



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



**DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL DE
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS COMPACTAS EN PEQUEÑAS Y
MEDIANAS EMPRESAS. CASO DE ESTUDIO. EDIFICIO
PROFESIONAL “TORRE STRATOS”**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE
CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

Autor:

Br. Calderón De A., José D.

Tutor:

Prof. Verner Hornebo, Ing.

Valencia, Febrero 2015



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Dedicatoria	V
Agradecimientos	VI
Tabla de contenido	VII
Índice de figuras	XII
Índice de tablas	XIV
Abreviaturas	XV
Información general	XVII
Resumen	XIX
Introducción	1
CAPÍTULO I	
1. EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Justificación de la investigación	9
1.3 Área prioritaria y línea de investigación	10
1.4 Objetivos	
1.4.1- Objetivo general	10
1.4.2- Objetivos específicos	11
1.5 Delimitaciones	11
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes	13
2.2 Bases teóricas	14
2.2.1 Subestaciones eléctricas	14
2.2.1.1 Tipos de subestaciones eléctricas	15
2.2.1.2 Subestación eléctrica compacta	15



2.2.1.3 Partes de una subestación eléctrica compacta	16
A. La unidad de alta o media tensión	17
B. La unidad de baja tensión	25
C. La unidad de transformación	27
2.2.2 El mantenimiento	30
2.2.2.1 Principio y objetivos del mantenimiento	30
2.2.2.2 Finalidad del mantenimiento	31
2.2.2.3 Tipos de mantenimiento	31
2.2.2.4 Gestión de mantenimiento integral	33
2.2.3 Pruebas tipo y de rutina aplicables a subestaciones eléctricas	36
A. Pruebas tipo	36
B. Pruebas de rutina	37
2.2.4 Estudios de factibilidad técnico económica	37
2.3 Definición de términos básicos	39

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación	41
3.2 Diseño de las fases metodológicas	43
3.2.1 Fase 1	43
3.2.2 Fase 2	44
3.2.3 Fase 3	44
3.3 Unidad de estudio y de análisis	45
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	45

CAPÍTULO IV

4. LA PROPUESTA

4.1 Identificación de los elementos que intervienen en el proceso de mantenimiento de una subestación compacta	47
--	----



4.1.1 Recopilación de información de todas las fuentes en formato impreso o electrónico de corte académico o científico enfocadas en el proceso de mantenimiento integral de una subestación compacta	47
4.1.2 Descripción de los componentes considerados fundamentales dentro de la gestión de mantenimiento de una subestación compacta	49
4.1.2.1 Unidad de alta tensión	49
4.1.2.2 La unidad o módulo de transformación	51
4.1.2.3 Unidad de baja tensión	53
4.1.2.4 Sistema de puesta a tierra	54
4.1.2.5 Apartarrayos	55
4.1.3 Establecer los mecanismos de supervisión, evaluación y control de la gestión de mantenimiento	56
4.1.4 Definición del perfil profesional de recurso humano requerido en la gestión de mantenimiento de la subestación compacta	57
4.2 Diseño del programa de gestión de mantenimiento de una subestación compacta aplicable al caso de estudio	60
4.2.1 Diseño del plan de mantenimiento de los principales componentes de la subestación considerando aspectos de seguridad, evaluación y control de equipos y materiales	60
4.2.1.1 La Unidad de alta tensión	62
4.2.1.2 La unidad o módulo de transformación	70
4.2.1.3 Mantenimiento y pruebas a la unidad de baja tensión	83
4.2.1.4 Mantenimiento y pruebas al sistema de puesta a tierra SPAT	88
4.2.1.5 Mantenimiento y pruebas a apartarrayos	94
4.2.1.6 Actividades Finales	101
4.2.2 Diseño de una estrategia para la administración del plan de mantenimiento de la subestación	104



4.2.3 Integración de la estrategia administrativa y el plan de mantenimiento en un marco metodológico para la gestión de mantenimiento de la Subestación	111
4.3 Estudio técnico económico del programa de gestión de mantenimiento en base al caso de estudio	121
4.3.1 Descripción de la situación del mercado de mantenimiento	121
4.3.2 Estudio técnico del mantenimiento para establecer un plan económico	122
4.3.3 Evaluar la relación costo beneficio de las diferentes alternativas de Mantenimiento	122
4.3.4 Seleccionar la mejor alternativa a corto y largo plazo por medio de métodos específicos	125
4.3.5 Evaluar factibilidad del sistema de mantenimiento	126
CAPÍTULO V	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones	127
5.2 Recomendaciones	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
ANEXOS	
Anexo 1 Formato para el registro de inspecciones visuales generales	137
Anexo 2 Formato para la descripción de fallas por sección o dispositivo	138
Anexo 3 Formato para la descripción de fallas durante las actividades preliminares ...	139
Anexo 4 Formato para el cálculo de eficiencia de la subestación	140
Anexo 5 Formato de evaluación y control de la unidad de alta tensión	141
Anexo 6 Formato de registro de condiciones de trabajo del transformador	142
Anexo 7 Formato para el registro de resistencias de aislamiento del transformador	143



Anexo 8 Formato para el registro de resistencias de aislamiento del transformador	144
Anexo 9 Formato de control de actividades de mantenimiento al transformador	145
Anexo 10 Registro de mediciones para pruebas en interruptores	146
Anexo 11 Reporte del mantenimiento al sistema de puesta a tierra	147
Anexo 12 Formato de registro de la prueba de aislamiento en apartarrayos	148
Anexo 13 Formato de registro de la prueba de F.P en apartarrayos	149
Anexo 14 Formato de registro de condiciones finales de apartarrayos	150
Anexo 15 Presupuesto de mantenimiento externo. Empresa ELECTROSOL C.A	151



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Subestación eléctrica del Edificio Profesional Torre Stratos	6
Figura 2.1 Clasificación general de las subestaciones eléctricas	15
Figura 2.2 Módulos de una subestación eléctrica compacta	16
Figura 2.3 Corte transversal de una celda de media tensión	17
Figura 2.4 Aisladores eléctricos	21
Figura 2.5 Cuchillas desconectoras en aire	22
Figura 2.6 Cuchillas desconectoras con carga en aire	22
Figura 2.7 Cuchillas de puesta a tierra	23
Figura 2.8 Portafusibles	24
Figura 2.9 Interior y exterior de un fusible	25
Figura 2.10 Celda de distribución en baja tensión	26
Figura 2.11 Componentes de un transformador eléctrico encapsulado en resina	30
Figura 2.12 Gestión integral del mantenimiento	35
Figura 4.1 Diagrama de actividades iniciales	60
Figura 4.2 Mantenimiento y pruebas a los equipos de la subestación	62
Figura 4.3 Programa de actividades del mantenimiento de la unidad de alta tensión	63
Figura 4.4 Esquema para la prueba de resistencia al aislamiento a cuchillas	66
Figura 4.5 Esquema de conexiones para la prueba de resistencia de contactos	69
Figura 4.6 Esquema de conexiones para la prueba de aislamiento del transformador	73
Figura 4.7 Gráfico Resistencia ($M\Omega$) -- Tensión (kV)	74
Figura 4.8 Gráfico Resistencia ($M\Omega$) -- Tiempo (min)	74
Figura 4.9 Esquema de conexión de un TTR para la prueba de relación de transformación	76
Figura 4.10 Conexiones para realizar la prueba de resistencia Óhmica a devanados	79
Figura 4.11 Conexión Dy de un transformador trifásico	80



Figura 4.12 Programa de actividades para el mantenimiento de la unidad de baja tensión	84
Figura 4.13 Conexión del micróhmetro para medir resistencias de contactos en un interruptor	87
Figura 4.14 Programa de mantenimiento del sistema de puesta a tierra	89
Figura 4.15 Anclaje de sujeción del conductor de puesta a tierra oxidado	90
Figura 4.16 Esquema para la medición de la resistencia de puesta a tierra	92
Figura 4.17 Resistencia de puesta a tierra versus distancia de (Y)	94
Figura 4.18 Programa de actividades del mantenimiento al sistema de apartarrayos	96
Figura 4.19 Prueba de resistencia al aislamiento en apartarrayos	98
Figura 4.20 Componentes de la corriente de fuga en un aislante	99
Figura 4.21 Prueba de factor de potencia del aislamiento del apartarrayos para una sección	100
Figura 4.22 Programa de actividades finales de mantenimiento de la subestación	102
Figura 4.23 Diagrama causa efecto para el análisis de la gestión de mantenimiento	105
Figura 4.24 Fases para el inventario físico de repuestos	113
Figura 4.25 Descripción del proceso de auditoría de programas de mantenimiento	120



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Ventajas de los principales interruptores empleados en celdas	19
Tabla 2.2 Desventajas de los principales interruptores empleados en celdas de media tensión	20
Tabla 4.1 Procedimientos de limpieza para transformadores secos	51
Tabla 4.2 Prueba de resistencia al aislamiento a cuchillas	67
Tabla 4.3 Valores mínimos de resistencia de aislamiento para instalaciones de baja tensión. Estándar IEC 60364-6	67
Tabla 4.4 Valores representativos de aceptación de resistencia de aislamiento según el voltaje nominal del equipo. Estándar ANSI / NETA ATS-2009	68
Tabla 4.5 Resistencia de referencia de algunos fusibles industriales. IEC 60282	70
Tabla 4.6 Valores mínimos de aislamientos recomendados por norma en transformadores sumergidos en aceite	75
Tabla 4.7 Conexiones para la prueba de resistencia óhmica a devanados en un transformador Dy	79
Tabla 4.8 Tabla resumen de actividades de mantenimiento a transformadores secos	80
Tabla 4.9 Guía para la interpretación de problemas en transformadores tipo secos ...	82
Tabla 4.10 Valores de resistencia puesta a tierra en subestaciones	88
Tabla 4.11 Análisis de la gestión de equipos	112
Tabla 4.12 Lista de chequeos para mantener la clasificación del almacén	115
Tabla 4.13 Lista de chequeos para mantener el orden del almacén	116
Tabla 4.14 Lista de chequeos para mantener la limpieza del almacén	116
Tabla 4.15 Costos por Recursos Humanos	123
Tabla 4.16 Costo de herramientas, materiales y equipos	124
Tabla 5.1 Elementos que intervienen en el proceso de mantenimiento planteado	128



ABREVIATURAS

A	:	Amperios
kV	:	Kilovoltios
kVA	:	Kilovoltios-amperios
Vac	:	Voltaje alterno
Vdc	:	Voltaje continuo
MΩ	:	Megaohmios
TTR	:	Pruebas de Relación de Transformación
IEEE	:	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
IEC	:	Comisión Electrotécnica Internacional
ANSI	:	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
NEMA	:	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos
COVENIN	:	Comisión Venezolana de Normas Industriales



INFORMACIÓN GENERAL

Título:

*DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS
COMPACTAS EN PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS. CASO DE ESTUDIO. EDIFICIO
PROFESIONAL "TORRE STRATOS".*

Proyecto de grado que se desarrollará para aplicar al título de Ingeniería Eléctrica de
la Universidad de Carabobo.

Responsable del desarrollo del proyecto:

José Daniel Calderón de Alba
Estudiante de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Carabobo
Dirección: Maracay - Aragua
Email: jdcalderon.dealba@gmail.com

Tutor del proyecto:

Verner A. Hornebo R.
Ingeniero Electricista. Universidad de Carabobo
Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Carabobo
Dirección: Naguanagua - Carabobo
Email: vhornebo@uc.edu.ve



RESUMEN

Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Integral de Subestaciones Eléctricas Compactas en Pequeñas y Medianas Empresas. Caso de Estudio. Edificio Profesional “Torre Stratos”.
Universidad de Carabobo. Año 2014.

Autor: *Calderón José*

Tutor: *Ing. Hornebo Verner*

La realización de este proyecto de grado busca enmarcar, sintetizar y reconducir de la manera más óptima las metodologías, procedimientos y criterios asociados a estructuras de mantenimiento ya definidas que servirán de base para la creación de un modelo de gestión de mantenimiento integral de una subestación compacta industrial, constituyendo en un todo cada elemento que interviene en el proceso de mantenimiento y generando así una metodología general de trabajo basada en el desarrollo de un modelo sistemático y modular de mantenimiento integral cuyo alcance abarque puntos claves como la gestión de información, la gestión de repuestos, la gestión de equipos y la gestión de control, dando pie a una estrategia oportuna para contribuir con la solución total o parcial de algunos problemas ocasionados por fallas metodológicas y organizacionales en la gestión de mantenimiento que comprometan la continuidad productiva de la industria y atenten contra el crecimiento económico. Adicionalmente, el proyecto concluye con el análisis económico sobre la factibilidad a la que conlleva la decisión de desarrollar o tercerizar dicha gestión de mantenimiento. Por otro lado constituirá una herramienta más para la mejora del proceso de capacitación del personal técnico calificado que labora en dicha área y enriquecería el proceso de enseñanza-aprendizaje desde el punto de vista teórico y práctico.

Palabras Claves: Mantenimiento, planificación, subestación, programas, gestión integral, gestión de equipos, gestión de repuestos, gestión de información, gestión de evaluación.



INTRODUCCIÓN

Recientemente, las grandes organizaciones industriales se han visto sometidas a una enorme presión para ser competitivas y ofrecer una entrega oportuna de productos de calidad. Este nuevo entorno ha obligado a los gerentes y a los ingenieros a optimizar todos los sistemas que intervienen en la continuidad operativa de sus organizaciones, en especial aquellos sistemas pilares de la total continuidad de las actividades industriales, como lo son los Sistemas Eléctricos Principales.

El mantenimiento, como sistema, tiene una función clave en el logro de las metas y objetivos de la empresa. Contribuye a reducir los costos, minimizar el tiempo muerto de los equipos, mejorar la calidad, incrementar la productividad y contar con equipo confiable que sea seguro y esté bien configurado para lograr la entrega oportuna de las órdenes a los clientes. Además, un sistema de mantenimiento juega un papel importante en minimizar el costo del ciclo de vida de los equipos. Para alcanzar la tasa de rendimiento sobre la inversión que se ha fijado como meta, se deben maximizar la disponibilidad de la planta y la eficiencia de los equipos. Ya en el pasado se había tomado en cuenta el papel del mantenimiento en la rentabilidad a largo plazo de una organización, sin embargo, hasta hace poco se había dado muy poca atención a los modelos integrales de los sistemas de mantenimiento entorno a las necesidades de los sistemas eléctricos industriales y mucho menos a las de las subestaciones eléctricas.

El objetivo de este proyecto es presentar al mantenimiento como un sistema integrado que requiere planeación, diseño, ingeniería y control mediante el empleo de diferentes técnicas de diagnóstico de los equipos de una subestación. Se hace énfasis en el empleo de filosofías organizacionales para la operación, control y mejora de los sistemas de mantenimiento. Esperamos que este esfuerzo ayude a que los sistemas de mantenimiento maduren como una disciplina que debe ser enseñada, investigada y practicada dentro de la industria, al igual que los demás campos de la ingeniería y la administración industrial.



A continuación se hará referencia al contenido de los cinco capítulos que conforman el presente trabajo de grado, para que el lector adquiera una idea general de los diferentes tópicos que se desarrollarán con detalles a lo largo de la investigación.

Los cinco capítulos y su contenido fueron distribuidos de la siguiente manera:

El Capítulo I presenta el desarrollo teórico del planteamiento y la formulación del problema, su justificación y objetivos; tanto general como específicos, el alcance y las limitaciones de la investigación.

El Capítulo II describe los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y el marco teórico con el que se delimitará el proyecto, el cual comprende el desarrollo teórico sobre las generalidades de las subestaciones compactas, el mantenimiento desde el punto de vista integral, con sus objetivos, características, ventajas y desventajas y algunas técnicas fundamentales aplicables al diagnóstico de subestaciones eléctricas.

El Capítulo III presenta el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, también hace referencia a un conjunto de definiciones en materia de metodología de la investigación sobre las cuales se apoya el método investigativo del proyecto, incluyendo citas textuales, se describen los recursos empleados y aquellos aspectos que permitan desglosar en sistemáticos procedimientos las diferentes fases de la investigación a realizar.

El Capítulo IV detalla el desarrollo y resultado de cada una de las fases, procedimientos y técnicas aplicadas en la consecución del objetivo general del trabajo. En general, en este capítulo se despliegan las herramientas necesarias para cumplir con los trabajos de mantenimiento de una subestación compacta, incluyendo los planes de trabajo, el personal requerido, la metodología y organización de la gestión de mantenimiento e inclusive los costos internos y externos.



El Capítulo V expone las conclusiones y recomendación tras los resultados alcanzados en las etapas anteriores. Las conclusiones están basadas en la factibilidad técnica y económica del proyecto.

Por último se citan las referencias bibliográficas consultadas para la elaboración de los distintos capítulos y se presentan los anexos que complementan la investigación en diferentes puntos del estudio. En lo subsiguiente se presenta de manera concisa el desarrollo de la investigación la cual se espera sea de gran utilidad para los lectores interesados en la temática y al mismo tiempo sirva de referencia para estudios posteriores.



CAPITULO I

EL PROBLEMA

En este capítulo se tratará lo concerniente al planteamiento del problema, la justificación del mismo, los objetivos planteados, así como también la justificación y alcance del proyecto.

1.1- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día, la energía eléctrica es necesaria para todos los sectores productivos de un país, bien sean grandes o pequeños, primarios o secundarios, ninguno está exento del consumo de la misma, de manera directa o indirecta. Este proceso de generación, transmisión y distribución hasta los diferentes sectores, mantiene un mismo esquema independientemente de la manera en que se genere la energía eléctrica.

Cuando los parques e instalaciones de generación distan considerablemente de los centros de consumo, las tensiones generadas son elevadas y conducidas a través de líneas de transmisión hasta los centros de transformación y subtransmisión mejor conocidos como subestaciones eléctricas, éstas, tienen la finalidad de transmitir energía de un circuito a otro transformando las tensiones que recibe de las líneas de transmisión a valores de subtransmisión o distribución, los cuales tienen niveles de tensión normalizados de 34.5 kV, 13.8 kV, 12.47 kV, 8.3 kV o 4.8 kV y son también conocidos como circuitos de media tensión.

A estos circuitos de media tensión son conectados usuarios que no demanden una considerable cantidad de energía eléctrica, mediante un arreglo de transformadores eléctricos dispuestos de manera que se conserven las propiedades de las tensiones y solo varíen sus magnitudes adaptándose a los valores nominales de funcionamiento de los equipos en cuestión.

Cuando se trata de pequeñas y medianas empresas, urbanismos o en general sectores con una demanda energética representativa, como es el caso del **Edificio Profesional Torre Stratos**, es necesario emplear equipos que puedan manejar la energía exigida por su sistema eléctrico y que además cuenten con un diseño que permitan un menor uso de espacio pero que a su vez brinden seguridad y confiabilidad tanto para el sistema eléctrico como para el usuario, es por ello que estos centros de trabajo optan por reemplazar sus amplios sistemas de transformación por un tipo de subestación llamada compacta o tipo cliente.

En la actualidad la gerencia de mantenimiento del Edificio Profesional Torres Stratos dispone de un proyecto de actualización y reemplazo de su sistema de transformación en miras de adaptar una subestación compacta que establezca los beneficios de estas unidades.



Figura 1.1- Subestación Eléctrica del Edificio profesional Torre Stratos

Fuente: Calderón, J. (2014)



La figura 1.1 ilustra las condiciones actuales del sistema de transformación del Edificio Profesional Torre Stratos. En la imagen se distingue la celda de alta tensión alimentada por dos circuitos de 13.8 kV, dos transformadores de potencia sumergidos en aceite, uno de 800 kVA y otro de 300kVA, y las celdas de distribución a 208 V en el secundario de cada transformador.

A partir de esto, se genera la necesidad de evaluar los requerimientos mínimos para el control y la supervisión de la nueva subestación propuesta en vista de que bajo el esquema actual no se documentan registros de fallas, informes de correcciones, historiales de eventos, procedimientos, ni se cuenta con un personal interno capacitado para labores inherentes al caso, en concreto, no hay un plan para la gestión administrativa, de control y ejecución de mantenimiento, por lo que la actual gerencia promueve el desarrollo de este plan de trabajo para que sea implementado a partir del cambio al nuevo sistema de transformación compacto y fortalezca el departamento en este aspecto.

Adicionalmente, por su posición en el esquema eléctrico, las subestaciones pueden considerarse el componente más responsable de la continuidad de todo el aparato productor; por ello en los últimos años han tenido un papel protagónico en las estructuras de mantenimiento de las industrias a fin de establecer los mecanismos para su adecuado manejo y minimizar al máximo la probabilidad de eventos desfavorables como paros generales de planta, daños de equipos y maquinarias, pérdidas de productos en proceso, gastos por mantenimiento y accidentes laborales, entre otros.

En Venezuela, el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE), creado con el propósito de lograr una mayor eficacia en el ordenamiento del Sistema Eléctrico Nacional y una reestructuración de la corporación eléctrica nacional (Corpoelec) inicia un proceso de fiscalización de todo el sector y sus empresas filiales con el objeto de evaluar y velar por el cumplimiento de la normativa existente que garantiza un buen servicio eléctrico.



Dentro de este proceso de fiscalización, las subestaciones compactas no han sido un tema de relevante importancia para la administración pública, por ser, entre otras cosas, unidades muy comúnmente utilizadas en el sector industrial privado, por lo tanto no ha sido competencia del MPPEE la administración de su mantenimiento, evaluación y control. Bajo este panorama trabaja hoy en día el sector industrial con el apoyo de terceros o casas fabricantes internacionales y en base a criterios y estándares de otras organizaciones reconocidas mundialmente en materia de energía eléctrica para llevar a cabo planes de mantenimiento preventivo y correctivo según sea el caso, lo que deja así un considerable nivel de incertidumbre dentro del personal encargado del monitoreo de la unidad ante alguna eventualidad o el desarrollo u aplicación de algún plan de supervisión y verificación de parámetros, instrumentos y equipos en general.

Por esta razón, los diferentes sectores productivos y las nuevas filosofías de trabajo le han dado relevante importancia dentro de la gestión del mantenimiento a estos equipos, gestión que debería englobar al mantenimiento predictivo, para revisar con cierta frecuencia el estado de los equipos, al mantenimiento correctivo para reparaciones o reemplazos preventivos, el cual deberá tener cierta planificación para intervenciones de emergencia, y al mantenimiento proactivo, para el análisis y revisión periódica de la gestión, y para la evolución del mantenimiento y sus procedimientos. Todo esto interrelacionado entre sí apunta a conformar una metodología de mantenimiento integral que evalúe, diagnostique e implemente las acciones necesarias para reducir los niveles de incertidumbre en el entorno de la subestación compacta.

En tal sentido, en años recientes se han realizado diversos trabajos de campo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo enfocados en el análisis e interpretación de datos recabados por diferentes técnicas como las térmicas o ultrasónicas aplicadas a subestaciones eléctricas del estado, respondiendo satisfactoriamente a la mayoría de las interrogantes.



Sin embargo en estas investigaciones el aspecto relacionado al desarrollo y conformación de un plan de administración y mantenimiento de cada aspecto de una subestación compacta convencional no se ve abordado con suficiente énfasis, creando la inquietud e impulso para el desarrollo del presente trabajo, que apoyado en la experiencia de su desarrollador se presenta como una necesidad de este sector de la industria.

1.2- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se sabe que una subestación tiene la función de transmitir la energía eléctrica de un sistema a otro, y que cada componente de la misma cumple funciones únicas relativas a ese equipo, por tanto, en caso de ausencia o falla de uno de estos, sin importar la causa, no será posible reemplazar u obviar tal componente para que la transmisión de energía continúe porque esto podría llevar a fallas mayores, o paradas del sistema no programadas, que pudieron haberse evitado si el componente o la situación de falla en cuestión hubiera estado contemplada dentro de un plan integral de manteniendo.

Por lo tanto, el desarrollo de un procedimiento sistemático y modular para realizar un mantenimiento integral en subestaciones compactas resulta un instrumento oportuno para contribuir con la solución total o parcial de problemas organizacionales asociados a la gestión de mantenimiento, lo que se plantea hoy como una necesidad ineludible y que tiene un valor tecnológico y de mercado incalculable porque significa mejorar la calidad, y la mejora de la calidad aumenta la competitividad empresarial porque permite satisfacer mejor los requerimientos de los clientes a tiempo, mediante el trabajo eficiente y constaste. Lograr esto exige eliminar inspecciones y retrabajos y resolver los problemas que impiden hacer correctamente las cosas correctas desde la primera vez.

Desde el punto de vista educativo constituirá una herramienta más para la mejora del proceso de capacitación del personal técnico calificado que labora en dicha área y enriquecería el proceso de enseñanza-aprendizaje desde el punto de vista teórico y práctico.



1.3- ÁREA PRIORITARIA Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Las áreas prioritarias de investigación (API), descritas por la Universidad de Carabobo en consonancia con la Agencia Nacional de Prioridades, las áreas estratégicas propuestas por el Observatorio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (ONCTI) y los proyectos estratégicos formulados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCI), se definen como un ámbito que, por su relevancia, factibilidad y utilidad, identifica y delimita el marco investigativo de la universidad.

En este contexto, el área con la que se identifica el modelo de investigación del proyecto es la de Sistemas Productivos y Desarrollo Sustentable. Esta área busca generar, producir y difundir conocimiento científico, tecnológico y humanístico acerca de los sistemas productivos considerando su composición, estructura, entorno, mecanismos y productos.

Delimitando aún más el estudio, dentro del área prioritaria se encuentra definida, por la Universidad de Carabobo, la línea de investigación de Mantenimiento Predictivo en Sistemas y Equipos, línea que termina de enmarcar perfectamente el desarrollo de la investigación y que se fortalece con nuevas bases para iniciar proyectos o programas de mantenimientos que contribuyan a mejorar los modelos actuales con el propósito de que trasciendan desde las universidades o centros de investigación hacia las empresas del sector industrial en general.

1.4- OBJETIVOS

1.4.1- OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un programa administrativo para la planificación y control del mantenimiento integral de la subestación compacta propuesta para el Edificio Profesional Torre Stratos.



1.4.2- OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar los elementos que intervienen en la planificación, control y ejecución del mantenimiento de una subestación compacta.
2. Diseñar el programa de gestión de mantenimiento de una subestación compacta aplicable al caso de estudio.
3. Realizar el estudio técnico económico del programa de gestión de mantenimiento en base al caso de estudio.

1.5.- DELIMITACIONES

De Espacio (geográfico): Una parte de la investigación se desarrollará en el Departamento de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo ubicada en Bárbula, Edo. Carabobo. La misma responde a necesidades organizacionales y funcionales que aportan a la Dirección de Investigación de la Facultad de Ingeniería para el desarrollo de nuevos programas. La parte correspondiente a la captura de datos e información técnica se llevará a cabo en el Edificio Profesional Torre Stratos ubicado en la avenida Bolívar Norte de Valencia, Edo. Carabobo.

De contenido: La realización de este proyecto de grado se enmarca en la idea de sintetizar y redireccionar las normas, técnicas y procedimientos asociados a filosofías de mantenimiento ya definidas para diseñar un modelo de gestión de mantenimiento integral de una subestación compacta en base a los estándares y normas internacionales de calidad, operación y mantenimiento como: IEEE, IEC, ANSI, NEMA, las cuales se citarán más especificaran durante el desarrollo del proyecto.



En concreto el proyecto propone una metodología que facilite y contribuya a desarrollar una gestión de mantenimiento de subestaciones compactas mediante la integración de los diferentes niveles organizacionales que intervienen en el proceso; como la administración, la planificación, la ejecución y el control de los recursos materiales y humanos; mediante el uso de la documentación como técnica de investigación.

