

Mora, A. (2007). *Mantenimiento estratégico empresarial*. Colombia: Fondo editorial FONEFIT.

Oiltech. (1995). *Mantenimiento proactivo de sistemas mecánicos lubricados – Oiltech Analysis S.L*

Pirret, R. (1999). *Proactive calibration helps drive productivity higher*. Estados Unidos.

Rey, S. (2003). *TPM-Mantenimiento total de la producción*. España: Fundación Confemetal.

Real Academia Española, (2016). Recuperado de <http://www.rae.es/>

Sainz, J. (2008). *Solo mantenimiento, Portal de empresas, servicios y suministros*. España y países latinos

Martín, J. (2000). *Diseño de Subestaciones Eléctricas*, México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2ª ed.

Viqueira, J. (2004). *Redes Eléctricas. Tomo I y II*. Facultad de Ingeniería. Editorial Limusa S.A.

Espinosa, R. (1990). *Sistemas de distribución*. Editorial Limusa S.A.