De Tiempo: La recopilación de información comprende toda la producción de universidades, organizaciones y centros de investigación disponibles hasta Diciembre de 2013. El trabajo en todas sus fases inicia en Julio 2013 y culmina en Julio 2014.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

En esta etapa se establece la teoría que ordena la presente investigación y que está enfocada directamente en dos áreas y que en efecto son: los mantenimientos industriales y las subestaciones eléctricas compactas.

2.1- ANTECEDENTES

A continuación se presenta el resumen de varios trabajos de investigación, en el que se mencionan algunos aspectos que contribuyeron en el presente trabajo especial de grado:

Franco, R. y Rondón Zulay (2006). “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo en el área de empaque de la empresa ALPINA PRODUCTOS ALIMENTICIOS, C.A. bajo la norma COVENIN 3049-93”. Trabajo de pregrado para optar al título de Ingeniero Industrial de la Universidad de Carabobo. El trabajo tuvo como fin describir los elementos necesarios para mejorar el proceso de empaque a través de un programa de mantenimiento en consonancia con la norma COVENIN 3049-93. Esta investigación realiza un aporte conceptual y metodológico sobre la realización e implementación de un plan de mantenimiento orientado a la disminución de paradas no programadas, disminución de costos y optimización de las actividades de mantenimiento.

Carmona F., Ochoa J. (2008). “Procedimiento para el mantenimiento predictivo en subestaciones de 115 / 34.5 / 13.8 kV, utilizando técnicas de termografía y ultrasonido. Empresa Electricidad de Valencia”. Trabajo de pregrado para optar al título de Ingeniero Electricista de la Universidad de Carabobo. En este trabajo de grado se elaboraron procedimientos sistemáticos para realizar pruebas de termografía y ultrasonido en algunos elementos de subestaciones y que sirven como base para el desarrollo de la presente investigación.



Caneva O. (2010). “Metodología básica para el diseño de subestaciones eléctricas compactas”. Trabajo de pregrado para optar al título de Ingeniero Electricista de la Universidad Simón Bolívar. Esta investigación tiene como objetivo describir una base metodológica de trabajo para el diseño de subestaciones eléctricas compactas, donde se describe la ingeniería básica correspondiente, esfuerzos electromecánicos, distancias mínimas de seguridad y aislamiento, mallas de puesta a tierra y protecciones, lo que la hace relevante desde el punto de vista teórico para este trabajo.

Mayora E. (2012). “Metodología de inspección para las subestaciones eléctricas de distribución de Corpoelec-CADAFE”. Trabajo de pregrado para optar al título de Ingeniero Electricista de la Universidad Simón Bolívar. Este proyecto desarrolla un formato de evaluación y condición del estado de las subestaciones tipo radial de la filial CADAFE, cuyo nivel de tensión es de 38.5/13.8 kV, para ello hace uso de la normativa y leyes que respaldan la actividad de fiscalización, permitiendo enmarcar dentro de lo legal los procedimientos de mantenimiento del presente trabajo.

2.2- BASES TEÓRICAS

Las bases teóricas cumplen múltiples funciones, entre las más relevantes: guía la investigación, permite establecer un escenario para interpretar los resultados, proporciona el lenguaje pertinente para redactar las conclusiones, y vislumbrar posibles soluciones ante el problema enunciando, en base a esto se desarrollan los siguientes tópicos.

2.2.1- SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Una subestación eléctrica es un conjunto de elementos o dispositivos que permiten modificar las características de energía eléctrica (tensión, corriente, frecuencia, etc.), tipo corriente alterna o corriente directa, o bien, conservarla dentro de ciertas características para facilitar su transporte y distribución. Su equipo principal, como se describirá mas adelante, es el transformador de potencia [1].

2.2.1.1- TIPOS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

En general las subestaciones eléctricas pueden clasificarse según la figura 2.1 por:

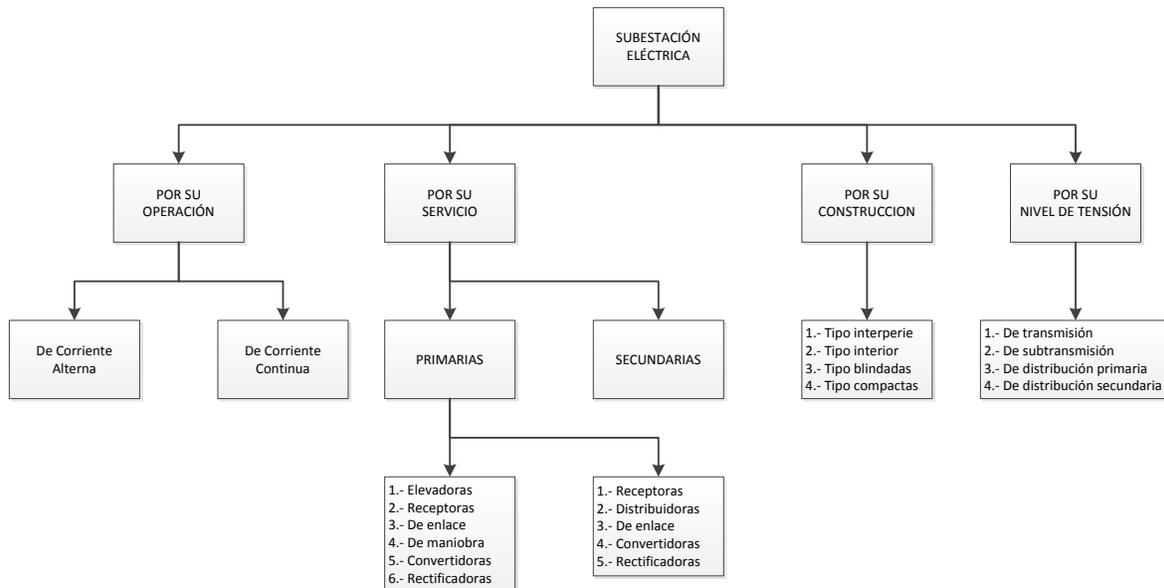


Figura 2.1- Clasificación General de las Subestaciones Eléctricas.

Fuente: Calderón, J. (2014)

2.2.1.2- SUBESTACION ELÉCTRICA COMPACTA

Una subestación eléctrica compacta debe su nombre a la manera en la cual el conjunto de dispositivos de una subestación eléctrica regular son ensamblados e interactúan entre sí. Los elementos de interrupción o celdas de seccionamiento permanecen aislados de los elementos de transformación y distribución de cargas pero todos dentro de una misma unidad. Los dispositivos de desconexión primarios y secundarios cuentan con propiedades mecánicas que permiten brindar mayor seguridad durante maniobras de conexión y desconexión. Las barras de carga, transformadores de potencia y control, están completamente rodeadas y aisladas entre sí por barreras metálicas puestas a tierra, que no tienen aberturas intencionales entre compartimentos [2]

En general, las subestaciones compactas son unidades aisladas por una barrera de metal que garantiza que todas las partes energizadas permanecen encerradas entre compartimentos metálicos conectados a tierra con el propósito de ahorrar espacio, material de interconexión y tiempo de montaje.

2.2.1.3- PARTES DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA COMPACTA

Como se describió en la sección anterior, las subestaciones eléctricas y en particular las compactas cuentan con básicamente tres componentes o unidades dispuestas de manera tal que conforman la unidad de transferencia energética de un circuito a otro u otros, bajo ciertas especificaciones de diseño que esencialmente responden a la necesidad de espacio y ubicación de importantes centros de consumo. A continuación la figura 2.2 ilustra una subestación eléctrica compacta y sus principales partes.

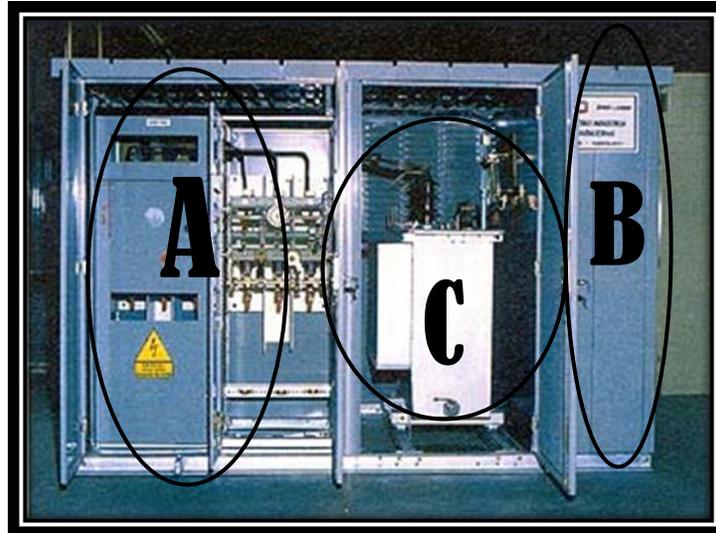


Figura 2.2- Módulos de una Subestación Eléctrica Compacta.

Fuente: Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2006). “Curso Virtual de Redes Eléctricas”.

En la figura se detalla:

- A. La Unidad de Alta o Media Tensión.
- B. La Unidad de Baja Tensión.
- C. La Unidad de Transformación.

A. LA UNIDAD DE ALTA O MEDIA TENSIÓN.

En esta sección de la subestación se encuentra el interruptor de alta o media tensión, por el cual pasa la corriente de la compañía suministradora antes de llegar a la unidad de transformación. La figura 2.3 muestra la disposición de un grupo de interruptores dentro de una típica celda de alta tensión de una subestación compacta.

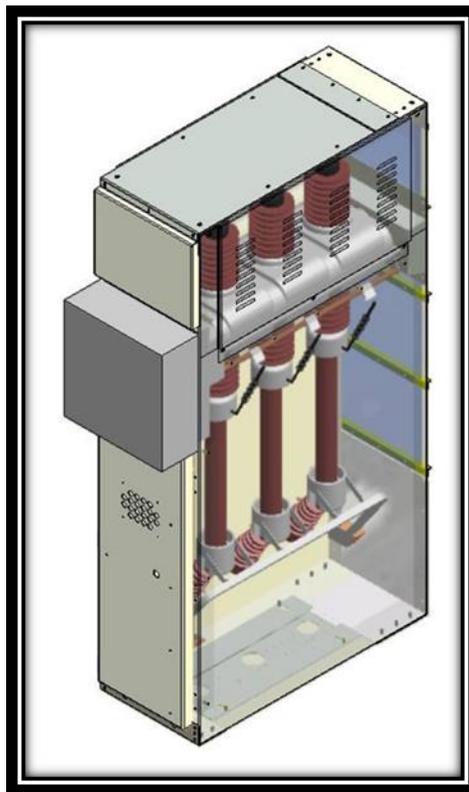


Figura 2.3- Corte Transversal de una Celda de Media Tensión.

Fuente: Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2006). “Curso Virtual de Redes Eléctricas”.



En consecuencia, la unidad de alta o media de tensión es la encargada, a través de los interruptores, de aislar y desconectar la subestación del sistema eléctrico principal y en consecuencia todas las cargas asociadas a la misma, tanto en condiciones de operación normal (máxima carga o en vacío) como en condición de cortocircuito.

La operación de un interruptor puede ser manual o accionada por la señal de un relé encargado de vigilar la correcta operación del sistema eléctrico donde esté conectado. Por lo general y para obtener una mayor índice de confiabilidad estos dispositivos de vigilancia se conectan a bancos de baterías. Este tipo de energización, sí bien aumenta los índices de confiabilidad, también aumenta el costo y los requerimientos de mantenimiento exigidos por las baterías. También es común energizar estos circuitos de control, a través de transformadores de servicios auxiliares, conectados desde las barras de la subestación, con un voltaje secundario.

Dependiendo de las limitaciones de espacio, de ambiente, de seguridad o por la capacidad interruptiva requerida, el diseño de las celdas pasa por seleccionar el interruptor que más se ajuste a los requerimientos pero que garantice su eficiente funcionamiento bajo cualquier condición, que básicamente consiste en extinguir el arco y establecer la rigidez dieléctrica entre los contactos para soportar en buena forma (sin reencendido del arco) las tensiones de reignición, propiedad que dependerá de las características constructivas del mismo.

A continuación se resumen en las tablas 2.1 y 2.2 las ventajas y desventajas de campo de los diferentes tipos de interruptores desde el punto de vista constructivo empleados en el diseño de celdas de media tensión.

Otros elementos contentivos en las celdas de alta y media tensión suelen ser dispositivos de maniobra para aislar y asegurar la unidad durante operaciones de mantenimiento. A continuación se describen algunos de los más importantes.

- **Aisladores:** Dentro de la unidad de alta tensión los aisladores, como los ilustra la figura 2.4, encuentran su aplicación en soportes para barras conductoras de buses y circuitos derivados, soportes para cables, bases aisladas para mordazas, para fusibles y otros dispositivos similares, para soportar partes vivas en equipos y accesorios de media tensión. Una de sus características principales es que están fabricados a base de resina epóxica de formulación exclusiva para uso en alta tensión. La fabricación se realiza mediante un proceso de inyección a presión que impide deformaciones y esfuerzos internos [3].



Figura 2.4- Aisladores Eléctricos.

Fuente: Enríquez Harper, G. (2005).

“Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión”

- **Cuchillas Desconectoras y de Puesta a Tierra**

Las cuchillas desconectoras ilustradas en la figura 2.5, son utilizadas como dispositivos de seccionamiento de circuitos, para operar sin carga, en sistemas de media tensión. Están construidas sobre un bastidor de acero con acabado galvanizado anticorrosivo.

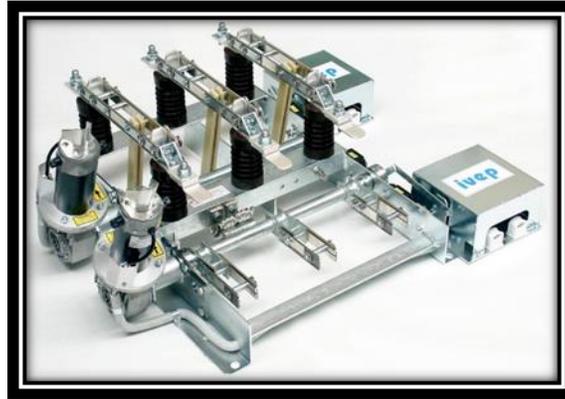


Figura 2.5- Cuchillas Desconectadoras en Aire.

Fuente: Enríquez Harper, G. (2005).

“Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión”

La flecha de accionamiento gira dentro de bujes de material anticorrosivo de baja fricción, previniendo así el desgaste y oxidación, manteniéndose en óptimas condiciones aún después de un largo período de instalación y uso. A pesar de la presión de contacto, las cuchillas desconectadoras son de operación sencilla y ligera en forma manual. Las cuchillas desconectadoras con carga en aire, figura 2.6, son equipos tripolares de operación en grupo, utilizados para operar con carga y seccionar redes de tensión media de hasta 38 kV, conectar y desconectar líneas o cables, seccionar circuitos en anillo así como para conectar y desconectar transformadores con o sin carga.



Figura 2.6- Cuchillas Desconectadoras con Carga en Aire.

Fuente: Enríquez Harper, G. (2005).

“Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión”

A pesar de la presión de contacto, los desconectores eléctricos en aire son de operación sencilla y ligera, mediante accionamientos a resorte de cierre y apertura rápida para garantizar las características de cierre y de capacidad interruptiva bajo carga, gracias a la velocidad de operación lograda por los mecanismos, asegurando así que su velocidad, su repetibilidad y por ende su confiabilidad sean independientes del operador. En las versiones con portafusibles, la capacidad interruptiva de cortocircuito está determinada por el fusible empleado. [3]

Las cuchillas de puesta a tierra de la figura 2.7 son utilizadas como elementos para conectar a tierra barras colectoras, circuitos derivados, capacitores y cualquier otro equipo, de manera segura y firme, los cuales hayan sido previamente desconectados de la red de alimentación por medio de desconectores, cuchillas o interruptores.

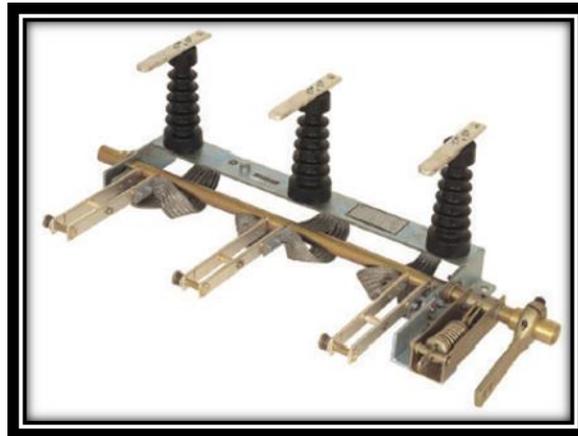


Figura 2.7- Cuchillas de Puesta a Tierra.

Fuente: Enríquez Harper, G. (2005).

“Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión”

Se emplean principalmente para propósitos de mantenimiento o inspección, representando un medio más seguro y confiable que la utilización de cables y pinzas para conectar a tierra, asegurando de esta forma que el personal que trabaje en estas áreas esté adecuadamente protegido, reduciendo la posibilidad de recibir una descarga a través de alguna parte de la instalación que haya permanecido energizada o con potencial debido a cargas eléctricas acumuladas, por ejemplo en capacitores, cables subterráneos y líneas largas. [3]

- **Portafusibles y Fusibles**

Los portafusibles como los de la figura 2.8 son empleados como elementos de soporte y conexión para fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva. Están contruidos sobre un bastidor de acero con acabado galvanizado anticorrosivo y están provistos con terminales de cobre plateado para conectar directamente barras de cobre o cables con conectores y zapatas.

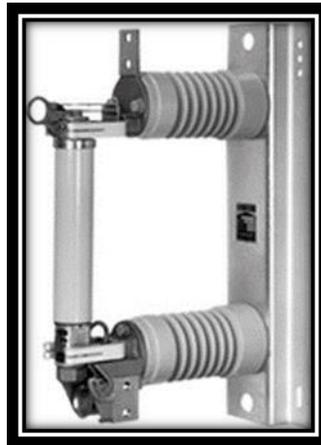


Figura 2.8- Portafusibles.

Fuente: Enríquez Harper, G. (2005).

“Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión”

Las mordazas (clips) por su diseño, ejercen una presión alta de contacto sobre los casquillos de los fusibles, garantizando no sólo un área amplia de contacto, sino una resistencia óhmica mínima en esta zona, evitando así calentamiento y manteniendo a los fusibles firmemente sujetos, sin peligro de desprendimiento en cualquier posición. A pesar de la alta presión, la inserción y extracción de los fusibles es sencilla y sin complicaciones.

Finalmente los fusibles limitadores de corriente, figura 2.9, son dispositivos, para protección contra cortocircuitos en redes de alta tensión, proporcionan protección contra los daños térmicos y dinámicos que ocurrirían en caso de cortocircuito si no se dispone de esta protección, gracias a su respuesta y a la característica de limitación de corriente de cortocircuito a los valores previstos en el diseño del fusible, al interrumpir la corriente de cortocircuito antes de que el primer semiciclo de la onda de corriente llegue a su valor natural máximo.



Figura 2.9- Interior y Exterior de un Fusible.

Fuente: Enríquez Harper, G. (2005).

“Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión”

B. LA UNIDAD DE BAJA TENSION

Esta unidad o celda contiene el tablero de distribución de baja tensión, que es alimentado desde el secundario del transformador generalmente a través de barras conductoras. Los tableros de distribución de baja tensión pueden ser diseñados en diferentes arreglos y configuraciones con el fin de adaptarse a cualquier aplicación específica. En él se disponen

barras de cobre adecuadamente para las fases y un neutro proporcionado según la tensión y corriente del secundario del transformador, así como una barra de tierra vinculada al neutro.

Los tableros pueden ser modulares, tipo murales o autoportados y fabricados con estructuras de plancha de hierro de hasta 3 mm. En ellos se alojan y distribuyen interruptores termomagnéticos, electromagnéticos, instrumentos de medición, lámparas indicadoras, entre otros dispositivos.

La figura 2.10 muestra una celda de distribución en baja tensión con un arreglo de barras para una configuración con protección principal.



Figura 2.10- Celda de Distribución en Baja Tensión.

Fuente: Enríquez Harper, G. (2005).

“Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión”

En general la estructura está formada por columnas y travesaños soldados entre sí siendo completamente modular, permitiendo añadir nuevas estructuras hacia los costados para ampliaciones futuras.



La ubicación de los equipos internos se efectúa para brindar la mayor facilidad para la instalación y mantenimiento; así como para proporcionar la mayor seguridad para los operadores y las instalaciones y para brindar un grado alto de continuidad de servicio. En general los dispositivos instalados en un tablero son los siguientes:

- a) Un interruptor general automático, que tenga accionamiento manual y dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.
- b) Un interruptor diferencial para protección de contactos indirectos y directos. Este es un interruptor que tiene la capacidad de detectar la diferencia entre la corriente de entrada y salida en un circuito. Cuando esta diferencia supera un valor determinado para el que ha sido calibrado el dispositivo abre el circuito, interrumpiendo el paso de la corriente a la instalación que protege.
- c) Interruptores termomagnéticos, para proteger cada uno de los circuitos independientes contra sobrecargas y cortocircuitos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de la corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico, por tanto el dispositivo consta de dos partes un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga. No obstante también se usan fusibles calibrados con características de funcionamiento adecuado.
- d) Un borne de conexión de los conductores de protección o conductor de tierra.

C. LA UNIDAD DE TRANSFORMACIÓN

Contiene quizás el elemento principal de toda subestación eléctrica, el transformador.

El transformador de potencia es una maquina eléctrica sin partes móviles utilizado para cambiar los niveles de tensión y corriente de uno o más circuitos eléctricos de una misma frecuencia, los cuales están acoplados a un núcleo ferromagnético, en donde los cambios de



niveles de tensión y corriente son posibles debido al principio de inducción electromagnética [4].

Uno de los factores que más afectan la vida de los transformadores es la temperatura de operación, esta temperatura está producida principalmente por las pérdidas localizadas en los siguientes elementos:

- a) **El núcleo o circuito magnético:** Las pérdidas son producidas por el efecto de histéresis y las corrientes circulantes en las laminaciones, son dependientes de la inducción, es decir, influye la tensión de operación.
- b) **Los devanados:** Las pérdidas se deben principalmente al efecto joule y en menor medida por corrientes de Foucault, estas pérdidas en los devanados son dependientes de la carga en el transformador.

Se presentan también pérdidas en las uniones o conexiones que se conocen también como "puntos calientes" así como en los cambiadores de derivaciones. Todas estas pérdidas producen calentamiento en los transformadores, y se debe eliminar este calentamiento a valores que no resulten peligrosos para los aislamientos, por esta razón es importante que este calor producido disipe de manera que se mantenga dentro de los límites tolerables por los distintos tipos de aislamiento [5]. La transmisión del calor en el transformador puede darse de la forma siguiente:

1. Conducción a través del núcleo, bobinas y demás elementos hasta la superficie.
2. Para los transformadores en aceite, el calor se transmite por convección a través de éste dieléctrico.
3. Transmisión por convección en el caso de los transformadores encapsulados en resina.



Estos últimos mencionados, también conocidos como transformadores secos, se han convertido en la mejor opción para fabricantes de subestaciones compactas por los múltiples beneficios que otorga.

Por las exigencias de espacio y mantenimiento también son ideales para ser instalados en centros industriales, edificios públicos, centros comerciales, escuelas y universidades entre otras aplicaciones, que disponen de un limitado espacio físico para la construcción de un centro de transformación.

Algunas características de estos transformadores encapsulados son:

1. Estos transformadores tienen mantenimiento mínimo.
2. Requieren de poco espacio para su instalación por su diseño compacto.
3. Máxima resistencia mecánica ante esfuerzos dinámicos de corto circuito.
4. No emiten gases tóxicos y/o nocivos.
5. No requieren de protecciones de seguridad especiales (detención de incendios).
6. Gran capacidad para soportar sobre tensiones.
7. Capaces de soportar condiciones severas de balanceo y vibración.
8. Sobre elevación de potencia al 33% con enfriamiento forzado.
9. Resistencia a ambientes agresivos (humedad, temperatura, polvo, etc.)
10. Buen comportamiento ante fenómenos sísmicos
11. Requieren de mínima obra civil.
12. Compatibles al 100% con el medio ambiente ya que no contienen liquido aislante.
13. Una vez que termina su vida útil el 90% de sus componentes pueden ser usados en otras aplicaciones.
14. Sin riesgo de fugas de sustancias químicas inflamables.

La figura 2.11 ilustra un montaje típico de un transformador eléctrico encapsulado en resina epóxica en la cual se señalan algunas de sus principales partes.

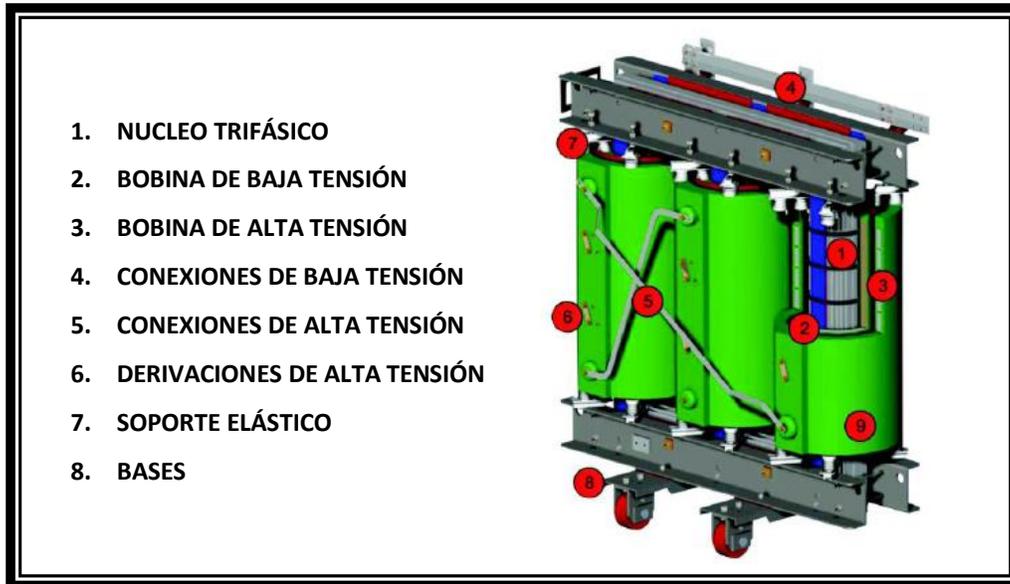


Figura 2.11- Componentes de un Transformador Eléctrico Encapsulado en Resina Epóxica.

Fuente: WEG Industries (2010).

“Catálogo de Transformadores Tipo Encapsulado

2.2.2- EL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es la acción eficaz para mejorar aspectos operativos relevantes de un establecimiento tales como funcionalidad, seguridad, productividad, confort, imagen corporativa, salubridad e higiene. Otorga la posibilidad de racionalizar costos de operación. El mantenimiento debe ser tanto periódico como permanente, preventivo y correctivo. Con una buena planificación y programas oportunos de inspecciones rutinarias [7].

2.2.2.1- PRINCIPIO Y OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO.



El principio fundamental del mantenimiento es asegurar que todo activo continúe desempeñando las funciones deseadas. Con el objetivo de asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

- Garantizar la disponibilidad y confiabilidad planeadas de la función deseada.
- Satisfacer todos los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente, y
- Maximizar el beneficio global.

¿Por qué hacer mantenimiento en una empresa?

Porque el mantenimiento representa una inversión que a mediano y largo plazo acarreará ganancias no sólo para el empresario a quien esta inversión se le revertirá en mejoras en su producción, sino también el ahorro que representa tener trabajadores sanos e índices de accidentalidad bajos.

El mantenimiento representa un arma importante en seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en los equipos que pueden ser prevenidos. [8]

2.2.2.2- FINALIDAD DEL MANTENIMIENTO.

Conservar la planta industrial con el equipo, los edificios, los servicios y las instalaciones en condiciones de cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por los requerimientos de producción [8].



2.2.2.3- TIPOS DE MANTENIMIENTO.

La norma COVENIN 3049-93 define SP como: aquellas siglas que identifican a los sistemas productivos dentro de los cuales se pueden encontrar dispositivos, equipos, instalaciones y/o edificaciones sujetas a acciones de mantenimiento [9].

La norma COVENIN 3049-93, establece los siguientes tipos de mantenimiento:

- **Mantenimiento Programado:** Toma como basamento las instrucciones técnicas recomendadas por los fabricantes, constructores, diseñadores, usuarios y experiencias conocidas, para obtener ciclos de revisión y/o sustituciones para los elementos más importantes de un SP a objeto de determinar la carga de trabajo que es necesario programar. Su frecuencia de ejecución cubre desde quincenal hasta generalmente periodos de un año.
- **Mantenimiento por Avería o Reparación:** Se define como la atención a un sistema productivo cuando aparece una falla. Su objetivo es mantener en servicio adecuadamente dichos sistemas, minimizando sus tiempos de parada. La atención a las fallas debe ser inmediata y por tanto no da tiempo a ser “programada” pues implica el aumento en costos y de paradas innecesarias de personal y equipos.
- **Mantenimiento Correctivo:** Comprende actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento, corrigiendo las fallas de una manera integral a mediano plazo. Las acciones más comunes que se realizan son: modificación de elementos de máquinas, modificación de alternativas de procesos, cambios de especificaciones, ampliaciones, revisión de elementos básicos de mantenimiento y conservación. Su intervención tiene que ser planificada y programada en el tiempo para que su ataque evite paradas injustificadas.



- **Mantenimiento Circunstancial:** Es una mezcla entre rutinario, programado, avería y correctivo ya que por su intermedio se ejecutan acciones de rutina y acciones que están programadas pero que no tienen un punto fijo de inicio; se atienden averías cuando el sistema se detiene; y el estudio de la falla permite la programación de su corrección eliminando dicha avería a mediano plazo.
- **Mantenimiento Preventivo:** Utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos, para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, probabilidad de aparición de averías, vida útil, u otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de fallas.
- **Mantenimiento Rutinario:** Su frecuencia de ejecución es hasta periodos semanales, generalmente es ejecutado por los mismos operarios del SP y su objetivo es mantener y alargar la vida útil de dichos SP evitando su desgaste.

2.2.2.4- GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL.

Las áreas de mantenimiento de la industria moderna deben prepararse para un entorno dinámico, propio de una economía globalizada y de constante evolución tecnológica, adoptando esquemas flexibles que le permitan cambiar y evolucionar en todos los aspectos de la organización a fin de asegurar su viabilidad futura [10].

La Gestión Integral del Mantenimiento busca garantizar la disponibilidad de los activos fijos, cuando lo requieran con confiabilidad y seguridad total, durante el tiempo óptimo necesario para operar con las condiciones tecnológicas exigidas previamente, para producir bienes o servicios que satisfagan necesidades, deseos o requerimientos de los usuarios, con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno, al menor costo posible y con los mayores índices de productividad, rentabilidad y competitividad [10].



En este nuevo milenio el área de mantenimiento ha sufrido grandes transformaciones dejando de ser vista como un centro de costos, para pasar a ser un proceso integral que contribuye a la generación de utilidades industriales, y es responsable de la sobrevivencia de la empresa.

El mantenimiento actual posee un rol destacado dentro de la confiabilidad operacional por su importante contribución a la seguridad, respeto al medio ambiente, productividad y rentabilidad industrial, garantizado una alta disponibilidad y confiabilidad de los activos. Con la finalidad de explotar las ventajas disponibles en la gestión de activos y de garantizar su gerencia responsable, se necesita trabajar sobre cuatro principios básicos.

1. Utilizar talento humano idóneo.
2. Gestionar el conocimiento pertinente.
3. Tomar las decisiones en forma correcta.
4. Administrar adecuadamente almacenes y unidades de repuesto.

Un proceso eficaz de Gestión Integral del Mantenimiento requiere involucrarse en un proyecto de cambio que debe basarse en los siguientes puntos:

- Creer que el cambio es importante y valioso.
- Tener una visión que describa el estado deseado.
- Implementar estrategias para alcanzar la visión.
- Liderar el proceso con las personas adecuadas.
- Identificar las barreras reales y potenciales.
- Medir los resultados con indicadores de gestión.
- Entrenar y formar para corregir comportamientos no deseados.
- Establecer sistemas óptimos de reconocimiento y recompensas.

La optimización integral de los activos propone, en función de la orientación de los negocios y el plan estratégico, un enfoque para desplegar la función del mantenimiento dentro de un marco conceptual global, integral y estructurado.

La optimización integral del mantenimiento requiere la optimización de sus cuatro áreas fundamentales: La Gestión del Talento Humano, la Definición de Estrategias, los Recursos Físicos y Materiales, y los sistemas y los Procedimientos, desarrollando para cada una de ellas sus aspectos conceptuales y un eficaz proceso de implementación. Ver figura 2.12.



Figura 2.12- Gestión Integral del Mantenimiento.

Fuente: Rivera Rubio, E. M. (2011).

“Sistema de Gestión del Mantenimiento Industrial”.

La Gestión Integral del Mantenimiento, incluye una serie de estrategias alineadas con la misión del negocio, cuyo objetivo es lograr la competitividad organizacional. Para alcanzarla existen cinco factores claves: la seguridad, la productividad, el respeto por el medio ambiente y la confiabilidad.

La Confiabilidad es lo que faculta asegurar los cuatro factores a lo largo del tiempo y por lo tanto garantiza la rentabilidad. La Confiabilidad del talento humano es la estrategia clave



para gestionar la información y tomar las decisiones más acertadas. El desarrollo del talento humano, es por tanto el elemento indispensable para incrementar la confiabilidad de los activos [11].

2.2.3- PRUEBAS TIPO Y DE RUTINA APLICABLES A SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

Según los estándares IEC 61330 [12], IEEE 80-2013 [13] e IEEE 4-2002 [14] las pruebas aplicables a subestaciones eléctricas son:

A. PRUEBAS TIPO

En general las pruebas tipo son llevadas a cabo sobre ensamble completo, trifásico o monofásico, de un campo típico de un circuito, y comprenden:

- Prueba de impulso atmosférico.
- Prueba de impulso de maniobra.
- Prueba a la frecuencia industrial.
- Pruebas de estabilidad térmica.
- Pruebas de descargas parciales.
- Pruebas de tensión de radio interferencia, cuando se tienen bujes externos.
- Prueba de elevación de temperatura.
- Prueba de resistencia del circuito principal.
- Prueba de corriente de corta duración del circuito principal.
- Prueba de corriente de corta duración del circuito a tierra.
- Verificación de las capacidades de interrupción y cierre de corrientes de corto.
- Prueba de protección de personal.
- Prueba de arco interno.



- Prueba de operación mecánica.
- Pruebas operacionales a temperaturas límites.
- Verificación del grado de protección de aislamiento de los circuitos auxiliares.

B. PRUEBAS DE RUTINA

Las pruebas de rutina deben efectuarse a todos los ensamblajes transportables en la fábrica y comprenden:

- Pruebas de tensión a frecuencia industrial.
- Pruebas de tensión a circuitos auxiliares y de control.
- Pruebas de descargas parciales.
- Pruebas para verificar la resistencia del circuito principal.
- Pruebas de operación mecánica.
- Prueba de fuga de hermeticidad.
- Prueba de dispositivos auxiliares eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

2.2.4- ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA

La factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados apoyándose en tres aspectos básicos:

- Operativo.
- Técnico.
- Económico.



El éxito de un proyecto está determinado por el grado de factibilidad que se presente en cada uno de los tres aspectos anteriores. [15]

Por consiguiente, los estudios de factibilidad sirven para recopilar y analizar recursos operativos, técnicos y económicos entorno al desarrollo de un proyecto y en base a ello tomar la mejor decisión, si procede su estudio, desarrollo o implementación. Estos recursos se analizan en función de tres aspectos:

- a) **Factibilidad Operativa:** Se refiere a todos aquellos recursos donde interviene algún tipo de actividad (Procesos), depende de los recursos humanos que participen durante la operación del proyecto. Durante esta etapa se identifican todas aquellas actividades que son necesarias para lograr el objetivo y se evalúa y determina todo lo necesario para llevarla a cabo.
- b) **Factibilidad Técnica:** Se refiere a los recursos necesarios como herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, entre otros, que son necesarios para efectuar las actividades o procesos que requiere el proyecto. Generalmente nos referimos a elementos tangibles (medibles). El proyecto debe considerar si los recursos técnicos actuales son suficientes o deben complementarse.
- c) **Factibilidad Económica:** Se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos y/o para obtener los recursos básicos que deben considerarse son el costo del tiempo, el costo de la realización y el costo de adquirir nuevos recursos.



Generalmente la factibilidad económica es el elemento más importante ya que a través de él se solventan las demás carencias de otros recursos, es lo más difícil de conseguir y requiere de actividades adicionales cuando no se posee.

2.3- DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Barras: término utilizado en el sector eléctrico para referirse a la conexión de un cuadro eléctrico a la red que lo alimenta.

Fusibles: dispositivo constituido por un soporte adecuado, un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda, por Efecto Joule, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos.

Subestación: es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica.

Tensión: es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas.

Corriente: es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de los electrones en el interior del material.



Transformador: dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.

Interruptor: dispositivo que permite desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica.

Mufas: punto de entrada del servicio de la línea eléctrica.

Gradiente: en un punto es un vector, definido como el único que permite hallar la derivada direccional en cualquier dirección.

Reacción exotérmica: cualquier reacción química que desprenda energía, ya sea como luz o como calor.

Reacción endotérmica: se denomina reacción endotérmica a cualquier reacción química que absorbe energía.

Rigidez dieléctrica: valor límite de la intensidad del campo eléctrico en el cual un material pierde su propiedad aislante y pasa a ser conductor.

Inductancia: es una medida de la oposición a un cambio de corriente de un inductor o bobina que almacena energía en presencia de un campo magnético.

Capacitancia: es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica.

Resina epóxica: polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor y que posee propiedades aislantes.



Convección: es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas



CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo está referido a las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la investigación. Describe el “cómo” se realizará el estudio para responder el problema planteado.

El Marco Metodológico, según Hernández, R y Otros (2003) es “aquel que presenta los métodos y técnicas para realizar la investigación de manera sistemática.” (p. 126) [16]

3.1- TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tomando en consideración el texto titulado: “Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales”, de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL); el cual en su primera parte expone las normas para la elaboración y presentación de Trabajos de Grado, Especialización, Maestría y Tesis Doctorales y según su capítulo II, “De la Naturaleza de los Trabajos de Grado”, ésta investigación se enmarca en el contexto de un proyecto factible en vista de las características de los objetivos planteados en el capítulo uno, que proponen un modelo operativo viable para la solución organizacional de problemas, requerimientos y necesidades en materia de gestión de mantenimiento.

Una vez definido el tipo de estudio a realizar y de establecer los objetivos de la investigación, los investigadores deben concebir la manera práctica y concreta de responder a las preguntas de investigación. Esto implica seleccionar o desarrollar un diseño de investigación aplicable al contexto particular de su estudio.



Hernández y Otros (2003), refieren que el diseño es: “El plan concebido para responder a las preguntas de investigación. El diseño señala lo que es necesario hacer para alcanzar los objetivos, contestar las interrogantes y analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto en particular”. (p. 12) [16]

En ese sentido la investigación se adecúa a un diseño tipo documental, por cuanto los datos se obtendrán de fuentes bibliográficas y digitales. A continuación se presentan algunos fragmentos tomados del manual de la UPEL, que permiten definir claramente el tipo de investigación realizada [17]

En la sección segunda del capítulo II del mismo texto sobre la investigación documental se expone lo siguiente:

“Se entiende por *Investigación Documental*, el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y en general, en el pensamiento del autor”.

En complemento a lo previamente expuesto sobre el tipo de investigación, en la sección tercera del capítulo II sobre los proyectos factibles expone lo siguiente:

“*El Proyecto Factible* puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, planes o métodos para solucionar problemas o mejorar procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades”.



3.2- DISEÑO DE LAS FASES METODOLÓGICAS

Para dar cumplimiento a los objetivos de este proyecto se siguen ciertas fases o etapas, establecidas en forma secuencial, que permiten organizar y emplear con mayor eficacia los recursos disponibles para la culminación del mismo, a continuación se presentan las fases metodológicas:

3.2.1- Fase 1: Identificación de los elementos que intervienen en el proceso de mantenimiento de una subestación compacta.

Esta fase comprende las siguientes acciones y resultados:

1. Recopilación de información de todas las fuentes en formato impreso o electrónico de corte académico o científico enfocadas en el proceso de mantenimiento integral de una subestación compacta.
2. Descripción de los componentes de una subestación compacta considerados fundamentales dentro de la gestión de su mantenimiento.
3. Establecimiento de los mecanismos para la supervisión, evaluación y control de la gestión de mantenimiento de la subestación compacta.
4. Definición del perfil profesional del recurso humano requerido en la gestión de mantenimiento de una subestación compacta.

Los resultados de la fase consisten en conocer los elementos físicos y humanos involucrados en el proceso de mantenimiento integral de una subestación compacta y la manera en la que cada uno de ellos se relaciona.



3.2.2- Fase 2: Diseño del programa de gestión de mantenimiento de una subestación compacta aplicable al caso de estudio.

Esta fase comprende las siguientes acciones y resultados:

1. Diseño del plan de mantenimiento de los principales componentes de la subestación considerando aspectos de seguridad, evaluación y control de equipos y materiales.
2. Diseño de una estrategia para la administración del plan de mantenimiento de la subestación.
3. Integración de la estrategia administrativa y el plan de mantenimiento en un marco metodológico para la gestión de mantenimiento de la subestación.

Los resultados esperados en esta fase son conocer los procedimientos para elaborar el mantenimiento integral de la subestación compacta bajo estudio desde una perspectiva técnica y una administrativa.

3.2.3- Fase 3: Estudio técnico económico del programa de gestión de mantenimiento en base al caso de estudio.

Esta fase comprende las siguientes acciones y resultados:

1. Descripción de la situación del mercado de mantenimiento.
2. Estudio técnico del mantenimiento para establecer un plan económico.
3. Evaluar la relación costo beneficio de las diferentes alternativas de mantenimiento.
4. Seleccionar la mejor alternativa a corto y largo plazo por medio de métodos específicos.
5. Evaluar factibilidad del sistema de mantenimiento.

El resultado esperado en esta fase es la estimación de los costos de administración y operación del programa de gestión de mantenimiento para la subestación compacta del caso de estudio.



3.3- UNIDAD DE ESTUDIO Y DE ANÁLISIS

- **Unidad de análisis:** se centra en sobre que o quienes se recolectan los datos, es decir, evento o contexto de estudio [18]. Por consiguiente, la unidad de análisis son las subestaciones eléctricas y todos aquellos elementos en torno a ella que intervienen en el proceso de su mantenimiento.
- **Población:** desde un punto de vista cuantitativo, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones [18]. En este sentido, la investigación está dirigida específicamente a las subestaciones compactas y todos aquellos elementos en torno a ella que intervienen en el proceso de su mantenimiento.
- **Muestra:** la muestra de esta investigación corresponde al proyecto de subestación compacta del Centro Profesional Torre Stratos y sus condiciones internas de trabajo.

3.4- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La información objetiva y ordenada se obtendrá a través de las técnicas e instrumentos utilizados por los investigadores. Con relación a esto Morales (1994) señala que las técnicas de recolección de datos “explican el procedimiento, lugar y condiciones de recolección de datos. Esta acción es la expresión operativa del proceso de investigación, la especificación concreta de cómo se hará la investigación” (p. 144).

En tal sentido las técnicas utilizadas serán:

La observación directa, por medio de la cual se tomarán datos para la comprensión del problema y para distinguir aspectos significativos que deben tomarse en cuenta al momento de diseñar la alternativa propuesta.



Según Méndez, C. (1994), la observación directa “es el proceso mediante el cual se perciben deliberadamente ciertos rasgos existentes en la realidad por medio de un esquema conceptual previo y con base en ciertos propósitos definidos generalmente por una conjetura que se quiere investigar” (p. 96).

El análisis documental juega un papel muy importante dentro de la presente investigación puesto que éste ayuda a la ubicación en el contexto y a la orientación en la totalidad del trabajo de grado.

Según Hurtado, de B. (1998) se entiende por revisión documental “el proceso mediante el cual el investigador recopila, revisa, selecciona y extrae información de diversas fuentes, acerca de un tema en particular con el propósito de llegar a un conocimiento y comprensión más profundo” (p. 164).

Adicionalmente, es indispensable considerar los instrumentos más convenientes a utilizar para recabar información, en este caso fueron:

- Normas.
- Estándares.
- Fuentes impresas y electrónicas de corte académico o científico.



CAPÍTULO IV

LA PROPUESTA

Presentación de la Propuesta.

Para lograr los objetivos planteados por el investigador se enmarcaron fases con la finalidad de organizar la propuesta a plantear. A continuación se desarrollará y se destacarán los resultados arrojados de los procedimientos detallados en cada fase permitiendo diseñar un plan de mantenimiento integral de la subestación eléctrica compacta del edificio profesional “Torre Stratos”, este capítulo comprende entonces todos los procedimientos realizados para la obtención del resultado esperado, el cual mejorará significativamente el funcionamiento de la subestación objeto de estudio.

4.1- Fase 1: Identificación de los elementos que intervienen en el proceso de mantenimiento de una subestación compacta.

Para dar cumplimiento con esta fase se diseñaron cuatro etapas por medio de las cuales se llegará al resultado esperado.

4.1.1- Recopilación de información de todas las fuentes en formato impreso o electrónico de corte académico o científico enfocadas en el proceso de mantenimiento integral de una subestación compacta.

Esta fase da inicio con el capítulo II Marco Teórico de la presente investigación, en donde se establecen los conocimientos requeridos para la formulación de la problemática presentada en la subestación compacta de la Torre Stratos. Esta primera etapa busca delimitar el campo de trabajo seleccionando una subestación y componentes que se adapten a las necesidades y requerimientos del lugar, dando como resultado una subestación compacta con las siguientes especificaciones:



- Subestación Compacta marca Eaton Cutler Hammer con transformador tipo seco encapsulado en resina
- Modelo: Plug & Play.
- Tipo: Nema 1

Construidas en lámina de acero rolado en frío con acabado de pintura electrostática en lámina calibre 12 y 14, fabricadas en secciones modulares de fácil armado por medio de tornillería, lo que proporciona una gran versatilidad cuando se requiere de ampliaciones.

Integran equipos para conexión y desconexión de la energía, así como accesorios de protección como apartarrayos y sistema de tierras:

- Cuchilla desconectadora de operación sin carga (DTP).
- Seccionador de operador con carga (LDTP).
- Aisladores de poliéster para soporte de barras conductoras (DWA).
- Barras de cobre electrolítico conductoras de energía de 400 y 630 a.
- Protección contra sobretensiones a través de apartarrayos poliméricos.
- Protección contra corto circuito por medio de fusibles limitadores de corriente (DR).
- Sistema de bloqueo que impide el cierre o apertura de las cuchillas de desconexión cuando estas se encuentran en una condición indeseable que puede dañar los equipos o puede poner en riesgo la seguridad del operario.

También cuenta con un sistema de bloqueo de puerta que evita tener acceso al operario a partes vivas (con energía) cuando estas se encuentran aún energizadas, condición indeseable que puede dañar los equipos o puede poner en riesgo la seguridad del operario.

La cuchilla de operación con carga tipo DTP, cuenta con un accionamiento de cierre rápido que garantiza el cierre total de la cuchilla a pesar de su disposición inadvertida en el techo independientemente de la fuerza o velocidad con el operario la cierre.



Características y funcionamiento:

Pueden ser completamente armadas en campo, evitando costos en:

- Armado en Planta por operadores especializados.
- Espacio de almacén.
- Controles administrativos de almacén.
- Transportación en plataforma de la subestación armada.
- Desajustes de las celdas por brincos en carreteras.
- Pérdida o extravío de partes.
- Servicios post-venta derivados del ajuste.
- Daños y desajustes derivados por mala operación.

Esta subestación permitirá a la Torre Stratos funcionar con total normalidad, proporcionando condiciones de seguridad relacionadas con el funcionamiento y mantenimiento de la misma, de igual manera contará con las especificaciones del equipo anterior. Se escogió debido a la capacidad de la misma de expansión en áreas pequeñas, además de ofrecer sistemas de seguridad tanto para la estación como para el personal que tenga acceso a la misma.

4.1.2- Descripción de los componentes considerados fundamentales dentro de la gestión de mantenimiento de una subestación compacta.

4.1.2.1- Unidad de alta tensión

Revisión y limpieza del Local: La revisión se realiza principalmente para prever al personal que llevará a cabo el mantenimiento, dejando en claro que para trabajar en una subestación las actividades se deben realizar con el cuidado y la disciplina que se requiere al trabajar con la energía eléctrica, de igual manera se realizará la limpieza de la unidad para identificar los elementos de las cuchillas y la de cada uno de ellos dentro del gabinete donde se alojan.



Limpieza, engrasado y ajuste de mecanismos de apertura y cierre: todas las cuchillas deben limpiarse por completo frotándolas con un paño limpio o aplicando sobre ella aire seco comprimido para evitar las acumulaciones de polvo. Una vez limpias se aplicará en sus superficies de contacto una pequeña capa de lubricante (grasa no corrosiva o un equivalente).

Limpieza, soplado y ajuste de aisladores y soportes: Esta actividad consiste en la limpieza de las piezas que soportan los mecanismos de apertura y cierre. Se debe verificar que no existan soportes desajustados o bases en mal estado que afecten el movimiento natural de las cuchillas

Revisión y reapriete de conexiones en general: Es importante volver a ajustar cada uno de los elementos que sujetan los cables y los soportes de las cuchillas para garantizar su correcta operación y que no presenten alguna falla por un falso contacto.

Pruebas de operación mecánica de cuchillas de paso: Todos los mecanismos de accionamiento como cuchillas de paso, cuchillas de puesta a tierra y manijas deben ser probados para comprobar la eficiencia de los mecanismos de bloqueos asociados con tales movimientos.

Prueba de resistencia de aislamiento: Esta prueba tiene como finalidad determinar las condiciones del aislamiento, para detectar pequeñas imperfecciones o fisuras en el mismo; así como detectar su degradación por envejecimiento. La prueba se lleva a cabo durante los mantenimientos de la unidad de alta tensión.

Prueba de resistencia de contactos: Esta prueba se realiza con la finalidad de verificar que la resistencia eléctrica entre los contactos tenga un valor bajo que permita un eficiente flujo de la corriente eléctrica evitando sobrecalentamientos que debiliten las conexiones.



Medición de resistencia de fusibles limitadores de corriente: Esta función se realiza mediante la ayuda de un óhmetro para comprobar el valor de la resistencia del elemento limitador de corriente (fusible) con el objeto de determinar si se encuentra en buen estado y volver a ponerlo en servicio o remplazarlo por uno nuevo.

4.1.2.2- La unidad o módulo de transformación

Limpieza interna del gabinete, bases y soportes: Un importante factor para lograr un mejor funcionamiento de este tipo de transformadores es la constante y eficiente limpieza del mismo para que no ocurra fatiga de importantes características del transformador. Por ese motivo, se indican procedimientos de limpieza para los tipos de impurezas listadas a seguir en la tabla 4.1

Tabla4.1 Procedimientos de limpieza para transformadores secos.

Tipo de suciedad encontrada	Procedimiento utilizado
Polvo seco en general	1 y 4
Polvo húmedo	3 y 4
Salinidad del mar	1 y 4
Polvo metálico (polvo industrial)	1 y 4
Aceites en general	2 , 3 y 4
Grafita o similar	1 y 4

- **Procedimiento uno:** Con el uso de un aspirador de polvo y paño seco, remover el polvo depositado encima del transformador. Enseguida, use aire comprimido para remover los residuos de polvo y limpiar los canales de ventilación de las bobinas y entre la bobina y el núcleo. La inyección de aire en los canales de ventilación debe hacerse de bajo hacia arriba. La presión del aire debe ser limitada a aproximadamente 5atm. Para finalizar, use un paño seco y limpio para remover residuos que aún permanecen en las bobinas, particularmente alrededor de los terminales y en los aisladores.



- **Procedimiento dos:** Con el uso de un paño humedecido con benzina, remueva las impurezas del núcleo, herraje y bobinas; repita con un paño seco y limpio. Asegúrese que los canales han sido desobstruidos. Si las impurezas en los canales están secas, adopte el procedimiento uno para esta operación de limpieza. De otra forma, identifique el tipo de suciedad existente y contacte a la fábrica para averiguar el mejor procedimiento. El uso de benzina u otro producto requiere cuidados especiales en su manejo.
- **Procedimiento tres:** Con el uso de un paño humedecido en agua y una pequeña concentración de amoníaco o alcohol, remueva las impurezas del transformador. La limpieza puede ser complementada utilizando uno de los procedimientos anteriores, dependiendo del tipo de suciedad para ser removida.
- **Procedimiento cuatro:** La finalización deberá hacerse siempre con un paño limpio y seco para limpiar toda la superficie, particularmente la región de los terminales de ligación.

Pruebas de resistencia al aislamiento: Esta prueba es de gran utilidad para dar una idea rápida y confiable de las condiciones del aislamiento total del transformador bajo prueba. La medición de esta resistencia independientemente de ser cuantitativa también es relativa, ya que el hecho de estar influenciada por aislamientos, tales como: porcelana, papel, aceites, barnices, entre otros, la convierte en indicadora de la presencia de humedad y suciedad en esos materiales.

Prueba de relación de transformación: Esta prueba tiene como principal objetivo determinar el desplazamiento angular entre el vector que representa la tensión de línea a neutro en el lado de alta tensión contra el vector que representa la tensión de línea a neutro en el lado de baja tensión. La relación de transformación debe realizarse para todas las posiciones del cambiador de derivaciones, así como para todas las posibles conexiones de los devanados del transformador. La prueba nos indica si existen problemas en el devanado, que pueden ser cortocircuito entre espiras, circuitos abiertos, entre otros problemas.



Prueba de resistencia óhmica a devanados: Esta prueba es utilizada para conocer el valor de la resistencia óhmica de los devanados del transformador, es auxiliar para conocer el valor de pérdidas en el cobre, y detectar falsos contactos en conexiones de boquillas, cambiadores de derivaciones, soldaduras deficientes y hasta una falla incipiente en los devanados.

4.1.2.3- Unidad de baja tensión

Identificación y registro de las condiciones iniciales de la unidad: realizar una inspección visual antes de comenzar los trabajos permite programar y planificar eficazmente las actividades de mantenimiento. Adicionalmente, al dejar registro de estas observaciones iniciales los objetivos finales pueden ser comparados y establecer procedimientos para la mejora del proceso de mantenimiento.

Registro de datos, características de la unidad y de los elementos que la conforman: Esta operación minimiza los errores en la reconexión y nos garantiza mantener las condiciones de diseño y fábrica tras labores correctivas que impliquen la sustitución de dispositivos, por fatiga o mal funcionamiento, por otros de iguales características, bien sean físicas, mecánicas o eléctricas.

Revisión y limpieza de gabinetes, tableros y dispositivos de protección: La revisión de los gabinetes y tableros debe contemplar la limpieza de cada uno de los elementos que los integran como son cables, aisladores, interruptores termomagnéticos, barras y demás componentes como son los instrumentos de medición y lámparas indicadoras.

Pruebas de operación mecánica de interruptores principales y derivados: Todos los interruptores pertenecientes a los tableros deben ser examinados para comprobar la eficiencia de los mecanismos de boqueo asociados con tales movimientos mínimo cinco veces. La prueba será satisfactoria si los dispositivos de interrupción y de bloqueo están en perfectas condiciones de operación y si el esfuerzo requerido de operarlos es el mismo en el transcurso y final de la prueba.



Medición de la resistencia de contactos (micro-óhmetro) en interruptores principales:

Esta prueba se realiza con el interruptor cerrado inyectando una corriente (que varía de acuerdo al equipo que se esté utilizando) y la oposición que esta encuentra a su paso se considera como la resistencia entre contactos la cual es medida por el instrumento inyector. Es necesario tomar en cuenta las siguientes indicaciones cuando se realiza la medición en interruptores:

- Deben encontrarse limpios y libres de oxidación los puntos medidos.
- Realizar varias pruebas consecutivas y calcular el promedio.
- La medición debe realizarse en cada fase.

4.1.2.4- Sistema de puesta a tierra

Identificación de electrodos y/o de la configuración del sistema: Este procedimiento se realiza con la finalidad de conocer la forma y el procedimiento para realizar la medición de la resistencia del electrodo de puesta a tierra, también permite conocer los puntos en los cuales es posible realizar las maniobras de puesta a tierra de cada uno de los equipos de la subestación como lo son las cuchillas, el transformador y las barras de los tableros de baja tensión.

Revisión de las condiciones físicas de electrodos y conexiones electrodo-cable: En esta fase se comprueba el estado del material con el que está hecho el electrodo, ya que por estar expuesto a la intemperie y en lugares cercanos a nivel del suelo, están expuestos a problemas de corrosión, oxidación, entre otros.

Limpieza y reapriete de las conexiones electrodo-cable: Por lo general estas conexiones sufren deterioro por su exposición a agentes oxidantes que conducen a la pérdida de las propiedades conductivas en ese punto por lo que su limpieza y ajuste se hace necesaria para el correcto funcionamiento del sistema. El reapriete se realiza con un torquímetro o con la ayuda de un juego de llaves.



Medición de la resistencia del electrodo de puesta a tierra (Telurómetro): Para ejecutar este procedimiento se realiza la medición por medio de un Telurómetro, este aparato trabaja apoyándose en una serie de electrodos dispuestos de manera tal que permiten establecer una relación eléctrica entre el sistema de puesta a tierra medido y la corriente que el telurómetro hace pasar a través de uno de los electrodos.

Medición de la continuidad de las conexiones (electrodo-cable o cable-cable): Se debe hacer antes y después de la medición de la resistencia del electrodo, ya que es indispensable asegurar que la malla o la configuración que tenga el sistema se encuentre totalmente sólido y unido entre sí.

4.1.2.5- Apartarrayos

Limpieza externa e inspección visual: Para limpiar el apartarrayos se debe emplear un dieléctrico recomendado como el dielectrol, el thinner o gasolina sin plomo, debiendo secarse estas piezas con un paño limpio.

Prueba de resistencia de aislamiento: Se realiza para comprobar mediante pruebas dieléctricas el posible deterioro o contaminación del apartarrayos, de una sección o en unidades de varias secciones, también se pretende detectar con estas pruebas la contaminación por humedad y/o suciedad en las superficies internas de la porcelana, entre hierros corroídos, porcelana fisurada, porosa o rota, envolvente polimérico degradado, fisurado o contaminado.

Prueba de factor de potencia del aislamiento: El propósito de realizar esta prueba al apartarrayos es detectar las pérdidas dieléctricas, producidas por contaminación o suciedad en los elementos autovalvulares, porcelanas despostilladas, porosas, envolventes poliméricos degradados, entre otros.



4.1.3- Establecer los mecanismos de supervisión, evaluación y control de la gestión de mantenimiento.

Una vez definidas las actividades fundamentales en el proceso de mantenimiento de la subestación, se procede a determinar cómo se controlará el proceso de mantenimiento considerando todos los aspectos relacionados con la seguridad, para esto inicialmente se diseñaron varias listas de chequeo (check list) para realizar el mantenimiento, en ellas se especifican todas las acciones que se deben realizar para poder iniciar el mantenimiento. Antes de iniciar el procedimiento como tal se debe revisar el mantenimiento anterior con la finalidad de conocer el estado en el que está el equipo. Una vez comprobado el estado de la subestación en cuanto al mantenimiento se procede a realizar la planificación del procedimiento a ejecutar.

Al momento de realizar la supervisión se tomarán en cuenta las siguientes actividades: primero se debe contar con el equipo de seguridad, herramientas y toda la permisología necesaria aplicables al caso, luego se debe completar el formulario presentado en el anexo “1”, en donde se describe de manera general el estado y posibles daños detectables tras una inspección visual de todos los componentes. En el anexo “2” se puede observar el formato para el registro detallado, por dispositivo o por sección, de fallas reportadas durante las inspecciones de rutina y en el anexo “3” se pueden cargar las fallas, por dispositivo o por sección, detectadas en una inspección más profunda o durante el inicio de los procesos de mantenimiento y pruebas.

La evaluación de la eficiencia de la subestación se basará en estadísticas de funcionamiento para un periodo determinado, estos valores darán validez al proceso de mantenimiento general diseñado tomando en cuenta las inspecciones visuales realizadas en el proceso de supervisión, posteriormente se procederá a realizar los cálculos por medio de estadística básica. En el anexo “4” se presenta el formato para realizar el cálculo de la eficiencia de la subestación en función de los días de parada por fallas registradas.



La planificación de las actividades se llevará a cabo a partir del registro de mantenimientos previos o reportes de anomalías durante un ciclo de trabajo específico que por lo general va desde el último mantenimiento hasta el inicio del mantenimiento en desarrollo.

4.1.4- Definición del perfil profesional de recurso humano requerido en la gestión de mantenimiento de la subestación compacta.

Para poder definir el perfil del profesional requerido es necesario indicar de cuáles y cuántos cargos se requieren en la actividad. Se requerirá de un jefe del departamento de mantenimiento, un supervisor de operaciones, un supervisor de seguridad y tres técnicos electricistas los cuales deben cumplir con el siguiente perfil:

- **Cargo:** Jefe del Departamento de Mantenimiento

Nivel Académico: Ingeniero Electricista/Mecánico

Descripción: Se encarga de velar por el correcto funcionamiento de la subestación compacta, realizar oportunamente el mantenimiento requerido, planificar las inspecciones diarias así como las actividades relacionadas con el mantenimiento a realizarse, administrar todos los aspectos relacionados con la gestión de mantenimiento de la subestación.

Requisitos: Capacidad de liderazgo, conocimientos de trabajos en alta y baja tensión, alto sentido de responsabilidad y compromiso, compatibilidad para el trabajo en equipo, conocimiento de equipos de corte eléctrico y sus características y los equipos de protección personal y su correcto uso.



- **Cargo:** Supervisor de operaciones

Nivel Académico: Ingeniero Electricista o T.S.U. en Electricidad

Descripción del cargo: Realizar las inspecciones visuales conjuntamente con los técnicos, se encarga de suministrar los equipos, materiales y herramientas necesarias para la realización del mantenimiento e inspecciones, realizar los reportes necesarios y llevar las estadísticas pertinentes a la gestión de mantenimiento.

Requisitos: Conocimientos de trabajos en alta y baja tensión, responsable, manejo de estadística básica, capacidad de síntesis y redacción, manejo de herramientas de corte eléctrico, conocimientos de medidas de seguridad y equipos de protección personal, liderazgo.

- **Cargo:** Supervisor de Seguridad.

Nivel Académico: Ingeniero Industrial o T. S. U en Higiene y Seguridad Industrial.

Descripción: Velar por el uso correcto, estado y reemplazo adecuado de los equipos de protección personal, desarrollar charlas previas al trabajo de mantenimiento e inspección visual concernientes a la seguridad laboral, colocación y mantenimiento de las señales de seguridad acordes a los riesgos laborales que se presentan en la subestación, colocación y control de recarga de los equipos de extinción de fuego necesarios.

Requisitos: Capacidad de liderazgo, compatibilidad para el trabajo en equipo, conocimiento de equipos de corte eléctrico y sus características, capacidad de comunicación, experiencia de trabajos en alta y baja tensión.



- **Cargo:** Técnico Electricista

Nivel Académico: T. S. U. en Electricidad

Descripción: Realización de todo lo concerniente a las operaciones de mantenimiento y supervisión de una subestación compacta, coordinar con el supervisor de operaciones las actividades a realizar, seguir las indicaciones de las medidas de seguridad y la utilización de los equipos de protección personal a emplear.

Requisitos: Conocimientos de trabajos con alta y baja tensión, capacidad para obedecer órdenes, conocimiento de los componentes de una subestación compacta, agilidad para comunicarse con sus compañeros y jefes, capacidad de análisis de situaciones, alto grado de habilidad manual, buena coordinación visual y motora, alto grado de compatibilidad para el trabajo en grupo que le permita una buena coordinación y sincronización en el trabajo a desarrollar.

Antes de formar parte del equipo de trabajo para el mantenimiento de la subestación, cada integrante debe pasar por un proceso previo de selección que contemple y evalúe:

- La condición física.
- La condición mental.
- La experiencia en el área.

Las herramientas de evaluación y procedimientos deben ser diseñados por el departamento de recursos humanos según los requerimientos establecidos en La Ley Orgánica Del Trabajo LOTT y en concordancia con las actividades que se contemplen para los trabajos de mantenimiento, todo esto desarrollado en paralelo con el departamento que supervisa y controla la subestación.

4.2- Fase 2: Diseño del programa de gestión de mantenimiento de una subestación compacta aplicable al caso de estudio. En esta fase se establece el plan de mantenimiento propuesto según las especificaciones dadas a continuación:

4.2.1- Diseño del plan de mantenimiento de los principales componentes de la subestación considerando aspectos de seguridad, evaluación y control de equipos y materiales. Para realizar este procedimiento se realizó un diagrama de actividades que permita esquematizar el proceso de mantenimiento de manera general.

En primer lugar se deben llevar a cabo tareas de seguridad que resguarden al personal involucrado en las labores de mantenimiento y que garanticen la adecuada aplicación de la prueba de rutina. La figura 4.1 organiza estas actividades de la siguiente manera:

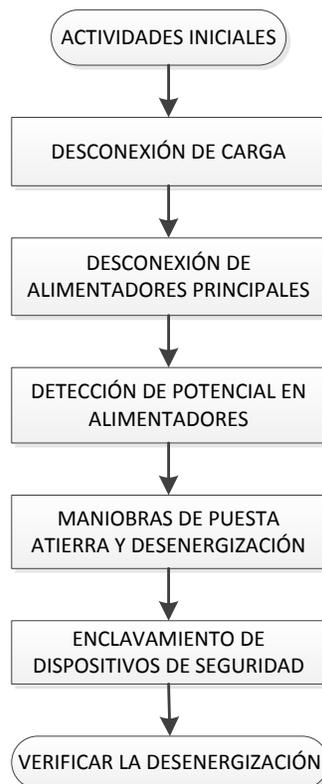


Figura 4.1- Diagrama de Actividades Iniciales.

Fuente: Calderón, J. (2014)



Primeramente se realiza una inspección visual para registrar, en el formulario respectivo, los aspectos observados entorno al funcionamiento y condiciones generales del equipo, como se mencionó en el apartado **4.1.3**, lo que ofrecerá periódicamente un estado general de la subestación, con el propósito de programar oportunamente la corrección de fallas potenciales que permitan mantener la confiabilidad, conservación y seguridad de la instalación, en caso de observarse alguna condición de riesgo operacional se realiza un reporte más detallado para proporcionar una evaluación.

Desconexión de Carga: Esta actividad consiste en dejar fuera de servicio las cargas o circuitos derivados que se encuentran alimentados por medio de los tableros de baja tensión, la desconexión puede ser mediante interruptores termomagnéticos o mediante un sistema de control automatizado de cada uno de los circuitos derivados.

Desconexión de Alimentadores Principales: Esta actividad debe ejecutarse de forma secuencial al igual que el proceso de reconexión y permite aislar la unidad de transformación del sistema eléctrico al que está conectado.

Detección del Potencial de los Alimentadores: Se realiza para verificar las condiciones de trabajo a potencial cero de cada dispositivo involucrado en las maniobras de mantenimiento, ya que de lo contrario pueden ocurrir accidentes por una descarga eléctrica, es por ello que se debe verificar con la ayuda de un detector de potencial la ausencia de tensión en cada uno de los alimentadores y de las cuchillas que suministran energía a la subestación.

Maniobras de Puesta a Tierra y Desenergización: Se utiliza para esta operación electrodos de puesta a tierra, mediante los cuales se pretende eliminar energizaciones en alguna estructura metálica de la subestación que pueda ocasionar daños a los encargados del mantenimiento.

Enclavamiento de Dispositivos de Seguridad: Son los medios mecánicos, eléctricos y otros que imposibilitan las maniobras de un equipo eléctrico para evitar errores en la secuencia operativa.

En la figura 4.2 se especifican las actividades a realizar en la gestión de mantenimiento de la subestación y a continuación se detallan cada una de ellas.



Figura 4.2- Mantenimiento y Pruebas a los Equipos de la Subestación

Fuente: Calderón, J. (2014)

4.2.1.1- La Unidad de Alta Tensión aloja en su interior los seccionadores o cuchillas de la subestación, estos elementos sirven para desconectar físicamente la unidad del sistema eléctrico que la alimenta. Por lo general se operan sin carga, pero con algunos aditamentos se puede operar con carga, hasta ciertos [límites](#). Para llevar a cabo las tareas de su mantenimiento se debe proceder según las actividades ilustradas en el diagrama de la figura 4.3

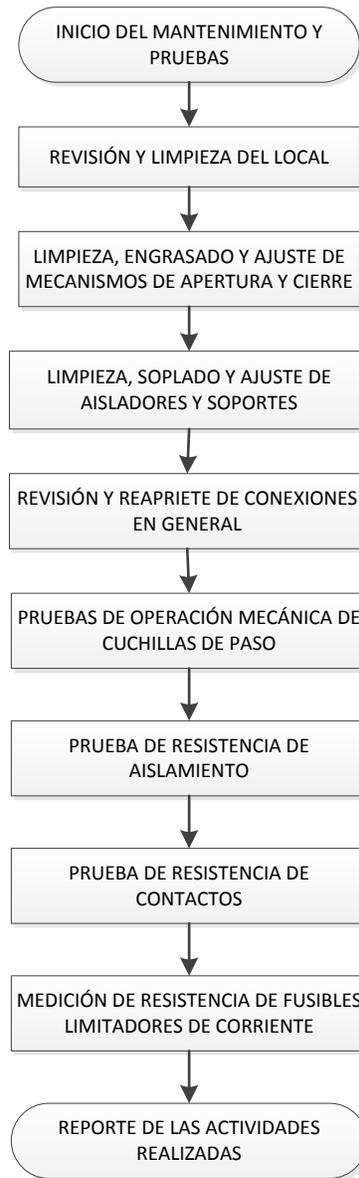


Figura 4.3- Programa de actividades del mantenimiento de la unidad de alta tensión.

Fuente: Calderón, J. (2014)

Revisión y limpieza del local: La limpieza de la unidad se realiza con un cepillo de cerdas finas para extraer posibles piezas que pudieran haber quedado dentro de la unidad de alta tensión como tornillos, tuercas o acumulación de polvo entre otros. La limpieza del gabinete donde se encuentran alojadas las cuchillas será limpiado con un solvente de seguridad industrial con alta rigidez dieléctrica y excelente capacidad desengrasante.



El uso de este producto es recomendado debido a que tiene una velocidad de evaporación alta, lo que es útil al momento de requerir un secado rápido para minimizar los tiempos de ejecución.

Limpieza, engrasado y ajuste de mecanismos de apertura y cierre: Se debe tomar en cuenta que no se deben emplear grasas que puedan endurecerse con el contacto del aire ni líquidos detergentes que puedan disolverse o atacar el plástico y mucho menos sustancias químicas inflamables. Para limpiar las cuchillas de cobre se deben abrir y cerrar varias veces seguidas para eliminar el óxido e impurezas depositadas en las superficies de contacto y reemplazar aquellas que presenten deterioro o corrosión. Se debe comprobar la presión y superficie de contacto entre las partes fijas y móviles de la cuchilla con la ayuda de un calibrador.

Limpieza, soplado y ajuste de aisladores y soportes: Esta actividad consiste en la limpieza de las piezas que soportan los mecanismos de apertura y cierre. Se debe verificar que no existan soportes desajustados o bases en mal estado que afecten el movimiento natural de las cuchillas.

Revisión y reapriete de conexiones en general: Para reapretar la tornillería es necesario un torquímetro o simplemente un juego de llaves combinadas. Donde haya conexiones de cables, examine para ver si los conectores terminales se recalientan o han sufrido algún tipo de quiebre, ya que muchas veces existe un contacto muy débil entre los conductores y los elementos que sujetan a estos como son tuercas, terminales, soldaduras entre otras. Con esto se previenen recalentamientos excesivos en los conductores que pudieran ocasionar que el aislamiento se dañe o se deteriore rápidamente por un falso contacto.

Pruebas de operación mecánica de cuchillas de paso: El encargado del mantenimiento de la subestación compacta deberá cerciorarse de que los bloqueos cumplan con su cometido por la seguridad del operario, estos consisten en:



- La manija de la puerta de la unidad de alta tensión no deberá abrir si la cuchilla de paso a la que está acoplada se encuentra cerrada.
- La cuchilla de paso no podrá abrir ni cerrar si el seccionador al que se encuentra acoplada está en la posición cerrado.
- La cuchilla de puesta a tierra no se podrá accionar si el seccionador al que se encuentra acoplada está en la posición cerrado.

Por consiguiente, el procedimiento para la apertura y cierre del equipo es el siguiente:

Apertura: Todos los componentes deben encontrarse en la posición cerrada.
Abrir el seccionador al cual están acopladas las cuchillas de paso.
Abrir la cuchilla de paso.
Cerrar la cuchilla de puesta a tierra.

Cierre: Todos los dispositivos deben encontrarse en la posición abierta.
Tener siempre abierta la cuchilla de puesta a tierra.
Cerrar la cuchilla de paso.

Para que la prueba sea satisfactoria todos los dispositivos de interrupción y bloqueo deben estar en perfectas condiciones de operación y el esfuerzo requerido para operarlos debe ser el mismo en el transcurso y al final de la prueba, verificando durante todas las sesiones de apertura y cierre la presión de contacto y la tensión en los resortes de disparo.

Prueba de resistencia de aislamiento: La prueba de resistencia de aislamiento es una prueba que utiliza una tensión continua aplicada, típicamente de 250 Vdc, 500 Vdc o 1 kVdc para medir la resistencia del aislamiento por lo general en miles de ohmios a través de un megóhmetro.

La resistencia medida está destinada a indicar el estado del aislamiento o dieléctrico entre dos partes conductoras, donde mayor sea la resistencia, mejor será el estado del aislamiento. Idealmente, la resistencia de aislamiento sería infinita, pero como no hay aisladores perfectos, las corrientes de fuga a través del dieléctrico se asegurarán de generar un valor finito (aunque alto) y cuantificable.

Para realizar esta prueba en seccionadores o cuchillas de paso se deben limpiar perfectamente la superficie de aislamiento y las de contacto para evitar valores erróneos producidos por el polvo y la suciedad presentes, luego se debe aterrizar la base de la cuchilla que irá conectada al megóhmetro. Posteriormente asegúrese de que el equipo a ensayar y el área de trabajo sean seguros, el equipo debe estar desactivado y desconectado, todos los permisos de trabajo relevantes deberán haber sido aprobados y todos los bloqueos deben estar en su lugar.

Esta prueba de resistencia de aislamiento se realizará en dos posiciones, una medición se tomará con las cuchillas cerradas y la otra con las cuchillas abiertas, el esquema de conexión para la prueba se indica en la figura 4.4 y las conexiones para realizarla se indican en la tabla 4.2

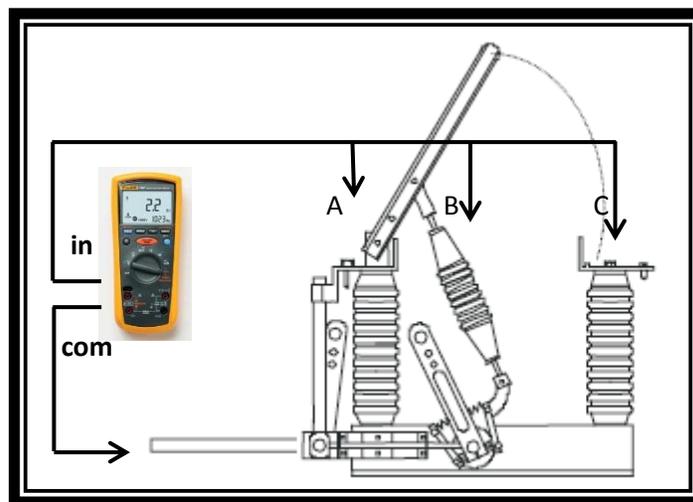


Figura 4.4. Esquema para la prueba de resistencia al aislamiento a cuchillas.

Fuente: Catálogo MEGGER 2014 - En línea

**Tabla 4.2-** Prueba de resistencia al aislamiento a cuchillas

PRUEBA	CONEXIONES DE LA PRUEBA			CUCHILLAS
	ENTRADA (in)	COMÚN (com)	CONEXIÓN	
1	A+B	BASE	TIERRA	ABIERTA
2	C	BASE	TIERRA	ABIERTA
3	A+B+C	BASE	TIERRA	CERRADA

NOTA: Si en la prueba 1 el resultado es bajo probar en forma independiente cada aislador para determinar cuál de ellos es el de bajo valor

Los valores mínimos para las pruebas de resistencia de aislamiento varían dependiendo del tipo de equipo y la tensión nominal de trabajo. También varían de acuerdo a las normas internacionales. Por ejemplo, para instalaciones de baja tensión, la IEC en su estándar IEC 60364-6 indica los valores mínimos de resistencia de aislamiento y también sugiere la tensión de prueba, este estándar se resume en la siguiente tabla.

Tabla 4.3- Valores mínimos de resistencia de aislamiento para instalaciones de baja tensión. Estándar IEC 60364-6

Tensión Nominal del Circuito (Vac)	Voltaje de Prueba (Vdc)	Resistencia de Aislamiento (M Ω)
Bajo Voltaje	250	≥ 0.5
Hasta 500 V	500	≥ 1.0
Por encima de 500 V	1.000	≥ 1.0

Por otro lado, los estándares de ANSI / NEC, ANSI / NETA ATS-2009 establecen los procedimientos de prueba y los niveles de aceptación de la mayoría de los tipos de equipos eléctricos. La tabla 4.4 proporciona valores representativos de aceptación de las medidas de la prueba, que deberían utilizarse en ausencia de cualquier otra orientación, desde el fabricante u otras normas:



Tabla 4.4- Valores representativos de aceptación de resistencia de aislamiento según el voltaje nominal del equipo. Estándar ANSI / NETA ATS-2009

Voltaje Nominal del Equipo (Vac)	Tensión de prueba Mínima (Vdc)	Resistencia de Aislamiento (MΩ)
250	500	25
600	1.000	100
1.000	1.000	100
2.500	1.000	500
5.000	2.500	1.000
8.000	2.500	2.000
15.000	2.500	5.000
25.000	5.000	20.000
34.500 y por encima	15.000	100.000

Se debe considerar que un valor aceptable de resistencia para las cuchillas debe ser de 40.000 mega ohm como mínimo.

Prueba de resistencia de contactos: Esta prueba se realiza con la finalidad de verificar que la resistencia eléctrica entre los contactos tenga un valor bajo que permita un eficiente flujo de la corriente eléctrica evitando sobrecalentamientos que debiliten las conexiones.

Para esta prueba inicialmente se debe liberar completamente la cuchilla y luego limpiar completamente los terminales de la conexión para obtener una buena conducción y obtener la medición correcta de la resistencia. Se considera aceptable un valor de 100 micro ohm para el valor de la resistencia, si se obtienen valores superiores se debe ajustar el mecanismo y limpiar y ajustar el área de contacto, la figura 4.5 muestra el esquema de conexión de la prueba utilizando un medidor para bajas resistencias o micro óhmetro.

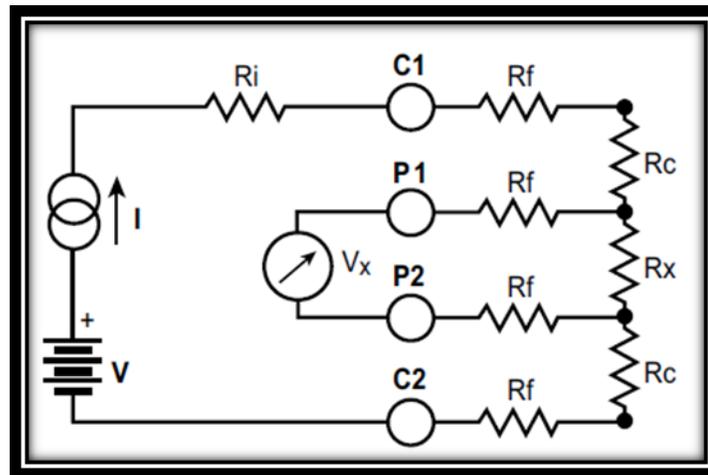


Figura 4.5- Esquema de conexiones para la prueba de resistencia de contactos.

Fuente: Manual de Instrucciones AEMC INSTRUMENTS 2010 – En línea

Donde:

R_i : Resistencia interna del instrumento.

R_f : Resistencia de los cables.

R_x : Resistencia a medir.

R_c : Resistencia de contacto.

C1 C2 : Terminales de corriente.

P1 P2 : Terminales de voltaje.

La figura muestra el diagrama de medición en el que el micro óhmetro genera una corriente (I) mediante la fuente interna de voltaje (V). Un voltímetro mide la caída de voltaje V_x entre los puntos de contacto de las puntas de prueba y la resistencia a medir R_x

Medición de resistencia de fusibles limitadores de corriente: Por lo general los fusibles limitadores de corriente exhiben muestras de fatiga fáciles de detectar tras una sencilla inspección visual que suele acompañarse de la prueba de medición de su resistencia interna. Para esta prueba se hace uso de un óhmetro o medidor de resistencias.



Algunos valores de referencia para resistencias de fusibles de acuerdo al voltaje de trabajo se muestran en la tabla 4.5. En la práctica se suele cotejar el resultado de la prueba con los manuales del fabricante para cada fusible y en muchos casos se acepta como resultado satisfactorio la condición de continuidad eléctrica del fusible.

Tabla 4.5- Resistencia de referencia de algunos fusibles industriales. IEC 60282

Tensión Nominal (kV)	Resistencia Ohm (máx.)
4.8/13.8	8
13.8/34.5	15

Una vez realizadas las actividades anteriores del programa de mantenimiento a la unidad de alta tensión se procede a describir en detalle el estado en el cual se encontraron y en el que se dejan todos los componentes, según se muestra en el anexo “5”.

4.2.1.2- La unidad o módulo de transformación

Contiene en su interior al transformador de potencia, encargado de transferir la energía eléctrica de uno o más [circuitos](#), a uno o más circuitos a la misma frecuencia, usualmente. Su mantenimiento se enfoca básicamente en pruebas de rutina que permitan detectar desperfectos del equipo y prepararle una parada correctiva o cerciorarnos de que el equipo cumple con todas las funciones de una manera segura y eficiente. Por lo general estas pruebas tienen una frecuencia de aplicación anual durante toda la vida útil del equipo.

Mientras se efectúan las pruebas de rutina se deben registrar las condiciones generales en las que se encuentra el equipo, apoyándonos en el formato de registro del anexo “6”, para así dejar constancia de las condiciones finales y de las recomendaciones para la operatividad del equipo.



Las pruebas de mantenimiento de un transformador de potencia incluyen: pruebas del dieléctrico, de características eléctricas y de otros parámetros relacionados con la operatividad del sistema.

Estas pruebas pueden ser divididas en:

- Pruebas del aislante.
- Pruebas de las bobinas.
- Prueba de los dispositivos de protección.
- Detección de puntos calientes.
- Revisión de la ventilación forzada.

Existen otras pruebas relacionadas al análisis de los líquidos dieléctricos que no serán consideradas en el trabajo por las características de la subestación compacta que se planteó al inicio de la investigación, donde se expresa el uso de un transformador de potencia tipo seco encapsulado en resina epoxica.

Este tipo de transformadores poseen una excelente relación costo-beneficio porque requieren de un mantenimiento mínimo, utilizan poco espacio para su instalación, tienen máxima resistencia mecánica ante los esfuerzos dinámicos de corto circuito, gran capacidad para soportar sobre tensiones y capaces de tolerar condiciones severas de balanceo y vibración, por lo cual en el programa de su mantenimiento de rutina solo se consideran, si no hay registro de alguna eventualidad, las pruebas de resistencia de aislamiento, las pruebas de resistencia óhmica a devanados y las pruebas de relación de transformación.

Antes de iniciar con estas pruebas es necesaria la desconexión completa, eléctrica y mecánica, de la unidad para hacer expedito el trabajo del personal encargado y de las labores de limpieza y revisión de la estructura interna del gabinete que aloja al transformador así como también la limpieza de las conexiones, soportes y bases del transformador.



Limpieza interna del gabinete, bases y soportes: una solución dieléctrica puede ser aplicable a las bases, soportes y aislamientos para eliminar el polvo en la periferia que pueda ocasionar un corto circuito o distorsiones en pruebas de rutina como la prueba de aislamiento, durante este proceso se deben chequear las juntas, uniones y soldaduras de todo el armazón. A través de un sistema de aspirado se recolecta el polvo acumulado en los puntos de difícil acceso para el personal.

Pruebas de resistencia de aislamiento: Al igual que la prueba de resistencia de aislamiento en la unidad de alta tensión, esta prueba se realiza con la ayuda de un megóhmetro a una tensión que va desde los 1000 Vdc hasta los 10 kVdc dependiendo del tipo de transformador bajo prueba. Esta prueba requiere de un tiempo continuo de aplicación que por lo general es de 10 minutos, tiempo que permite observar el comportamiento de las corrientes de fuga a través del aislante para los distintos niveles de tensión aplicables.

Procedimiento:

- Limpiar cuidadosamente la superficie de la porcelana o boquillas que conectan los devanados con el exterior, las conexiones a tierra y los puntos de conexión al equipo de medición.
- Desconectar los neutros de los devanados del sistema de tierra.
- Cortocircuitar los terminales de las boquillas de cada devanado tanto primario como secundario.
- Conectar adecuadamente los terminales de prueba al transformador, girar el selector a la posición de prueba hasta el valor de tensión preseleccionado y encender el equipo.
- Para cada prueba anotar las lecturas a los 15, 30, 45 y 60 segundos, así como a los 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9 y 10 minutos.

- Al terminar la prueba se debe descargar el sistema, por lo general los megóhmetros ofrecen la opción de descarga en su panel de control.
- Registrar la temperatura del aislante y del devanado.

A continuación en la figura 4.6 se ilustran las conexiones requeridas para realizar la prueba:

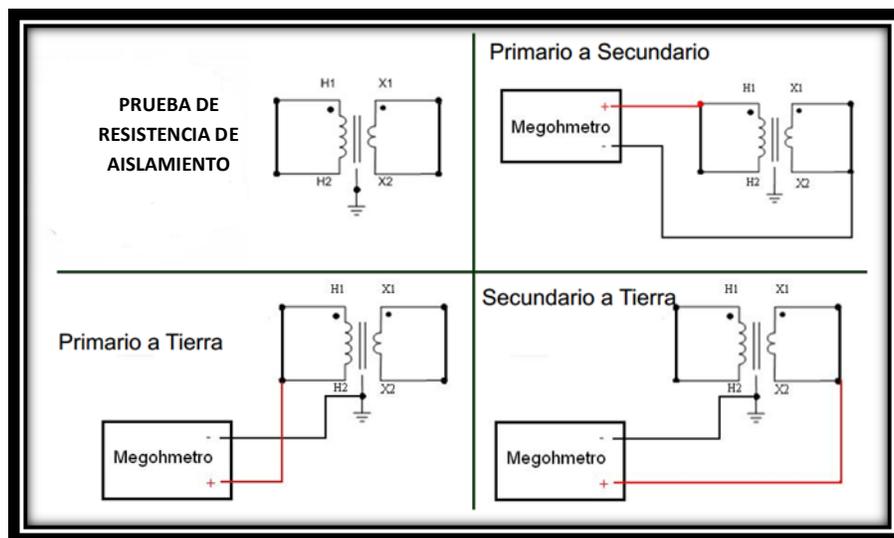


Figura 4.6- Esquema de Conexiones para la prueba de Aislamiento del Transformador.

Fuente: Calderón, J. (2014)

Durante todo el proceso de medición se deben registrar las lecturas arrojadas por el megóhmetro en el formato de registro para la prueba de resistencia de aislamiento del transformador detallado en el anexo “7”

Estos registros nos permitirán levantar gráficos de control indicadores de las condiciones del aislante y proyectar su comportamiento durante los próximos ciclos de utilidad. Las figuras 4.7 y 4.8, ilustran dos gráficos de control que señalan el comportamiento tendencial de dos materiales aislantes en distintas condiciones, lo que permite a su vez planificar las acciones correctivas pertinentes.

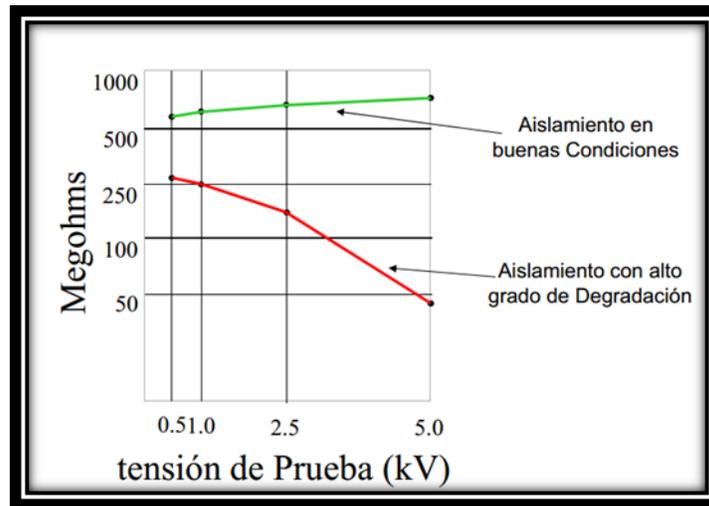


Figura 4.7- Gráfico Resistencia (MΩ) -- Tensión (kV)

Fuente: Calderón, J. (2014)

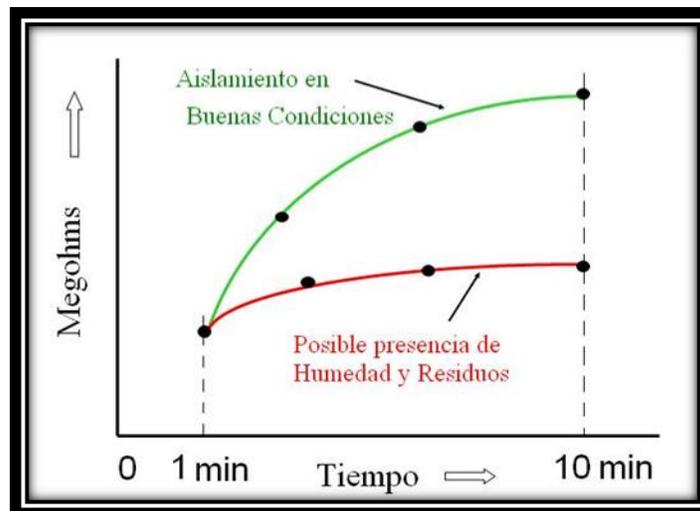


Figura 4.8- Gráfico Resistencia (MΩ) -- Tiempo (min)

Fuente: Calderón, J. (2014)



A continuación se presenta la tabla 4.6, donde se indican los valores mínimos de aceptación de resistencia para cada clase de aislamiento de acuerdo al criterio de aceptación de fabricantes de transformadores sumergidos en aceite.

Tabla 4.6- Valores mínimos de aislamientos recomendados por norma en transformadores sumergidos en aceite.

CLASE DE AISLAMIENTO (kV)	MEGAOHMS	CLASE DE AISLAMIENTO (kV)	MEGAOHMS
1.2	32	92	2480
2.5	68	115	3100
5.0	135	138	3720
8.66	230	161	4350
15.0	410	196	5300
25.0	670	230	6200
34.5	930	287	7750
46.0	1240	345	9300
69.0	1860	--	--

Aunque la tabla anterior señala solamente los valores de aislamientos aceptables en transformadores sumergidos en aceite, nos da una referencia para evaluar el aislamiento en transformadores secos de acuerdo al nivel de tensión.

Prueba de relación de transformación: El objetivo de esta prueba es verificar que las relaciones de transformación para las diferentes posiciones del tap de un transformador están dentro de la tolerancia de medición y debe realizarse cada vez que las conexiones internas sean removidas debido a la reparación de los devanados, después de algún mantenimiento al cambiador de derivaciones o durante la aplicación de un mantenimiento de rutina al transformador.

Esta prueba se basa en la comparación entre el voltaje nominal de referencia del devanado respectivo contra el voltaje de operación o porcentaje de voltaje nominal al cual está referido y nos permite determinar:

- Las condiciones del transformador luego de la operación de protecciones primarias.
- La relación del número de vueltas del devanado primario y el secundario.
- Identificación de las espiras en cortocircuito.
- Cantidad de espiras en bobinas de transformadores.
- Problemas en el circuito magnético.
- Circuito abierto (espiras, cambiador entre otros).

Hoy en día existen equipos especiales que permiten realizar esta medición trifásica de una manera rápida y sencilla inyectando una tensión de excitación en el devanado primario y leyendo la tensión inducida en el secundario para calcular la relación de transformación asociada a cada fase. La figura 4.9 muestra uno de estos equipos y la conexión necesaria para realizar la prueba.

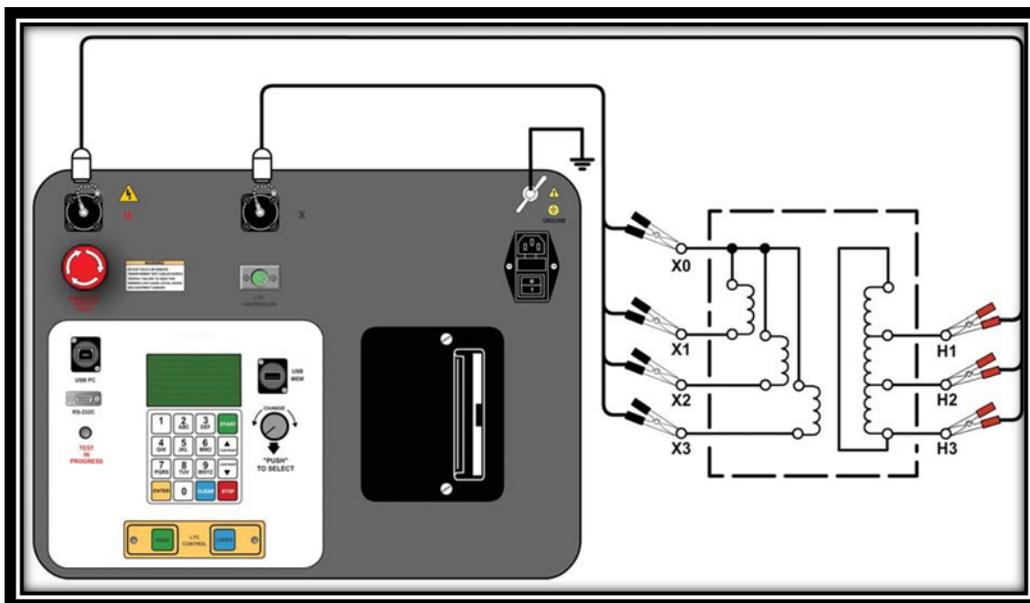


Figura 4.9- Esquema de conexión de un TTR para la prueba de relación de transformación.

Fuente: Catálogo AMPERIS PRODUCTS 2013 – En línea



Por lo general el TTR expresa sus resultados como un error relativo porcentual del valor práctico con respecto al valor teórico. Cabe destacar que esta prueba se debe realizar para cada posición del tap.

Si no se cuenta con un equipo de medición trifásica la prueba debe realizarse aplicando diferentes valores de tensión a cada fase considerando las conexiones internas de ambos devanados, bien sean deltas o yes. El anexo “8” ilustra un ejemplo de este procedimiento en el que se aplica la prueba a un transformador de potencia de 1000 kVA con un cambiador de taps de 5 posiciones. En el anexo se detalla el error relativo porcentual asociado a cada fase y a cada posición del tap, dicho error no excede la desviación máxima permitida de $\pm 5\%$ exigida por el estándar IEC 60076-1.

A continuación se enuncian algunas recomendaciones generales para la prueba de relación de transformación:

- El equipo TTR debe estar colocado sobre una superficie firme y nivelada, de manera que pueda ser operado sin interrupciones.
- Aterrizar el equipo y tomar las medidas de seguridad pertinentes.
- Anotar los datos de placa y diagrama vectorial del equipo a probar. El diagrama vectorial es la referencia para conectar el equipo adecuadamente.
- Calcular la relación teórica tomando en cuenta que la relación a medir es por fase correspondiente de alta y baja tensión.
- Al finalizar la prueba, colocar fuera de servicio el equipo.

Después de realizar las conexiones de la prueba se deben registrar las lecturas y cálculos de los errores relativos porcentuales en el formulario de registro, tal y como se ejecutó en el ejemplo del anexo “8”.



Prueba de resistencia óhmica a devanados: Los puntos con alta resistencia son fuente de problemas en los circuitos eléctricos, ya que originan caídas de voltaje, fuentes de calor y pérdidas de potencia en el sistema. Esta prueba nos detecta esos puntos, y en general la prueba se utiliza en todo circuito eléctrico en el que existen puntos de contacto a presión deslizables o soldaduras.

Como se mencionó, la prueba permite comprobar a través de la aplicación de una corriente continua las conexiones internas de los devanados y obtener el valor de las pérdidas en el cobre I^2R . Esta corriente empleada para realizar la medición debe estar por debajo del 15% de la corriente nominal del devanado en prueba, en caso contrario se podrían generar resultados erróneos producidos por el calentamiento del devanado, otro aspecto importante a tomar en cuenta es la utilización de baterías en perfectas condiciones de funcionamiento.

Recomendaciones para realizar la prueba:

- Aislar los devanados de circuitos que puedan interferir en la medición.
- Desconectar los neutros del sistema de conexión a tierra en una conexión estrella.
- Limpiar los terminales para minimizar el error por las resistencias de contacto.
- Colocar los selectores de medición en sus valores más alto.

Existen diferentes métodos básicos para realizar esta medición de resistencia, entre ellos están el puente de Wheatstone, el puente Kelvin o el método de la caída de potencial, pero todos son susceptibles a distintos factores que suelen estar asociados al nivel de resistencia que se desea apreciar. Lo mejor es utilizar un micróhmetro capaz de reducir ese margen de error para obtener una certera idea de las condiciones del devanado. La figura 4.10 muestra las conexiones para la realización de esta prueba utilizando un micróhmetro de la familia AEMC Instruments.

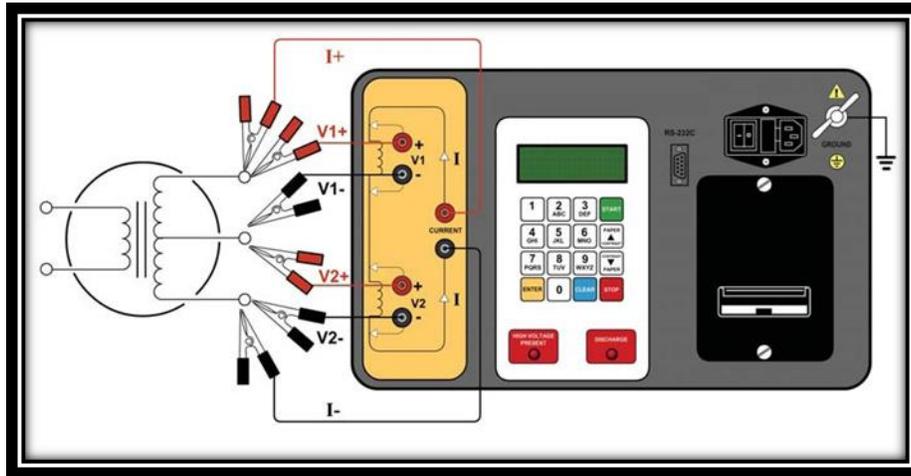


Figura 4.10- Conexiones para realizar la prueba de resistencia Óhmica a devanados.

Fuente: Catálogo AMPERIS PRODUCTS 2013 – En línea

Es de mucha importancia tener en cuenta las conexiones internas de los devanados ya que de ellas dependerá el valor de la resistencia. Para una conexión delta la medición de la resistencia implica la medición de una fase en paralelo con la resistencia en serie de las otras dos fases, el valor resultante es el equivalente de las tres fases, que resulta ser dos tercios de la resistencia de cada fase. En conexión estrella, si se tiene acceso al terminal neutro se puede medir directamente el valor de cada resistencia por fase, de lo contrario la medición sería de igual manera un equivalente a dos resistencia de fase en serie.

Tabla 4.7- Conexiones para la prueba de resistencia Óhmica a devanados en un transformador Dy

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		MIDE
	RX (1)	RX (2)	
1	H ₁	H ₃	1 (2+3)
2	H ₂	H ₁	2 (3+1)
3	H ₃	H ₂	3 (1+2)
4	X ₁	X ₀	4
5	X ₂	X ₀	5
6	X ₃	X ₀	6

La tabla anterior hace referencia al esquema de conexión de la figura 4.11 para un transformador trifásico conectado en Dy con acceso al neutro en el lado de baja.

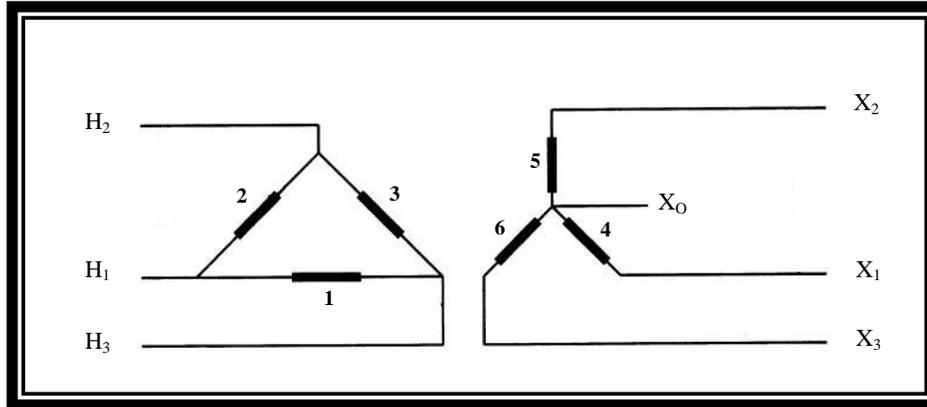


Figura 4.11- Conexión Dy de un transformador trifásico.

Fuente: Calderón, J. (2014)

A continuación la tabla 4.8 resume una lista de operaciones adicionales de mantenimiento y la tabla 4.9 una guía para la interpretación de problemas en transformadores tipo secos encapsulados.

Tabla 4.8- Tabla resumen de actividades de mantenimiento a transformadores secos

POS.	ACTIVIDAD	FECUENCIA DE MONITOREO	HERRAMIENTAS NECESARIAS	RESULTADOS
1	Funcionamiento correcto de los sensores de temperatura	Cada 6 meses o después de alguna eventualidad	Herramienta de aire caliente para la calefacción simulada	El comportamiento normal de los diferentes sensores de temperatura
2	Funcionamiento correcto del dispositivo de control de la temperatura	Cada 6 meses o después de alguna eventualidad	Según las instrucciones dadas en los manuales de instalación	

Tabla 4.8- Tabla resumen de actividades de mantenimiento a transformadores secos.

(Continuación)

POS.	ACTIVIDAD	FECUENCIA DE MONITOREO	HERRAMIENTAS NECESARIAS	RESULTADOS
3	Limpieza del polvo, suciedad, grasa y los posibles cuerpos extraños en las bobinas de transformador	Anual. Si el entorno es particularmente polvoriento la frecuencia debe aumentarse adecuadamente	Aire comprimido limpio y seco, máxima presión de 3 bares, trapo seco	Los huecos de ventilación entre los bobinados deben estar completamente limpios y abiertos
4	Comprobar que cada pareja de bobinados de AT y BT están perfectamente alineados	Después de acontecimientos excepcionales, tales como descarga accidental o cortocircuito aguas abajo del transformador.	Cinta métrica	Centrado uniforme
5	Apriete de los tornillos de los terminales de AT y BT y de todas las conexiones eléctricas	Anualmente o después de alguna eventualidad	Torquímetro	Ajuste mecánico según fabricante
6	Apriete de la parte superior del distanciador o separador	Anualmente o después de los eventos excepcionales	Torquímetro	Ajuste mecánico según fabricante

Tabla 4.9- Guía para la interpretación de problemas en transformadores tipo secos

POS.	PROBLEMA	POSIBLE RAZÓN	ACCIÓN CORRECTIVA
1	Exceso de temperatura de un solo devanado	La carga no está uniformemente distribuida	Compruebe la posición de la conexión de las tomas
		Sensores de temperatura o dispositivos defectuosos de control de temperatura	Reemplazar el dispositivo defectuoso
2	Recalentamiento general	Temperatura ambiente elevada	Posibles ventiladores dañados. Limpie aberturas de ventilación a la habitación o del gabinete
3	Ruido anormal	Tensión primaria demasiado alta	Verifique que la tensión en los devanados secundarios fuera de carga es menor o igual a la que se especifica en la placa de características.
	Ruido anormal	Conexión rígida con el sistema de barras. Conexión rígida con el suelo. Tornillos de barras de acoplamiento muy ajustadas.	Inserte conexiones flexibles entre el transformador y las barras. Inserte almohadillas anti vibración debajo del transformador. Apriete los pernos sueltos de las barras de acoplamiento.
4	Recalentamiento en el núcleo	Corrientes de Foucault en el núcleo magnético debido a un daño en el aislamiento	Póngase en contacto con el servicio de asistencia técnica post-venta.

Tabla 4.9- Guía para la interpretación de problemas en transformadores tipo secos
(Continuación)

POS.	PROBLEMA	POSIBLE RAZÓN	ACCIÓN CORRECTIVA
5	Intervención de la alarma y relé de disparo del dispositivo de control de temperatura debido a sobretemperatura	Sensores de temperatura o dispositivos defectuosos del control de temperatura	Reemplazar el dispositivo defectuoso
		Corriente de carga mayor al valor nominal de la placa característica / alto contenido de armónicos en la corriente de carga.	Reducir la carga con el fin de tener la corriente nominal o instalar el sistema de circulación de aire
		Posible mal contacto eléctrico de los sensores de temperatura	Revise, limpie y apriete todos los contactos de los sensores

4.2.1.3- Mantenimiento y pruebas a la unidad de Baja Tensión (Tableros): El mantenimiento adecuado debe contemplar todas las partes importantes de la subestación y una de ellas es la unidad de baja tensión la cual tiene la finalidad de contener y conservar en buen estado funcional los interruptores, protecciones, fusibles y en general todos aquellos elementos que integran un tablero. Su mantenimiento va a consistir en la revisión física, limpieza general, reapriete de conexiones, así como pruebas mecánicas y eléctricas. Todas estas actividades están detalladas en el esquema de mantenimiento de la figura 4.12

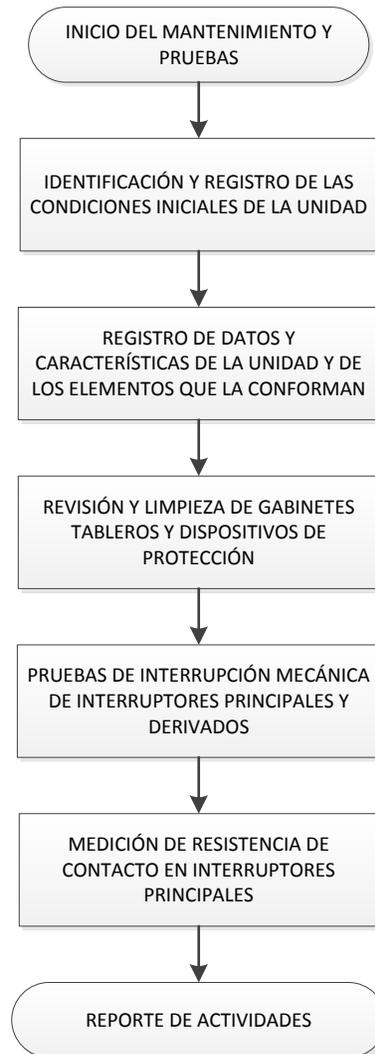


Figura 4.12- Programa de actividades para el mantenimiento de la unidad de baja tensión.

Fuente: Calderón, J. (2014)

Identificación y registro de las condiciones iniciales de la unidad: Para dar inicio a las labores de mantenimiento de esta unidad es necesario realizar un registro e inspección visual que permitan bosquejar un cronograma de trabajo de acuerdo a las condiciones del gabinete y de los equipos que el mismo contenga con el fin de prever el uso de herramientas y equipos necesarios para las labores de mantenimiento preventivas o correctivas y poder generar un cuadro comparativo frente a las condiciones establecidas al final de las actividades.



Registro de datos, características de la unidad y de los elementos que la conforman:

Con el fin de reestablecer o mejorar las condiciones iniciales de trabajo, posterior al desmontaje o desconexión de algún equipo de la unidad para su evaluación o mantenimiento, se deben documentar datos, características y conexiones de dicho equipo. Esta operación minimiza los errores en la reconexión y nos garantiza mantener las condiciones de diseño y fábrica tras labores correctivas que impliquen la sustitución de dispositivos, por fatiga o mal funcionamiento, por otros de iguales características, bien sean físicas, mecánicas o eléctricas. Los datos y características más relevantes son:

- Dimensiones del local.
- Diagramas unifilares.
- Diagramas de control.
- Tensiones y corrientes nominales.
- Dimensiones de los dispositivos de interrupción.
- Características eléctricas de los dispositivos de interrupción
- Disposición física de las conexiones.

Revisión y limpieza de gabinetes, tableros y dispositivos de protección: este procedimiento debe ejecutarse una vez al año para garantizar el servicio continuo de la subestación. La limpieza debe contemplar cada uno de elementos que integran el gabinete, cables, barras, interruptores, aisladores, soportes y demás componentes como instrumentos de medición. Esta actividad se realiza con la ayuda de un sistema de aspirado que tenga una boquilla aislada para prevenir daños a la estructura, es de recalcar que esta operación debe realizarse con el tablero sin tensión. En el caso de elementos que presenten contactos en mal estado o acumulación de residuos, deben ser desmontados para ser considerados sustituibles o para aplicárseles un baño dieléctrico y un procedimiento de pulitura de contactos que mejore sus condiciones de trabajo.



Se debe inspeccionar cada una de las piezas en el interior del gabinete, su superficie, su sujeción a la estructura y el nivel de esfuerzo mecánico que exijan para el cambio de posición. Debe eliminarse el polvo acumulado y limpiar cuidadosamente todos los aisladores cómo se indicó en secciones anteriores para el caso. Estas precauciones son especialmente necesarias si el equipo está instalado en donde haya polvo metálico o de cemento, o vapores ácidos. En caso que existan lámparas indicadoras se verifica su funcionamiento y se procede a reemplazan aquellas en mal estado.

Las barras colectoras y barras de conexión deberán examinarse para comprobar su estado. En caso de presentar algún indicio de recalentamiento se deberán examinar en búsqueda de alguna conexión desajustada o evaluar la carga de trabajo a la cual se sometió después de haber realizado la última inspección. Esta última condición puede necesitar el aumento de contenido de metal de las barras (capacidad conductora de corriente), o puede ser posible, en algunos casos, transferir carga a otros circuitos haciendo una redistribución equitativa de cargas. Si el recalentamiento es debido a tornillos y tuercas aflojadas deben apretarse unos y otras. Cuando las uniones se recalientan excesivamente, puede ser conveniente desmontarlas, limpiar las superficies, lubricarlas con grasa inactiva (vaselina, pasta anticorrosiva u otra sustancia análoga) y volver a montarlas asegurándose de que las tuercas estén bien apretadas.

Pruebas de operación mecánica de interruptores principales y derivados: Con el fin de conservar en buen estado funcional de los interruptores principales y derivados, contactores, botoneras y en general de todos los elementos que integran la unidad de baja tensión en la subestación, se realiza una prueba mecánicas posterior a la limpieza y mantenimiento en general del dispositivo para comprobar sus cambios efectivos de estado medibles en la oposición que ejerza contra esos cambios. Si se evidencia poca oposición a estos cambios o alguna falta de rigidez del mecanismo cambiador ante un intento de cambio se debe sustituir todo el equipo interruptor para prevenir fallas. Esta prueba mecánica es un complemento de la prueba de resistencia de contacto y por lo general se aplica una para comprobar la otra.

Medición de la resistencia de contactos (micro-ohmetro) en interruptores principales:

Como se ha mencionado para este tipo de pruebas aplicadas en las otras secciones de la subestación, se hace necesario el uso de un microhmetro con la finalidad de medir y verificar que la resistencia eléctrica entre los contactos tenga un valor bajo que permita un eficiente flujo de la corriente eléctrica evitando sobrecalentamientos que debiliten las conexiones y el mal funcionamiento de los equipos energizados a través de ellos. Para realizar esta prueba el interruptor obviamente debe estar cerrado, el microhmetro, adecuadamente conectado, inyecta una corriente que varía de acuerdo al equipo que se esté utilizando y mide la caída de tensión entre los contactos que están bajo prueba y calcula la resistencia entre ellos. Es necesario tomar en cuenta las siguientes indicaciones cuando se realiza la medición en interruptores:

- Deben encontrarse limpios y libres de oxidación los puntos medidos.
- Realizar varias pruebas consecutivas y calcular el promedio.
- La medición debe realizarse en cada fase.

La figura 4.13 muestra el esquema de conexión para realizar la medición de la resistencia a través de un microhmetro.

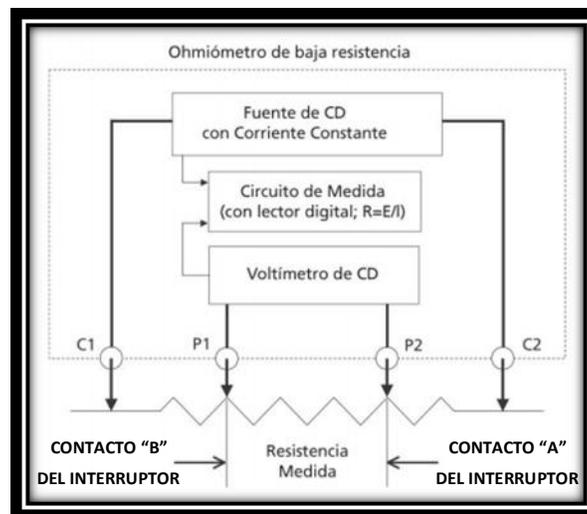


Figura 4.13- Conexión del microhmetro para medir resistencias de contactos en un interruptor

Fuente: Catálogo AMPERIS PRODUCTS 2013 – En línea



Para que la prueba pueda ser considerada como satisfactoria los valores de resistencia entre contactos por fase deberán ser menores de $150 \mu\text{ohm}$, considerando siempre que cada tipo y diseño del equipo puede tener una variación considerable.

Para obtener un registro que asiente los resultados encontrados en las pruebas se presenta un formulario en el anexo “10” con el objetivo de proporcionar estos datos para futuras revisiones y/o mantenimiento además de controlar los procedimientos realizados en la gestión de mantenimiento de la subestación compacta.

4.2.1.4- Mantenimiento y pruebas al sistema de puesta a tierra SPAT: Las puestas a tierra se establecen con el objetivo de limitar la tensión que, con respecto a tierra, pueden presentar en un momento dado las partes metálicas de los equipos, eliminar o disminuir el riesgo presente en caso de una avería en el material utilizado y asegurar la actuación correcta de las protecciones. Un sistema de aterrizaje en buen estado provee una baja resistencia hacia la tierra remota para minimizar el incremento de potencial a tierra. Los valores aceptables para un buen sistema de tierra y recomendables para subestaciones según el estándar IEEE 80-2000 “*Guide for Safeti in AC Substation Grounding*” son indicados a continuación en la tabla 4.10

Tabla 4.10- Valores de resistencia puesta a tierra en subestaciones

Denominación	Resistencia de Tierra
Subestación de transmisión y subtransmisión	1Ω o menos
Subestaciones de distribución pequeñas	Desde 1Ω hasta 5Ω

Por la seguridad de los equipos y fundamentalmente la del personal es necesario mantener dentro de los límites aceptables la resistencia de puesta a tierra mediante un riguroso programa de mantenimiento. La frecuencia de mantenimiento y la práctica recomendada en cualquier instalación depende del tipo y tamaño de la instalación, su función y su nivel de voltaje.

Todos los tipos de instalaciones deben ser objeto de dos tipos de mantenimiento:

- Inspección a intervalos frecuentes de todos aquellos componentes que son accesibles o que pueden hacerse fácilmente accesibles.
- Examen, incluyendo inspecciones rigurosas y pruebas.

La figura 4.14 ilustra un esquema de actividades básicas pero necesarias para realizar un mantenimiento eficiente al sistema de puesta a tierra de la subestación.

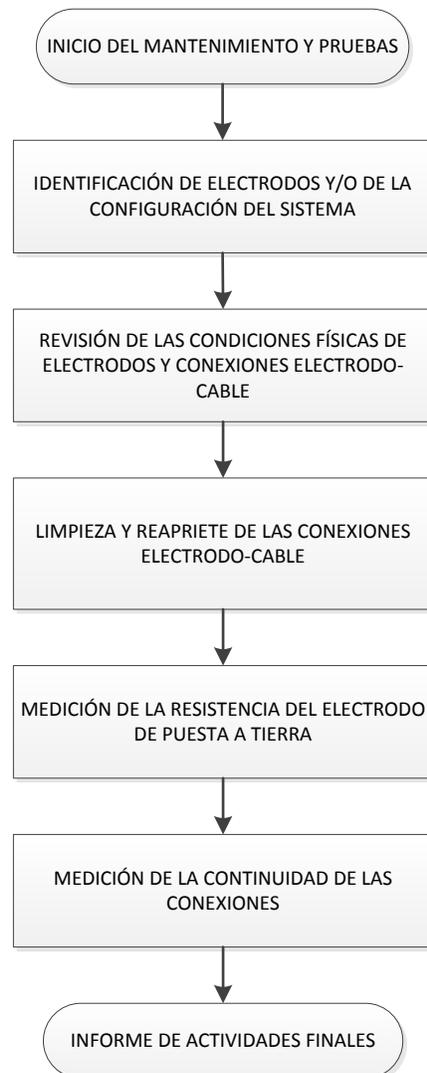


Figura 4.14- Programa de mantenimiento del sistema de puesta a tierra.

Fuente: Calderón, J. (2014)

Identificación de electrodos y/o de la configuración de sistema: lo primero que se debe realizar antes de ejecutar cualquier plan de mantenimiento a un sistema de puesta a tierra, bien sea de un local comercial, industrial o una subestación como es el caso, es identificar el tipo de sistema que se va a evaluar. Las subestación por lo general usan un sistema de mallado conductor conectado a la superficie a través de barras o conductores rígidos, este sistema que permite un mayor índice de conductividad bajo el terrero a fin elevar y garantizar la dispersión adecuada durante alguna eventualidad de la corriente de falla. También es importante tener conocimiento de la ubicación y el tipo de electrodo que se tienen, si es el caso, esto permite conocer los puntos en los cuales se deben realizar las maniobras de puesta a tierra para cada dispositivo en particular.

Revisión de las condiciones físicas de electrodos y conexiones electrodo-cable: En este procedimiento se realiza un chequeo básicamente visual de las condiciones físicas de los electrodos y sus conexiones o soldaduras para comprobar que las condiciones ambientales y de humedad no hayan producido deterioros que disminuyan su resistencia ocasionando que el sistema de puesta a tierra no realice su función correctamente.



Figura 4.15- Anclaje de sujeción del conductor de puesta a tierra oxidado

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana (2011) – Evaluación y Diagnóstico de SPAT - Tesis en línea



En la figura 4.15 se observa un punto deteriorado por las condiciones ambientales a las que está expuesto y lo que se busca con esta actividad es detectar esos puntos, medir su incidencia sobre la eficiencia del sistema y corregirlos, limpiarlos, reemplazarlos o cambiando su ubicación si es necesario. Esta operación debe realizarse cada doce meses o antes si el ambiente al que está expuesta la subestación es un ambiente agresivo para las conexiones en general.

Limpieza y reapriete de conexiones electrodo-cable: La limpieza debe realizarse procurando eliminar todo óxido y agentes que afecten la continuidad eléctrica entre las superficies de contacto unidad-cable y cable-electrodo. Para ello se utiliza un cepillo de cerdas fuertes o alguna solución química que facilite la remoción de los contaminantes. Si las uniones se encuentran muy corroídas lo mejor es sustituirlas. Para el reapriete de las conexiones se emplea un torquímetro o juego de llaves adecuadas que permita asegurar firmemente las uniones, conectores y anclajes de manera que la resistencia de la malla de tierra no cambie de manera repentina por la desconexión o falso contacto de alguno de los elementos involucrados en el sistema.

Medición de la resistencia del electrodo de puesta a tierra (Telurómetro): La resistencia de puesta a tierra debe ser medida antes de la puesta en funcionamiento de un sistema eléctrico, como parte de la rutina de mantenimiento o excepcionalmente como parte de la verificación de un sistema de puesta a tierra. El método más común para medir la resistencia de puesta a tierra de electrodos o sistemas mallados se conoce como el método de la caída de potencial. Para la medición es necesario un medidor de resistencia a tierra o telurómetro.

Al realizar la medición, de preferencia la instalación debe estar desenergizada y el electrodo de tierra desconectado del sistema eléctrico.

Si no fuese así mientras se desarrolla la prueba podría ocurrir una falla a tierra que involucre a la instalación y a su electrodo de tierra y tanto el potencial del electrodo como el potencial del terreno entorno al electrodo se elevarán provocando una diferencia de potencial posiblemente peligrosa para las personas que participan en la prueba. De no ser posible la desenergización de la instalación y la desconexión del electrodo a tierra debe seguirse un procedimiento de seguridad organizado que contemple los siguientes aspectos:

- Comunicación constante entre todos los que participan en la prueba.
- Uso de guantes de goma y calzado adecuado.
- Uso de doble interruptor con aislación apropiada a través del cual se conectan los cables al instrumento.
- Uso de una placa metálica para asegurar una zona equipotencial de trabajo.

La figura 4.16 muestra la disposición del montaje para la medición mediante el telurómetro y los electrodos de prueba necesarios.

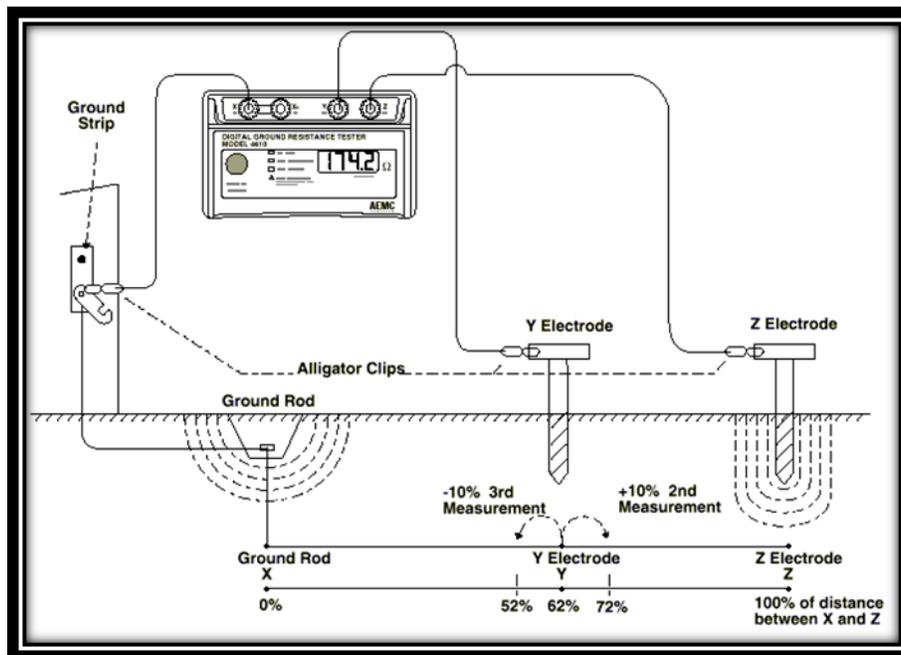


Figura 4.16- Esquema para la medición de la resistencia de puesta a tierra.

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana (2011) – Evaluación y Diagnóstico de SPAT - Tesis en línea.



El método consiste en pasar una corriente entre el electrodo o sistema de puesta a tierra a medir (X) y un electrodo de corriente auxiliar (Z) y medir la tensión entre la puesta a tierra bajo prueba y un electrodo de potencial auxiliar (Y) como muestra la figura 4.16. Para minimizar la influencia entre electrodos, el electrodo de corriente, se coloca generalmente a una sustancial distancia del sistema de puesta a tierra. Típicamente ésta distancia debe ser mínimo seis veces superior a la dimensión más grande de la puesta a tierra bajo estudio.

El electrodo de potencial debe ser colocado en la misma dirección del electrodo de corriente, pero también puede ser colocado en la dirección opuesta. En la práctica, la distancia $|XY|$ para el electrodo de potencial se elige aproximadamente al 62% de la distancia del electrodo de corriente. Esta distancia está basada en la posición teóricamente correcta (61.8%) para medir la resistencia exacta del electrodo para un suelo de resistividad homogéneo.

La localización del electrodo de potencial es muy crítica para medir la resistencia de una puesta a tierra. La localización debe ser libre de cualquier influencia del sistema de puesta tierra bajo medida y del electrodo auxiliar de corriente. La manera más práctica de determinar si el electrodo de potencial está fuera de la zona de influencia de los electrodos, es obtener varias lecturas de resistencias moviendo el electrodo de potencial en varios puntos entre la puesta a tierra bajo prueba y el electrodo de corriente. Dos o tres lecturas consecutivas aproximadamente constantes pueden asumirse como representativas del valor de resistencia verdadera.

La figura 4.17 muestra una gráfica típica de resistencia contra distancia del electrodo de potencial (Y). La curva muestra cómo la resistencia es cercana a cero cuando (Y) se acerca al sistema de puesta a tierra, y se aproxima al infinito hacia la localización del electrodo de corriente (Z). El punto de inflexión en la curva corresponderá a la resistencia de puesta a tierra del sistema bajo estudio.

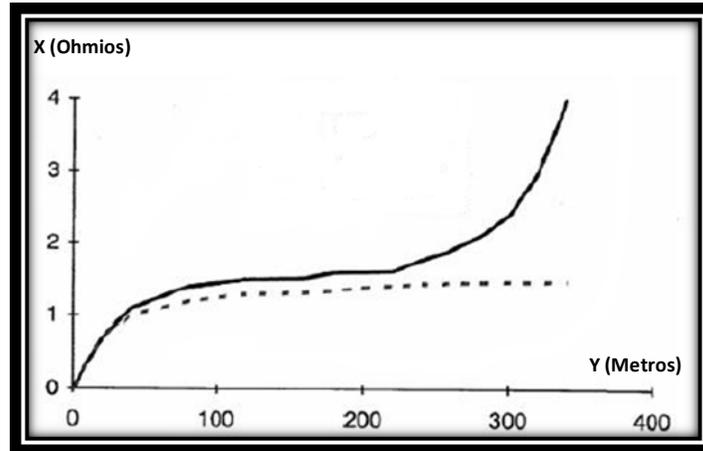


Figura 4.17- Resistencia de puesta a tierra versus distancia de (Y)

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana (2011) – Evaluación y Diagnóstico de SPAT - Tesis en línea.

Medición de la continuidad de las conexiones: Se deben realizar estas mediciones a través de un ohmímetro antes y después de medir la resistencia del electrodo o del sistema de puesta a tierra y de la limpieza o ajuste de las conexiones en general. Esto garantiza la correcta conexión de todo el sistema y la fiabilidad del mismo ante alguna eventualidad. Si por algún motivo no existiera continuidad en alguno de los puntos se hace indispensable reconectarlo al sistema, ya que esto puede producir daños en el sistema de puesta a tierra que lo inutilicen y ponga en riesgo la seguridad del personal y el estado de los equipos aterrizados a través de ella. Una vez que se cubre con todas las actividades de mantenimiento se debe dejar documentado y avalado el estado de operatividad en el cual se dejan los equipos, las condiciones de trabajos, correcciones, ajustes, cambios, observaciones y demás comentarios importantes para los operarios y supervisores, esto según formato de registro ubicado en el anexo “11”

4.2.1.5- Mantenimiento y pruebas a apartarrayos

Los apartarrayos son dispositivos de protección contra sobretensiones de tipo atmosférico o sobretensiones por fallas del sistema. Estos dispositivos se encuentran conectados permanentemente en el sistema y operan cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra.



El apartarrayos se conecta entre línea y tierra, este consiste básicamente de elementos resistores en serie. Los elementos resistores ofrecen una resistencia no lineal, de manera tal que para voltajes a la frecuencia normal del sistema la resistencia es alta y para descargar corrientes la resistencia es baja.

Para que protejan adecuadamente, los apartarrayos deben cumplir las siguientes funciones operativas:

- No deben permitir la circulación de corriente a tierra cuando la tensión en línea sea normal.
- Cuando el voltaje se eleva a una cantidad definida, deben proporcionar un camino a tierra para disipar la energía transitoria sin que haya un aumento en el voltaje del circuito.
- Tan pronto como la tensión se ha reducido por debajo del ajuste del apartarrayos, el apartarrayos debe detener el flujo de corriente a tierra y sellarse para aislar el conductor de tierra.
- Los apartarrayos no deben ser dañados por las descargas y deben ser capaces de repetir automáticamente su acción con tanta frecuencia como se requiera

Si el rendimiento de alguna de estas funciones disminuye, el apartarrayos pondría en riesgo al usuario y al equipo que protege, por lo que durante un mantenimiento de rutina a la subestación, los apartarrayos son un punto crítico de evaluación y revisión. Dentro de las actividades más comunes para su mantenimiento de rutina están la limpieza externa de la camisa de cerámica, la prueba de aislamiento y la prueba del factor de potencia. La figura 4.18 esquematiza estas actividades de mantenimiento.

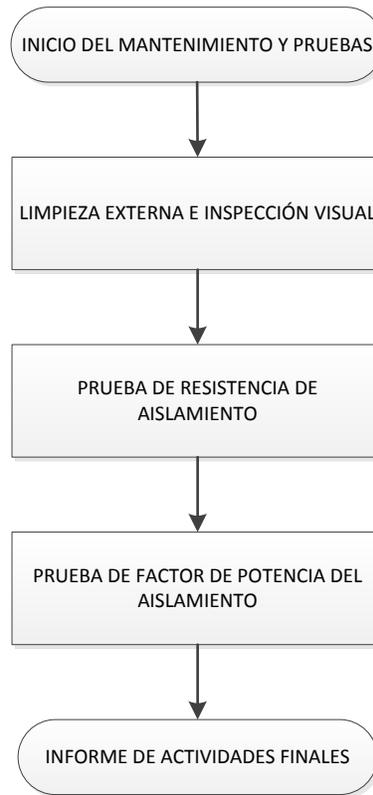


Figura 4.18- Programa de actividades del mantenimiento al sistema de apartarrayos.

Fuente: Calderón, J. (2014)

Limpieza externa e inspección visual: se debe emplear para la limpieza tejido textil áspero y humedecido con alguna clase de dieléctrico, posterior a esto secar las piezas frotando las superficies con el propósito de eliminar polvo acumulado y otros posibles contaminantes adheridos al cuerpo del apartarrayo. Se puede utilizar aire seco comprimido mezclado con dieléctrico para remover partículas que la limpieza manual no pueda. No se deben utilizar detergentes líquidos, soluciones químicas con un alto grado de inflamabilidad ni sustancias que contengan algún agente corrosivo. Intentar no golpear los apartarrayos, ya que se puede dañar la porcelana. Revisar y ajustar las bases, soportes y uniones a la estructura que protege así como también chequear el estado de la conexión del cable a tierra y el punto de conexión a la línea, estos no deben evidenciar fatiga por el efecto de arcos eléctricos, corrosión o movimientos irregulares al manipularlos.



Prueba de resistencia de aislamiento: esta prueba se realiza para diagnosticar las propiedades eléctricas que posee el apartarrayos y las condiciones físicas en las que se encuentra. El apartarrayos merma en sus funciones básicamente por dos razones, la contaminación ambiental y la incorrecta manipulación al momento de la instalación o durante procedimientos de mantenimientos rutinarios. Esta prueba permite detectar los posibles daños que estos factores puedan ocasionar, como por ejemplo:

- Humedad y/o suciedad en las superficies internas de la porcelana.
- Existencia de corrosión en los entrehierros.
- Fisuras, porosidad o rompimientos de la porcelana.
- Degradación, fisuras o contaminación en el envoltente polimérico.

Antes de iniciar la prueba se debe:

- Drenar las posibles cargas estáticas que pudieran existir al momento del mantenimiento a través de un conductor conectado a tierra.
- Limpiar cuidadosamente la porcelana y los puntos de conexión, eliminando el polvo, contaminantes o humedad.
- Preparar el equipo de medición antes de realizar la prueba.

Para realizar la prueba se utiliza un medidor de aislamiento o megóhmetro. La aplicación de la tensión de prueba va a depender de las características constructivas del apartarrayos, del manual de ensayos y mantenimientos suministrado por el fabricante y de los valores mínimos aceptables para resistencia de aislamiento en instalaciones de baja tensión expresados en el estándar IEC 60364-6 IEC y en el estándar ANSI / NETA ATS-2009. En la práctica esta tensión suele ser la de mayor magnitud que proporciona el equipo siempre y cuando no sea mayor a la tensión nominal del apartarrayos. En la figura 4.19 se observa la conexión para realizar esta prueba.

Todas las mediciones que se realicen deben ser registradas en el formulario de ensayos y pruebas de rutina, ver anexo “12”. Este formulario permite llevar un control de la prueba además de ser una constancia de su evaluación y nos va a permitir planificar y documentar las acciones posteriores a los resultados obtenidos.

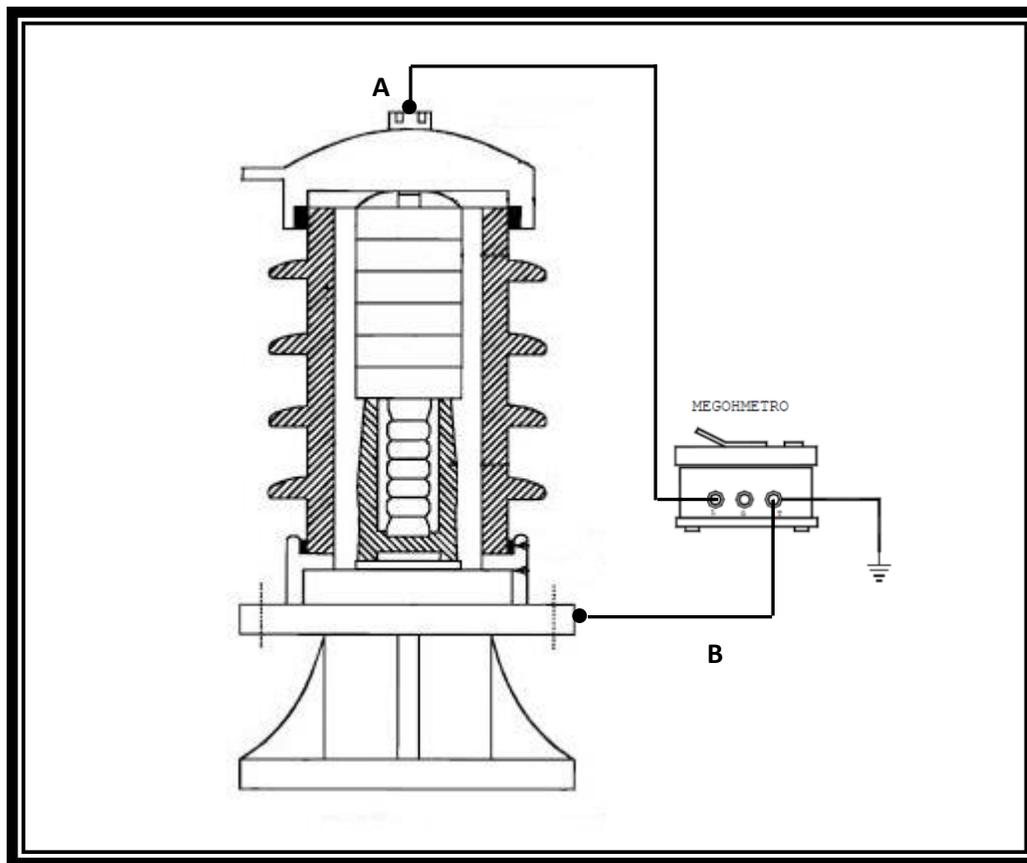


Figura 4.19- Prueba de resistencia al aislamiento en apartarrayos.

Fuente: Catálogo MEGGER 2014 - En línea

Debido a que la resistencia en los apartarrayos varía de acuerdo a la marca y tipo, pudiendo ser desde 500 megaohmios hasta 50.000 megaohmios se debe realizar comparaciones con apartarrayos de la misma marca, tipo y tensión. Si los valores presentan una variación muy alta se debe realizar un examen exhaustivo del dispositivo.

Prueba de factor de potencia del aislamiento: En general, si a un aislante ideal se conecta una fuente de tensión alterna, la corriente debiera ser totalmente capacitiva y adelantar al vector de la tensión en noventa grados exactamente, pero en la práctica los aislantes no se comportan de esta manera y una pequeña cantidad de corriente fluye a través de ellos y es la que denominamos corriente de fuga. Esta corriente tiene dos componentes, una componente capacitiva y una componente resistiva cuyas características y la manera en la que se relacionan entre si nos da un indicativo de las condiciones del aislante. La figura 4.20 ilustra las componentes vectoriales de la corriente de fuga y sus relaciones.

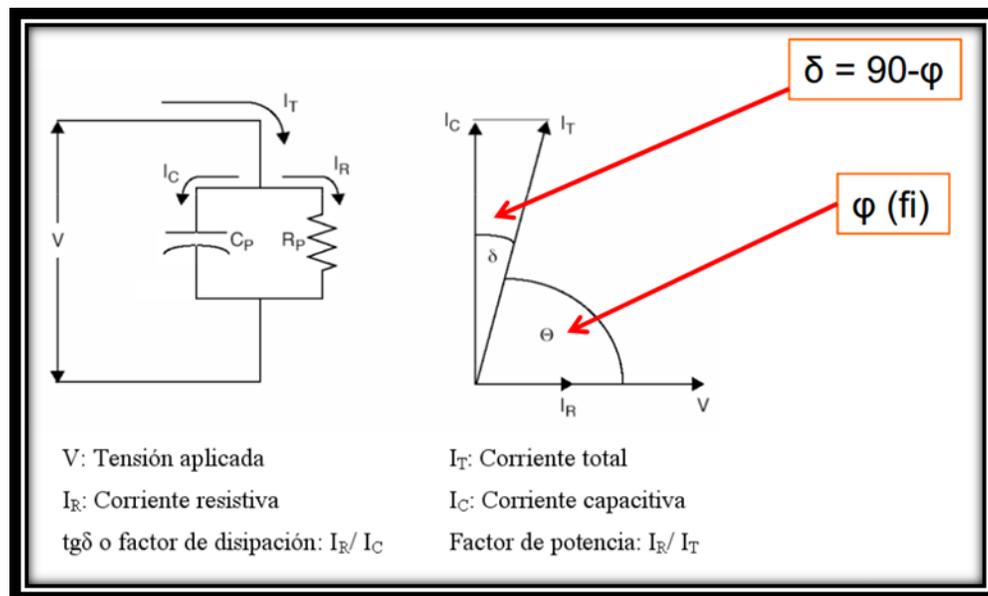


Figura 4.20- Componentes de la corriente de fuga en un aislante

Fuente: Catálogo MEGGER 2014 - En línea

Por lo anterior expuesto, durante la prueba se aplica una tensión alterna para medir esta corriente de fuga en el aislamiento del apartarrayos, en consecuencia estaremos midiendo los valores de capacitancia y pérdidas de su capacidad dieléctrica que pueden estar asociadas a problemas de contaminación, humedad o a la fractura y debilitamiento del material aislante. Esta prueba complementa la prueba de resistencia de aislamiento y nos da una idea más concreta de las condiciones del material que evaluamos.

Antes de realizar la prueba son recomendables las siguientes actividades:

- Drenar las cargas realizando una conexión a tierra con un conductor.
- Limpiar la porcelana o el envoltorio polimérico, eliminando todo el polvo o suciedad que exista en la superficie de estos.
- Preparar el equipo antes de la prueba. En este caso se hace necesario contar con un sistema de diagnóstico de aislamiento DELTA4000-MEGGER u otro que disponga de la opción.

La figura 4.21 señala la conexión del equipo para realizar la prueba sobre un apartarrayos de una sola sección.

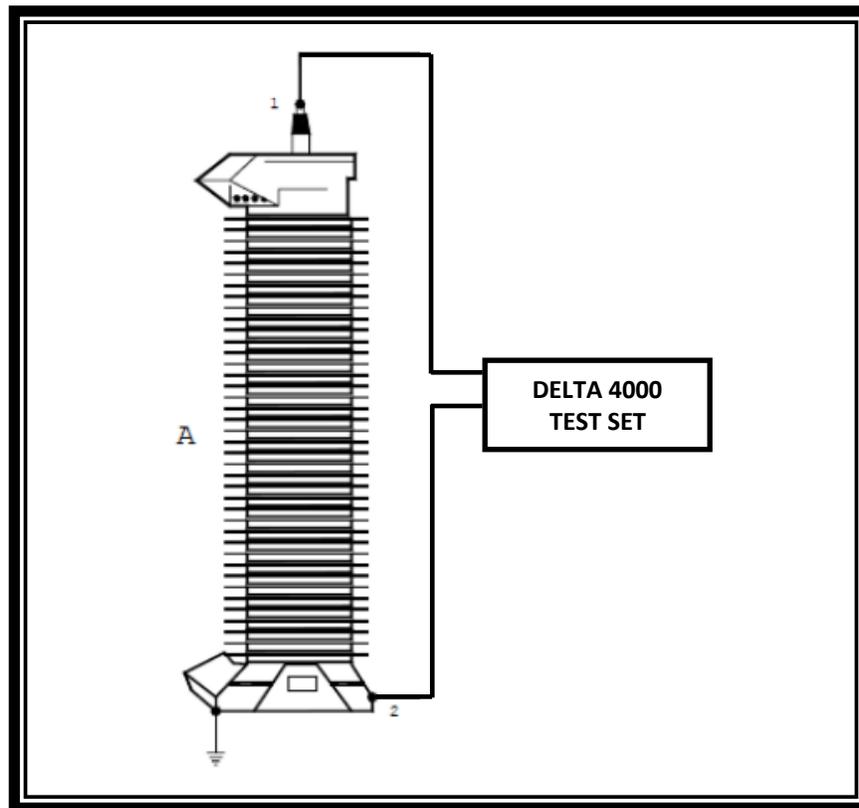


Figura 4.21- Prueba de factor de potencia del aislamiento del apartarrayos para una sección.

Fuente: Instituto Politécnico Nacional (2010) – Mantenimiento De Sistemas Eléctricos - Tesis en línea



Dependiendo del equipo que se utilice, los resultados son expresados como pérdidas de potencia en watts (W) o miliwatts (mW), por lo tanto se debe estar seguro de la unidad de medición que se emplea en el resultado de la prueba. No existen valores normalizados para la aceptación, esto es ocasionado por la diversidad de materiales con que son construidos los apartarrayos, sin embargo se pueden mencionar algunas anomalías propias de ciertos tipos de materiales con que son construidos los apartarrayos:

- **Carburo de Silicio:** Estos apartarrayos presentan altos valores de pérdidas, generados por la contaminación, humedad, suciedad o corrosión. Sus fallas suelen deberse a resistores rotos, malos contactos o circuitos abiertos entre elementos. Cambios de corrientes muy probables debido a daños mecánicos.
- **Oxido metálico:** La corrosión en los entrehierros (si aplica, ya que los diseños modernos no poseen este elemento), la suciedad, el polvo o la humedad generan pérdidas muy altas. Cuando existe una falta de continuidad en la configuración eléctrica interna se producen pérdidas muy bajas.

A lo largo de toda la prueba se debe tomar nota y registrar los valores obtenidos en el formulario de registro para la prueba de factor de potencia, ver anexo “13”. Al final de todas las actividades y pruebas a los apartarrayos se debe llenar el formato de evaluación y condiciones finales del dispositivo donde se deja constancia de los resultados y observaciones necesarias, ver anexo “14”.

4.2.1.6- Actividades Finales

Una vez finalizado el proceso de mantenimiento y todas las pruebas pertinentes a cada unidad de la subestación se organizan los resultados obtenidos para dejar documentado todo el procedimiento realizado, las observaciones y el estado de funcionamiento en el que se deja la subestación y cada una de las unidades que la integran.

Es importante resaltar que estas actividades no se deben pasar por alto debido a que en ellas se reporta el estado final de la subestación, lo que será el punto de partida para próximos mantenimientos y generarán las condiciones de operación durante el transcurso del nuevo ciclo de trabajo. La figura 4.22 ilustra las actividades que se contemplan en esta etapa:

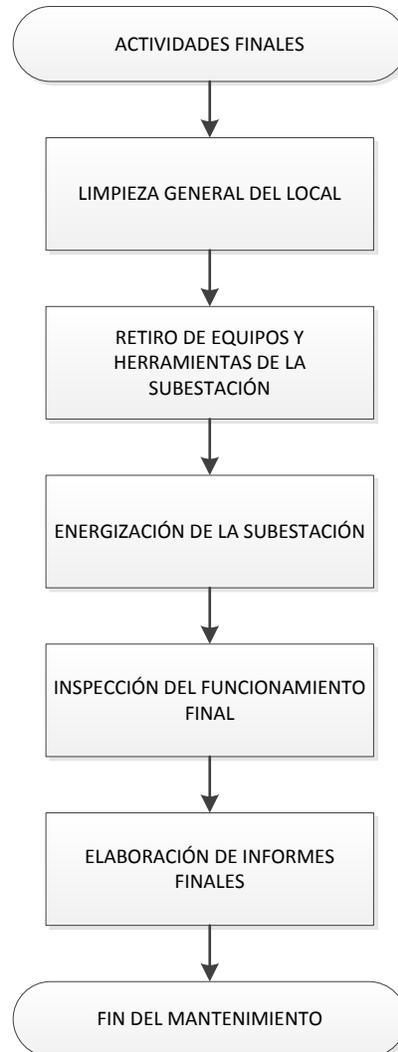


Figura 4.22- Programa de actividades finales de mantenimiento de la subestación.

Fuente: Calderón, J (2014)



Limpieza general del local: Luego de realizar el mantenimiento general a todas las unidades de la subestación se dejan residuos de elementos empleados para tal fin, por lo tanto se deben retirar estos desperdicios o desechos dejados en todo el espacio físico de la subestación y sus alrededores, puede ser polvo, paños, tornillos, tuercas, herramientas, partes de aislantes y todo aquel elemento que no deba estar en el lugar, haciendo énfasis en la revisión del interior de los gabinetes o celdas que alojan los componentes de la subestación. Se debe verificar también que no exista ningún roedor o rastros de estos ya que estos animales además de ocasionar suciedad antihigiénica por sus heces pueden dañar contactos, cables de control y aislamiento de los equipos.

Retiro del equipo y herramientas de la subestación: Se debe comprobar que todas las herramientas utilizadas para el mantenimiento han sido retiradas y colocadas en su respectivo lugar, de igual manera los equipos de medición deben ser resguardados correctamente para evitar daños que puedan afectar el funcionamiento de los mismos. Se debe inspeccionar el estado en el que quedan las herramientas y equipos a través de un test de comprobación, la inspección visual o una lista de chequeos que facilite la administración de los mismos.

Reenergización de la subestación: esta actividad la realiza la compañía que suministra la energía eléctrica, siempre y cuando el punto de conexión se encuentre en terrenos ajenos a la propiedad de la compañía. Si los interruptores principales de energización se encuentran dentro de la empresa, las labores de reconexión estarán a cargo del personal que opera la subestación. Para esta actividad posterior a un mantenimiento se deben tomar las medidas de seguridad pertinentes.

Inspección del funcionamiento de la subestación: Después de energizar la subestación se procede a verificar su funcionamiento adecuado, para esto se requiere observar detalladamente durante un tiempo o hasta que todas las cargas hayan sido reincorporadas, para comprobar que no exista ningún ruido en el transformador y que todas las unidades realizan su función adecuadamente.



Otra tarea importante es la de medir la tensión entre líneas y entre fase, tierra y neutro a través de un voltímetro, comprobando que exista una tensión de suministro normalizada en las entradas de los interruptores. Si existiese alguna desviación del voltaje se deben analizar las posibles causas antes de incorporar cargas al sistema. Activar un protocolo de chequeo y revisión de los componentes básicos de la subestación; conexiones de las barras, interruptores principales y secundarios, dispositivos de protección aguas arriba y aguas abajo, seccionadores, puestas a tierra, entre otros.

Elaboración de informes: Los informes se realizan con base a los resultados asentados en los formatos de reportes realizados durante la gestión de mantenimiento, este informe proporcionará información importante al momento de realizar el próximo mantenimiento y para deducir fallas que se presenten a lo largo del nuevo ciclo de trabajo. Otro fin de este procedimiento es generar un historial de fallas y pruebas, cuadros de control, cuadros de tendencias y estadísticas que reflejen el comportamiento de la subestación desde su montaje hasta su último mantenimiento y poder deducir valores de referencia aceptables y predecir actividades futuras.

4.2.2- Diseño de una estrategia para la administración del plan de mantenimiento de la subestación.

La administración del mantenimiento estará a cargo del jefe del departamento de mantenimiento, quien deberá llevar a cabo las funciones de dirección, coordinación y programación del mantenimiento, este deberá realizarse cada uno o tres años dependiendo de los historiales de fallas con los que se cuente, sin embargo las inspecciones diarias también proporcionarán información sobre los mantenimiento predictivos que convengan por desgaste, daños o cualquier otra causa que afecte el rendimiento en general de la subestación. Antes iniciar las actividades, se programará una inducción sobre los procedimientos a realizar y el supervisor de seguridad indicará las medidas y los equipos de protección personal a utilizar en las operaciones.

Se dispondrá de un técnico para realizar el mantenimiento a la unidad de alta tensión, uno para el transformador y otro para la unidad de baja tensión, cada uno de ellos supervisado por el jefe de mantenimiento, el supervisor de operaciones y el supervisor de seguridad, quienes deberán alternarse para constatar que todos los procedimientos se realicen de manera adecuada y bajo las normativas de seguridad, que toda la documentación se lleve de manera correcta y que los formularios de registro manifiesten la realidad de las pruebas.

En el mantenimiento del sistema de puesta a tierra se involucrarán dos técnicos para hacer las labores de medición y evaluación mientras que para el mantenimiento de los apartarrayos se dispondrá de un solo técnico. Las actividades finales serán realizadas por todo el equipo en conjunto y la inspección final debe involucrar a técnicos, operarios, supervisores y jefes.

A continuación la figura 4.23 presenta un diagrama causa efecto para el análisis de la gestión de mantenimiento de la subestación. En la figura se reflejan cuatro componentes principales que tienen gran impacto sobre el éxito de toda gestión de mantenimiento y sobre las cuales se desarrolla la estrategia.

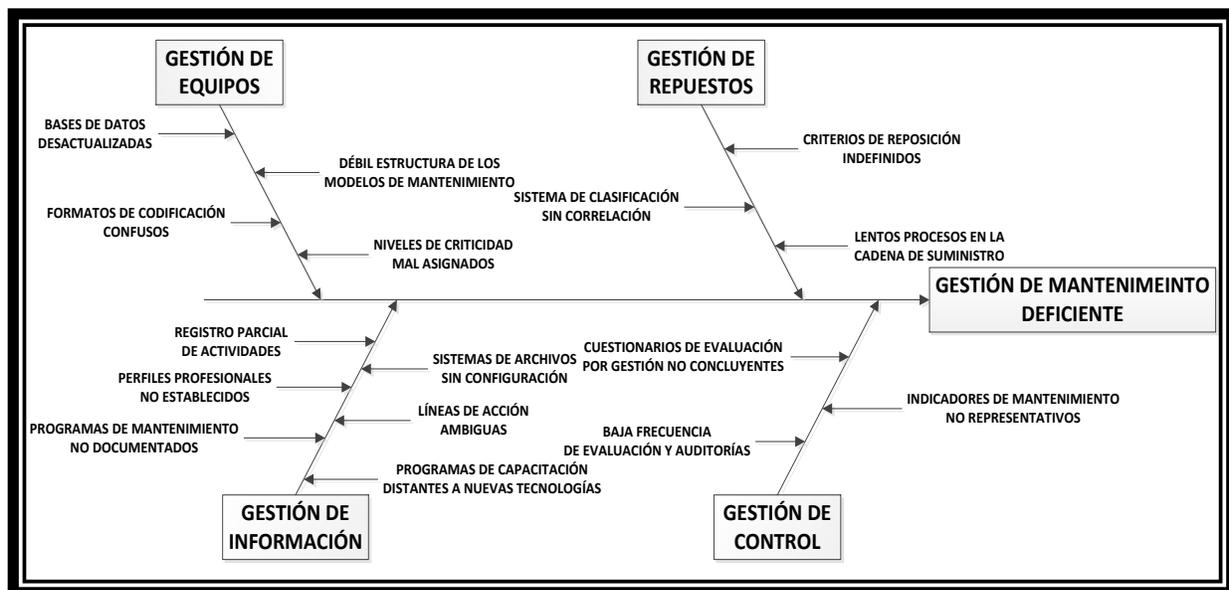


Figura 4.23- Diagrama causa efecto para el análisis de la gestión de mantenimiento.

Fuente: Calderón, J. (2014)



Analizar la gestión de equipos para poner en evidencia problemas que interfieran directamente con la determinación de las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo y verificar niveles de criticidad asignados a cada uno de ellos dentro de la estructura de mantenimiento, de acuerdo a su impacto sobre el costo de una parada, el costo de reparación y de su prioridad para el funcionamiento en general de la unidad, esto con el objetivo de establecer mejores criterios para intervenirla.

Identificar en la gestión de repuestos fallas en el sistema de reposición que perjudiquen los tiempos de mantenimiento y la continuidad operativa. Es importante tener en cuenta que uno de los costos más importantes en mantenimiento es el consumo de repuestos, el cual se debe optimizar. Lo complejo en el caso de las subestaciones, en especial las pertenecientes al sector industrial, es que la mayoría de los repuestos suelen ser de grandes dimensiones, de elevados costos pero con una probabilidad de falla muy pequeña que limita considerablemente el programa de mantenimiento a sólo procesos correctivos, lo que impacta directamente en la administración del stock de repuestos.

Evaluar en la gestión de información los mecanismos para documentar de manera efectiva todo el proceso de mantenimiento, desde protocolos de trabajo hasta el registro continuo de actividades, lo que garantiza un plan preventivo de acciones durante alguna eventualidad de la subestación.

Para que las tres categorías mencionadas con anterioridad trabajen en consonancia y bajo un proceso de mejoras continuas es fundamental comprobar con cierta regularidad CÓMO se gestiona cada una de ellas, por ello es necesario una gestión de control para **Auditar** las anteriores en un momento determinado; mediante esta se deben identificar puntos de mejora y determinar qué acciones son necesarias para mejorar los resultados que conduzcan a aumentar la eficiencia de los procedimientos existentes, eficiencia que será proporcional a la gestión global de mantenimiento.



Una vez reconocidas las debilidades en la gestión es mucho más sencillo diseñar las bases de la gestión de mantenimiento a través de la planificación del mismo, cubrir dichas debilidades con una programación acorde a los alcances de la capacidad de mantenimiento y darle mejoras al programa que se planteó en la sección 4.2.1

La capacitación también es una pieza fundamental del éxito de toda la gestión. El departamento de mantenimiento debe evaluar las capacidades técnicas del personal de operación y mantenimiento para proponer planes de capacitación necesarios de acuerdo a los requerimientos técnicos de la subestación.

En cuanto a los equipos y herramientas necesarias, estas se describen a continuación:

Equipos:

- **Equipo:** Telurómetro
Características: digital, portátil, capaz de medir la resistencia y la resistividad con 2, 3 o 4 electrodos.
- **Equipo:** Torquímetro
Características: Balanzas con lecturas en sistema métrico e inglés, mecanismo de bloqueo positivo que indica a los usuarios que han alcanzado el torque deseado, diseño de cabeza delgada que puede introducirse en áreas estrechas, mangos largos que permiten que el usuario alcance el torque establecido con menos fuerza, calibración dentro de un margen de $\pm 3\%$ del ajuste de torque en sentido de las manecillas de reloj y $\pm 6\%$ de ajuste de torque en sentido contrario de las manecillas del reloj, del 20% al 100% de la escala total.



- **Equipo:** Micróhmetro MEGGER
Características: Certificado de calibración ISO, el equipo debe contar adicionalmente con adaptador para pinza amperimétrica, adaptador de revoluciones, adaptador de precisión, adaptador de humedad, adaptador de luz.
- **Equipo:** Megóhmetro MEGGER
Características: Voltajes de prueba de 250/500/1000/5000 V con rango de 1000 M Ω , alarma de límite de aislamiento (0,01M Ω a 1G Ω), medición de resistencia rango 10 Ω a 1M Ω , medición de continuidad $>100 \Omega$, acorde a normativa IEC61010
- **Equipo:** TTR trifásico MEGGER
Características: Operación completamente automática, medición de las tres fases simultáneamente, con máxima medición de la relación de transformación (10.000:1) y máxima precisión de 0,1%, con capacidad de memorización interna y transferencia de resultados, debe permitir visualizar el porcentaje de error respecto a las especificaciones nominales y límites de aceptación. Certificado por CE.
- **Equipo:** Medidor de Factor de Potencia DELTA 4000 MEGGER
Características: Entrada nominal voltaje 220V corriente 5 A AC, frecuencia: 45-56 Hz, Rango de funcionamiento: AC/DC 80V ~ 270V, consumo de energía $\leq 5V$.
- Voltímetros y amperímetros con rangos de medición de acuerdo a niveles de tensión en prueba.

Herramientas:

- **Herramienta:** Juego de llaves
Características: Juego de llaves de 20 piezas combinadas en milímetros y pulgadas, de acero inoxidable.



- **Herramienta:** Dielectrol.
Características: Rigidez dieléctrica 25 KV, temperatura de inflamación 55°C, velocidad de evaporación alta.
- **Herramienta:** Thinner
Características: Constituyentes: Aromáticos, Alifáticos, Alcoholes, Glicoles y Ésteres. Peso específico (20/20 °C) $0,810 \pm 0,01$ g/ml. Libre de material en suspensión. Libre de sólidos disueltos. Rango de destilación: 55 / 165 °C
- **Herramienta:** Gasolina
Características: Sin plomo
- **Herramienta:** Pinzas.
Características: 8", mango ergonómico con moldeado doble, mordazas estriadas, forjadas y rectificadas, Largo: 8", Largo Cuchillas: 0.73"
- **Herramienta:** Juego de Dados
Características: Material de cromo-vanadio, reversible, interruptor para cambio de giro derecha o izquierda.
- **Herramienta:** Llaves ajustables
Características: acero aleado de molibdeno forjado al calor, niquelado y cromado, resistente al óxido y la corrosión. Bocas y aperturas biseladas. Extremo abierto en ángulo de 15 grados, uso en sujetadores hexagonales y uso donde solo es posible un movimiento de rotación de 15 grados



Equipo de protección personal:

- **Equipo:** Casco

Características: El casco de seguridad es un equipo de protección personal, en forma de cúpula que se utiliza para resguardar la cabeza de golpes mecánicos, altas temperaturas y peligros eléctricos, entre otros riesgos, debe estar hecho de policarbonato de alta densidad, polietileno de alta densidad y fibra sintética.

El casco debe ser lo más liviano posible. No debe pesar más de 400 gramos, el arnés debe ser flexible, no irritar ni lesionar al usuario; por ello, son preferibles los de material tejido a los de polietileno, el armazón debe ser de color claro y tener orificios de ventilación. Deben sustituirse cada tres años o siempre que presenten grietas, decoloración, o cuando hayan sufrido un golpe fuerte, aunque no presente signos aparentes de tener daños

- **Equipo:** Calzado

Características: Botas que previenen torceduras y golpes en tobillos, antirresbalante, protección dieléctrica de hasta 20 KVA

- **Equipo:** Lentes

Características: Lentes de Protección ligeros, unisex, cobertura envolvente, material: policarbonato con una capa dura de protección anti ralladuras.

- **Equipo:** Guantes

Características: fabricados en goma o látex, **clase 4** (36.000 voltios).

- **Equipo:** Respiradores descartables

Características: Eficiencia de filtración mínimo de 95% contra partículas sin aceite, medio filtrante electrostático avanzado, sistema de retención de partículas, mayor eficiencia del filtro con menor caída de presión



4.2.3- Integración de la estrategia administrativa y el plan de mantenimiento en un marco metodológico para la gestión de mantenimiento de la subestación.

Para la integración de la estrategia propuesta y el plan de mantenimiento se diseñó un marco metodológico cuyos procedimientos, definidos en cuatro fases, persiguen la mejora del programa a través de instrumentos y herramientas, bien sea cuadros de control, flujogramas de procesos, listas de chequeos entre otros. La idea es, a través de estas técnicas de análisis, sintetizar y presentar toda la información referente a la gestión de mantenimiento de la subestación de manera que los alcances, objetivos, mejoras y rendimientos puedan ser fácilmente identificados y evaluados.

Las fases de integración se constituyen a partir de los pasos que se plantearon como estrategia para la administración del mantenimiento y son:

FASE I GESTIÓN DE EQUIPOS

Cuando se tiene una mala gestión de equipos el rendimiento en general del proceso de mantenimiento se ve afectado considerablemente en todas sus etapas. Esta fase tiene el objetivo de organizar el sistema de mantenimiento a través de herramientas de control y evaluación que permitan depurar las primeras acciones de respuesta rápida ante cualquier eventualidad en los elementos de la subestación.

La tabla 4.11 expone algunas alternativas para diagnosticar y reducir la incertidumbre alrededor del flujo de trabajo en la gestión de mantenimiento a partir de la administración de los equipos de la subestación.

Tabla 4.11- Análisis de la gestión de equipos.

PROBLEMA	CONSECUENCIAS	SOLUCIÓN
<p>BASES DE DATOS DESACTUALIZADAS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de tiempo. • Gastos innecesarios. • Retrabajos 	<ul style="list-style-type: none"> • Recurrir a sistemas informáticos. • Utilizar técnicas de visualización para la identificación de equipos por zonas. • Establecer un programa de revisión de los códigos asignados. • Establecer procedimientos para la creación o supresión de códigos.
<p>CONFUSOS FORMATOS DE CODIFICACIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Errores de ubicación • Pérdida de tiempo • Mala distribución de equipos y herramientas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer códigos sencillos. • Utilizar técnicas de asociación para generar los códigos. • Estandarizar los formatos de codificación.
<p>NIVELES DE CRITICIDAD MAL ASIGNADOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desatención de fallas relevantes. • Planificación de mantenimientos incorrectos. • Elevados costos correctivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Redefinir criterios de evaluación • Jerarquizar los procesos a los que pertenece cada equipo.
<p>DÉBIL ESTRUCTURA DE LOS MODELOS DE MANTENIMIENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prolongación de las fallas. • Retrabajos • Paros innecesarios • Diagnósticos erróneos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar y actualizar las tareas de mantenimiento de acuerdo con el programa del fabricante. • Crear un equipo multidisciplinario para evaluar cada estructura.

FASE II GESTIÓN DE REPUESTOS

En esta fase se propone aplicar una metodología de mejoramiento continuo que establezca un plan de actividades en conjunto con políticas administrativas eficientes para obtener un lugar de trabajo mejor organizado, más ordenado y más limpio de forma permanente para lograr una mayor productividad y un mejor entorno laboral. La figura 4.24 representa un esquema inicial de actividades para el manejo adecuado de un inventario del almacén de repuestos.

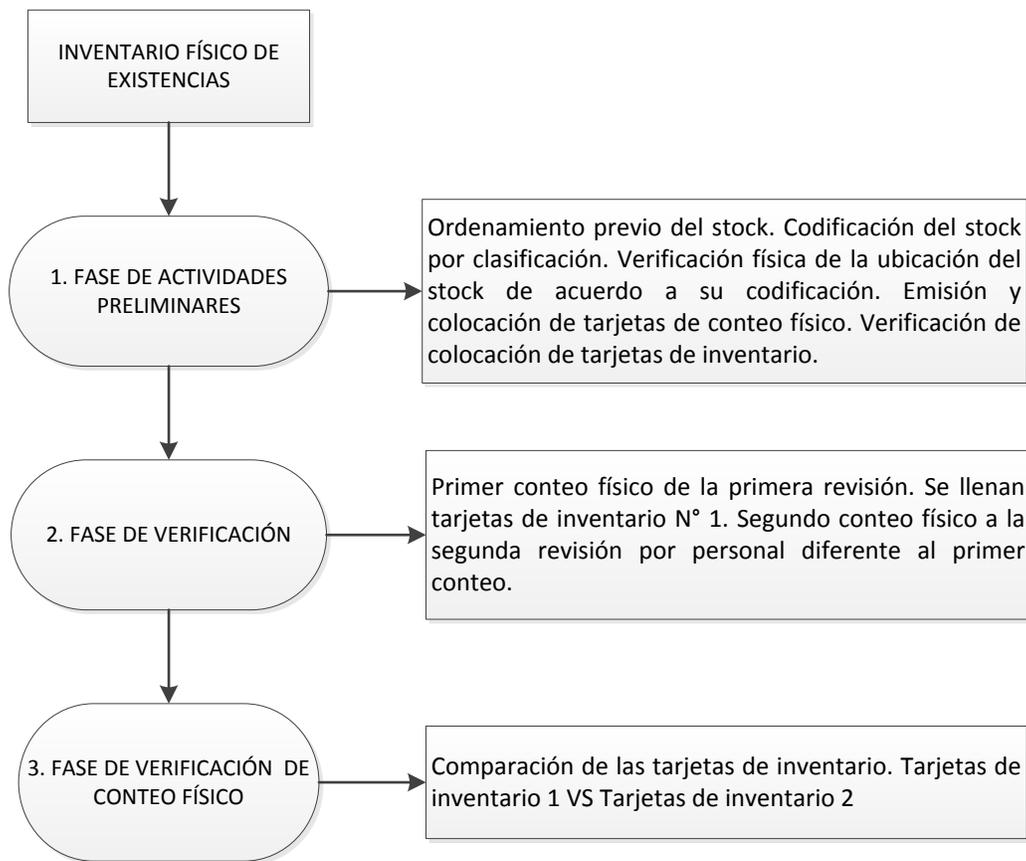


Figura 4.24- Fases para el inventario físico de repuestos.

Fuente: Calderón, J. (2014)



A continuación se describen las políticas de control y mejoras de la gestión de repuesto.

Políticas de pedido

- Se realiza un conteo físico de los productos en stock.
- Se comparan las tarjetas de inventario con los resultados del conteo.
- Se realiza un análisis de criticidad de acuerdo al programa de mantenimiento y al historial de los últimos seis meses de falla.
- Se estandariza el stock mínimo de acuerdo al plan de trabajo a mediano plazo.
- Se realiza el pedido de productos necesarios de acuerdo a los resultados de los ítems anteriores.

Políticas de almacenaje

- Se compara la factura con la mercancía recibida y la orden emitida a compras.
- Se revisa cuidadosamente cada producto verificando estado, características, procedencia, fechas, sellos, firmas, garantías, precintos, funcionamiento mecánico y eléctrico de ser posible.
- Se confirma y documenta la información de recepción.
- Se ordena y almacena según su característica, función y posición dentro de la subestación, o de acuerdo al programa de mantenimiento al que este sujeto.
- Se recuenta el stock final y se actualizan las tarjetas de inventario.

Políticas de control

Clasificar para diferenciar el material útil del que no es necesario mantener en stock por diferentes motivos como la salida de dispositivos por obsolescencia o cambios de tecnología. Para ello se hace uso de la clasificación a través de etiquetas que permitan la clasificación de materiales.



- **Etiqueta roja:** Para identificar material de posible desecho.
- **Etiqueta amarilla:** Para identificar material obsoleto o reutilizable en otras actividades para las que no fue adquirido.
- **Etiqueta verde:** Para identificar material en uso y en buen estado.

Ordenar los repuestos de una forma óptima para minimizar el tiempo de búsqueda al momento en el que sean solicitados. Esta organización se realiza en función del nivel de criticidad de cada área de la subestación o del programa de mantenimiento a corto o mediano plazo al que estén sujetos los materiales.

Limpiar para eliminar bolsas, cajas y elementos que puedan ser desechados como basura. Esta acción debe realizarse semanalmente e incluye la limpieza de estantes, racks, escritorios, pisos y todos aquellos elementos que tiendan a acumular polvo o suciedad.

Estandarizar y crear procedimiento o instrumentos que sirvan de guía y permitan mantener los logros alcanzados por las tres primeras etapas del proceso de mejora continua. A continuación se muestran tres listas de chequeo que permiten mantener un estándar de las tres primeras etapas de las políticas de control.

Tabla 4.12- Lista de chequeos para mantener la clasificación del almacén.

Descripción		Estado (√)
1	Estado de etiquetas	
2	Asignación correcta de etiquetas	
3	Elementos innecesarios identificados	
4	Distribución correcta de repuestos	

Tabla 4.13- Lista de chequeos para mantener el orden del almacén.

Descripción		Estado (√)
1	Ubicación de repuestos	
2	Ubicación de herramientas	
3	Ubicación por equipos	
4	Ubicación por área	

Tabla 4.14- Lista de chequeos para mantener la limpieza del almacén.

Descripción		Estado (√)
1	Estado del piso	
2	Implementos	
3	Estado de racks	
4	Estado de estantes	

Disciplinar con el apoyo de charlas y jornadas para impulsar el programa motivando el compromiso de todos los involucrados en la gestión de administración del almacén de repuestos, haciendo hincapié en los beneficios de la implementación de la metodología con resultados visibles y cuantificables que acentúen los alcances de los objetivos planteados en un principio.



FASE III GESTIÓN DE INFORMACIÓN

Todo proceso de mantenimiento así como su sistema de información sobre el que se apoya deben constituir un sistema coherente que permita la toma, en el momento adecuado, de decisiones convenientes que permitan alcanzar el objetivo pretendido, por lo tanto, para el diseño del sistema de información se deben tener en cuenta los siguientes criterios que minimicen los efectos asociados a esta sección del mantenimiento, tal como fueron señalados en la figura 4.24 (registro parcial de actividades, sistemas de archivos sin configuración, líneas de acción ambiguas, programas de capacitación distantes a nuevas tecnologías, programas de mantenimientos no documentados, perfiles profesionales no establecidos).

- Los datos no constituyen en sí mismos información. Son sólo la materia prima para una información útil.
- El exceso de información suele conducir a no prestar atención a la información realmente útil.
- Aunque un dato sea necesario para múltiples finalidades, su captura debe ser única, en la medida posible.
- La información no está destinada al ámbito directivo solamente.
- Cada nivel de decisión, incluidos los más bajos niveles, deben tener acceso al nivel de información compatible con su responsabilidad de decisión.
- La información innecesaria retrasa todos los procesos y puede conllevar a tomar malas decisiones.
- La información útil debe ser lo más veraz posible y verificable rápidamente.
- Utilizar herramientas informáticas que hagan el proceso de captura, almacenaje y búsqueda de información más sencillo.



En base a lo anterior, la gestión de información del sistema integral de gestión de mantenimiento para la subestación compacta contempla los siguientes puntos:

- A. Documentación de la información técnica de mantenimiento:** a través de ficheros, formatos u hojas de vida del equipo recopilar y agrupar la información técnica del mismo como repuestos, herramientas y servicios que intervienen el mantenimiento del mismo, procurando detallar ubicación, número de matrícula, código o referencia, manuales, características, planos, teléfonos, proveedores entre otros.

- B. Documentación del sistema de mantenimiento correctivo:** el criterio en este aspecto es la organización de documentos como órdenes de trabajo, programa diario de trabajo, solicitudes de pedido, requisiciones de compras, historial de fallas, personal involucrado, informes de evaluación entre otros. Naturalmente previo a esto es necesario un adecuado estudio de la información que se recogerá en estos documentos y el establecimiento de las normas, procedimientos y circuitos de funcionamiento de la línea ejecutiva de mantenimiento.

- C. Documentación del sistema de mantenimiento preventivo/predictivo:** este aspecto de la gestión quizás llega a ser uno de los pilares fundamentales dentro de la estructura de todo sistema de mantenimiento, sobre él reposa la responsabilidad del continuo y eficiente funcionamiento de la subestación y todos los dispositivos que en ella trabajan. La información que almacena está vinculada a todo el proceso de puesta a punto, calibración, verificación, validación, técnicas, instrumentos y protocolos de trabajos. Dentro de esta documentación encontramos análisis de diagnósticos, hojas de inventarios, registro de fallas, planes de trabajo, técnicas, herramientas y equipos necesarios, programas de mantenimiento, frecuencia de inspecciones, valores estandarizados entre otros.



D. Documentación del sistema de paradas programadas: Este aspecto contempla la documentación de calendarios de paradas programadas con fecha y hora previstas para el paro y puesta en marcha. Relación de las tareas de mantenimiento preventivo a realizar en la parada, personal, requerimientos, permisología y demás. En esta documentación debe verse reflejado los trabajos pendientes a realizar, revisiones y solicitudes previamente planificadas y no ejecutadas.

E. Documentación del sistema de seguimiento y control de la gestión del mantenimiento: esta parte de la gestión de información involucra un control sistemático de los programas de mantenimiento y un seguimiento a solicitudes de trabajos.

- **Control sistemático de los programas de mantenimiento:** se realiza a través de controles técnicos, control de horas/hombre, control de cargas de trabajo, control de ABC de trabajos más importantes, control de trabajos pendientes, control de averías y causas, control de equipos con averías repetitivas, controles económicos, resumen control de costos comparado con presupuesto entre otros.
- **Seguimiento a solicitudes de trabajos:** se lleva a cabo mediante consultas a fichas técnicas, consultas a fichas históricas, listados de trabajos pendientes, listados de trabajos terminados, consulta de repuestos, consulta de presupuesto a priori y proyecciones.

F. Interfaces con otras aplicaciones cuando se hace uso de herramientas informáticas: Cuando se cuenta con un software para la administración de la gestión de mantenidito, lo que resulta una novedosa y práctica herramienta para hacer el trabajo, es conveniente mantener vinculadas las diferentes bases de datos con las que se trabaja, esto es, que todo trabajo y los materiales involucrados en él se vean reflejados en la contabilidad del almacén, de compras y del mismo programa de mantenimiento.

FASE IV GESTIÓN DE CONTROL

Para establecer la metodología que permita hacer auditorías a programas de mantenimiento, se realizaron consultas bibliográficas y se tomaron elementos en común con otro tipo de auditorías que se han desarrollado desde hace muchos años, tal es el caso de auditorías energéticas y auditorías de calidad.

A continuación se presentan en la figura 4.25 los principales aspectos propuestos para la ejecución de una auditoría al programa de mantenimiento de la subestación:

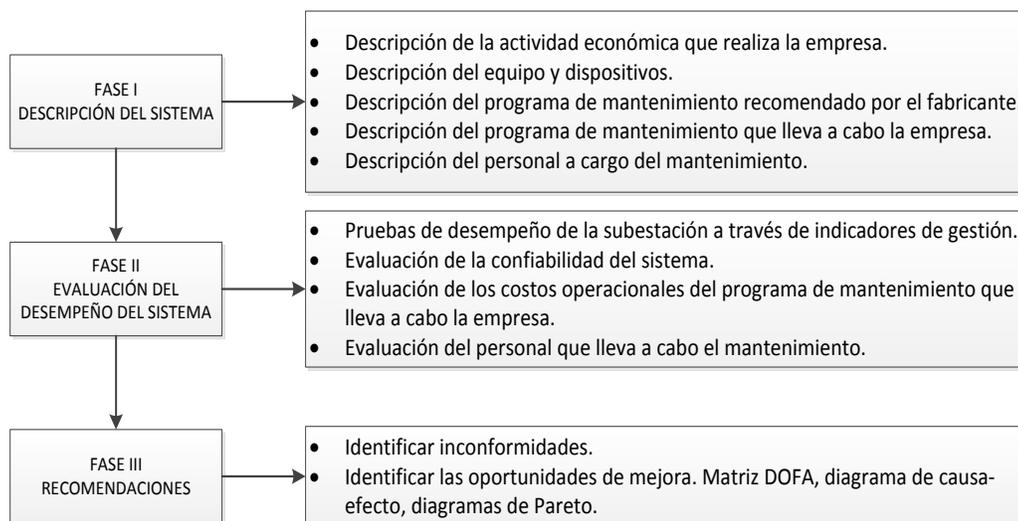


Figura 4.25- Descripción del proceso de auditoría de programas de mantenimiento.

Fuente: Calderón, J. (2014)

El objetivo de la primera fase es describir de manera precisa el sistema objeto de la auditoría.

Para aplicar la metodología propuesta para auditar programas de mantenimiento es necesario contar con los instrumentos especializados que permitan realizar las pruebas de desempeño de los equipos que son objeto del programa de mantenimiento. Para cada



programa se requieren instrumentos de diferente naturaleza. Adicionalmente se requiere contar con software estadístico especializado como Excel, MiniTab, Arena entre otros.

La metodología está diseñada para que la realicen personas con experiencia en mantenimiento, aplicación de la estadística básica y en el proceso donde se aplica el programa de mantenimiento a auditar. Para asegurar el éxito de la auditoria, es indispensable contar con la iniciativa y entusiasmo de la cabeza de la empresa donde se va a realizar la auditoria. Adicionalmente es necesario contar con el apoyo incondicional de las personas encargadas del manejo de la información, pues los análisis de confiabilidad dependen de la información disponible.

4.3- Fase 3: Estudio técnico económico del programa de gestión de mantenimiento en base al caso de estudio.

4.3.1- Descripción de la situación del mercado de mantenimiento.

El mercado de mantenimiento en Venezuela en lo que se refiere a subestaciones eléctricas compactas es bastante amplio, la existencia de personal capacitado que pueda realizar las labores pertinentes a cada tarea hace posible la realización del mantenimiento, adicional a esto, el adiestramiento y la capacitación de personal también es factible, tanto en el aspecto técnico como en el de seguridad laboral.

Las herramientas, equipos y materiales a emplear se pueden obtener en cualquier tienda especializada en el ramo eléctrico, existiendo una gran variedad de modelos y opciones avanzadas para facilitar la utilización de estos. En cuanto a los equipos de protección personal existen en el país un sin número de marcas y modelos de cada uno de los que se deben emplear.

En lo que concierne al mantenimiento por una fuente externa, en el país se encuentran una gran variedad de empresas dedicadas a esta labor, por lo que al momento de tener que



considerar esta opción, la propuesta resulta factible, teniendo en cuenta que esto genera un gasto adicional ya planificado.

4.3.2- Estudio técnico del mantenimiento para establecer un plan económico.

Los equipos a emplear en la gestión de mantenimiento deben contar con suministro de baterías, ya que éstas deben ser reemplazadas una vez consumidas, para evitar que se sulfaten dentro del equipo y se genere algún daño a este, por otro lado los equipos tienen un período largo de duración si se emplean adecuadamente y se protegen de la humedad, estos tienen una vida útil de 6 a 8 años aproximadamente.

Las herramientas poseen una vida útil mayor a la de los equipos, varía entre 12 y 15 años de acuerdo al uso y cuidado de las mismas, se debe tener en cuenta que deben tener una ubicación en una caja o en su estuche para evitar el extravío de las mismas.

En cuanto a los equipos de protección personal, sus tiempos de vida útil varían en función del fabricante, los cascos deben ser reemplazados cuando sufran golpes o deformaciones que pongan en riesgo la integridad del trabajador o cada 3 años, los guantes deben reemplazarse cada año o antes si han sufrido algún daño, los lentes de seguridad poseen una vida útil de 5 años en promedio, su reemplazo anterior a esto se realiza si se opacan, interfieren con la visión o se rompen, las botas de seguridad cuentan con 1 año de vida útil, los respiradores descartables deben proporcionarse al momento de realizar la inspección diaria al igual que al realizar el mantenimiento general, por lo tanto su vida útil es de un día.

4.3.3- Evaluar la relación costo beneficio de las diferentes alternativas de mantenimiento.

En lo referente al costo se debe comparar el costo de realizar el trabajo por el departamento de mantenimiento de la Torre Stratos versus el realizarlo por una empresa externa, para esto



se debe tomar en cuenta que el recurso humano está disponible ya que es empleado para realizar cualquier labor en lo referente a electricidad en toda la torre.

En lo que se refiere a la realización del programa de mantenimiento por una empresa externa genera un costo de **293.987,90 Bs.** El presupuesto se especifica en los anexos “15.A” al “15.D” los cuales fueron suministrados por la empresa Electrosol C.A. Los costos generados por la realización del mantenimiento por parte del personal del departamento de mantenimiento de la Torre Stratos son estimados en:

- **Costos por Recurso Humano**

El personal a emplear en el mantenimiento de la subestación realizaría el mantenimiento durante tres fines de semana para lo cual se le debe cancelar honorarios de bonos por horas extras, estos se pueden englobar de la siguiente manera, como se especifica en la tabla 4.15.

Tabla 4.15- Costos por Recursos Humanos

Personal	Salario Mensual (Bs.)	Salario Diario (Bs.)	Hora Extra (Bs.)	Horas a Trabajar	Total Salario (Bs.)	Nº de trabajadores	Total costo (Bs.)
Jefe De Departamento	12.000	400	75	48	3.600	1	3.600
Supervisor De Operaciones	12.000	400	75	48	3.600	1	3.600
Supervisor De Seguridad	12.000	400	75	48	3.600	1	3.600
Técnicos	8.000	266,67	50	48	2.400	3	7.200
Total Costo							18.000

- **Costo de herramientas, materiales y equipos**

Estas herramientas, materiales y equipo fueron descritos en el punto 4.2.2 en donde se especifican cuáles deben ser las características de cada uno de los elementos a tomar en



cuenta para que la gestión de mantenimiento surja como una alternativa viable, no solamente en base a costos sino que también en cuanto a nivel de calidad. Estos costos son especificados en la tabla 4.16

Tabla 4.16- Costo de herramientas, materiales y equipos

Equipo	Costo (Bs)
Megóhmetro	5.000
Telurómetro	11.000
TTR trifásico	40.000
Torquímetro	3.000
Óhmetro o Micróhmetro	22.000
Medidor de Factor de Potencia	5.300
Herramientas	
Juego de llaves	2.600
Dielectrol	4.800
Thinner	2.000
Gasolina	50
Pinzas.	2.000
Rache y Juego de Dados	1.000
Llaves ajustables	600
Equipo de protección personal:	
Casco (6)	6.000
Calzado (6)	18.000
Lentes (6)	1.200
Guantes (3)	1.800
Respiradores descartables (caja)	1.100
Total Costo	127.450



Nota: Los costos fueron estimados a una tasa preferencial de SICAD I. Datos consultados en línea www.pce-instruments.com www.megger.com y www.mercadolibre.com.ve

- **Costo total de la propuesta**

El costo de la propuesta es la suma del costo por recurso humano más el costo por la adquisición de herramientas y equipos, lo que genera un total de **145.450 Bs.**

4.3.4- Seleccionar la mejor alternativa a corto y largo plazo por medio de métodos específicos.

Para seleccionar la mejor alternativa se debe tomar en cuenta varios aspectos; en primer lugar la disponibilidad de realizar el trabajo en el momento que se requiera, seguidamente el control diario de las condiciones de la subestación, luego la respuesta ante una falla posterior a la realización del mantenimiento y finalmente la parte económica, la cual es la más importante.

- **Disponibilidad para realizar el trabajo:** al solicitar la realización del trabajo por medio de una empresa externa (Out Sourcing) se debe contar con la disponibilidad de la misma, en cambio al ser realizado internamente el mantenimiento es planificado y la disponibilidad de los trabajadores es completamente segura, por lo tanto en este aspecto la mejor alternativa es la realización interna del mantenimiento.
- **Control diario de las condiciones del equipo:** el estado y condiciones de la subestación diariamente será monitoreado y supervisado por el equipo de mantenimiento existente, sin embargo si el mantenimiento lo realiza una empresa externa no tendrá el conocimiento de la situación en la que se encuentran todos los equipos a realizarle el mantenimiento, por lo tanto es posible que la empresa se encuentre con algunos desperfectos no estipulados en el contrato y su costo



aumente, por esta razón es más factible la realización del mantenimiento de manera interna.

- **Respuesta ante una falla posterior a la realización del mantenimiento:** al generarse alguna falla en la subestación, el equipo de mantenimiento se ocupará de chequear el estado y reparar el desperfecto existente, por otro lado una empresa externa tardaría en realizar dicho procedimiento para cubrir con la garantía del trabajo realizado, es por esto que la alternativa de realización del mantenimiento por parte de los trabajadores del departamento de mantenimiento es en mayor proporción la mejor alternativa a tomar en cuenta.

Económicamente la propuesta genera un costo de **145.450 Bs.** aproximadamente y la realización del trabajo por una empresa externa es de **329.266,44 Bs.** observándose una diferencia de grandes magnitudes entre las dos alternativas y entre las cuales la de mayor conveniencia es la de realizar el mantenimiento por parte de los trabajadores de la Torre Stratos.

4.3.5- Análisis de factibilidad del sistema de mantenimiento.

Técnica: los elementos técnicos necesarios para la puesta en marcha de la propuesta son de fácil adquisición así como el adiestramiento del personal instructor de las sesiones de seguridad, por lo que es factible en cuanto a los requerimientos técnicos.

Económica: Debido al bajo costo que acarrea la propuesta se concluye que la misma es factible económicamente, en otro aspecto los gastos generados por la adquisición de las herramientas solo se harían inicialmente, y estas poseen una vida útil de más de 5 años por lo que los costos disminuirían.

Humana: El personal necesario para la realización del mantenimiento se encuentra laborando en las instalaciones de la Torre Stratos por lo que humanamente es factible.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los capítulos anteriores hemos planteado, recopilado, analizado y descrito las etapas que conforman cada fase del proyecto en miras de alcanzar un claro panorama que permita dar respuesta a las interrogantes planteadas en un principio y una metodología que cubra la idea general del trabajo, por lo que las conclusiones que se exponen a continuación son el resultado de hasta qué punto fueron viables cada una de ellas. Seguidamente se presentan las recomendaciones generales de la investigación.

5.1- CONCLUSIONES

Uno de los principales objetivos que perseguía el trabajo era el de recabar la información necesaria que permitiera estimar los costos de implantación de un sistema de mantenimiento de subestaciones compactas dentro de una empresa en particular, bien sea privada o no, y compararlos con los costos generados por la contratación de un tercero para dichos trabajos, teniendo en cuenta que estos trabajos sólo contemplan pruebas y análisis de rutina, cualquier otra prueba tipo especial quedó fuera del estudio.

Para ello se partió del diseño conceptual del plan de trabajo para el mantenimiento de la subestación, esto incluyó los procedimientos, pruebas y análisis de rutina, protocolos de seguridad, equipos y herramientas, personal y demás elementos significativos dentro de la gestión integral.

En una primera fase se logran identificar aquellos elementos que se consideraron importantes para la creación de un modelo integral de mantenimiento aplicable a la subestación eléctrica compacta del edificio profesional “Torre Stratos”. La tabla 5.1 resume estos elementos.

**Tabla 5.1-** Elementos que intervienen en el proceso de mantenimiento planteado

RECURSO	ELEMENTOS	APORTES AL PROGRAMA
Físico	EQUIPOS	- Genera orden y limpieza. - Minimiza tiempos de trabajos.
	ALMACÉN / REPUESTOS	- Reduce gastos de compras. - Mejora la planificación.
Informativo	FORMATOS DE REGISTRO	- Garantiza la disponibilidad e integridad de la información.
	FORMATOS DE CONTROL	- Exactitud en los pronósticos de mantenimiento.
	LISTAS DE CHEQUEO	
Humano	JEFE DEL DEPARTAMENTO	- Ejecuta, controla, supervisa y gerencia todas las etapas del proceso de mantenimiento de la subestación.
	SUPERVISOR DE OPERACIONES	
	SUPERVISOR DE SEGURIDAD	
	TÉCNICO ELECTRICISTA	
Técnico	SUBESTACIÓN COMPACTA MARCA EATON CULTER HAMMER	- Analiza, estudia y pone a prueba las condiciones eléctricas, mecánicas y de seguridad de los componentes de la subestación antes y después de un ciclo de trabajo para garantizar el óptimo y eficiente funcionamiento de la misma.
	UNIDAD DE ALTA TENSIÓN: MANTENIMIENTOS Y PRUEBAS	
	UNIDAD O MÓDULO DE TRANSFORMACIÓN: MANTENIMIENTOS Y PRUEBAS	



UNIDAD DE BAJA TENSIÓN: MANTENIMIENTOS Y PRUEBAS	
SISTEMA DE PUESTA A TIERRA: MANTENIMIENTOS Y PRUEBAS	
APARTARRAYOS: MANTENIMIENTOS Y PRUEBAS	

Posteriormente, una vez identificados y definidos los elementos que constituirían las bases de nuestro plan de mantenimiento integral se estructuró una estrategia que permitiera administrar y gerenciar el entorno de los trabajos de mantenimiento en la subestación basándonos en el análisis, la identificación, la evaluación y la auditoría de todo el sistema con el fin de optimizar su programación y su planificación.

Para establecer canales de comunicación permanentes entre los diferentes niveles del proceso estratégico de mantenimiento y la ejecución de los trabajos se hizo necesario recurrir a un marco metodológico que implantara los puentes de información entre ellos, cosa que se logró a través de cuatro fases, las cuales son: la fase de gestión de equipos, la fase de gestión de repuestos, la fase de gestión de información y la fase de gestión de control, cada una de ellas ofrecieron una herramienta y un instrumento eficaz para la integración de los dos niveles de trabajo.

Finalmente habiendo integrado todos los elementos que se consideraron parte del modelo planteado, se realizó un análisis técnico económico para estimar la viabilidad de la propuesta desde ambas perspectivas. En primer lugar y desde un punto de vista técnico-



humano, la realización del proyecto es totalmente factible por contarse con los recursos para tal fin pero desde el punto de vista económico resulta ser un poco más complejo el análisis. Ciertamente, al comparar la estimación de costos con el presupuesto presentado por una compañía de servicio, la opción más económica para la administración del edificio profesional Torre Stratos resulta ser la planteada en el proyecto, pero si se analiza la inversión a largo plazo surge la controversia sobre la utilidad de los equipos adquiridos y los gastos por mantener un departamento cuya frecuencia de trabajo sería considerablemente baja a lo largo de los años de servicio de la subestación. El estudio pasa a ser entonces un estudio macro económico que consideraría variables político económicas que se encuentran fuera de los límites del presente proyecto, sin embargo, en un primer plano este análisis podría seguir sugiriendo como mejor opción la propuesta del proyecto al considerarse el incremento de costos de servicios versus a la casi nula depreciación que sufrirían los equipos adquiridos, lo que respalda en su totalidad la factibilidad del proyecto.

5.2- RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones a las acciones y proyectos futuros está:

- Considerar variables macro económicas de mercado y el efecto de sus proyecciones sobre la estimación de los costos de mantenimiento
- Utilizar un software profesional para control y administración del mantenimiento como lo es el MP.
- Implementar el plan de mantenimiento integral en subestaciones eléctricas compactas ya operativas en pequeñas y medianas industrias.
- Incluir otras técnicas de análisis y pruebas que otorguen un mejor diagnóstico de las condiciones eléctricas y mecánicas de los equipos.



- Desarrollar el plan de mantenimiento integral sobre las bases de nuevas filosofías de mantenimiento como BENCHMARKING y Mantenimiento de Clase Mundial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1].- Enríquez Harper, G (2005). *“Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas”*. Segunda Edición. Editorial Limusa. México D.F.
- [2].- Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2006). *“Curso Virtual de Redes Eléctricas”*. [Consulta: 2013, Julio 21]. Página web en línea disponible: <http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas/indexini.php>
- [3].- Enríquez Harper, G. (2005). *“Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión”*. [Libro en línea]. Publicación de Google Book. Editorial Internacional en línea Limusa. México, D.F. [Consulta: 2013, Agosto 29]. Página web en línea disponible: <http://books.google.es/books?hl=en&lr=&id=XsPF5VLPKcC&oi=fnd&pg=PA17&dq=fusibles%2Bcuchillas%2Baisladores%2Bportafusibles&ots=yvew9PHCUe&sig=uqUo51np06g4kW2GQLNya8FgLoY#v=onepage&q&f=false>
- [4].- Fitzgerald, A. y otros (2004). *“Maquinas Eléctricas”*. Sexta Edición. Editorial Mc. Graw Hill. México D.F.
- [5].- Chapman, S (2005). *“Maquinas Eléctricas”*. Cuarta Edición. Editorial Mc. Graw Hill. México D.F.
- [6].- WEG Industries (2010). *“Catálogo de Transformadores Tipo Encapsulado. Versión en Español”*. [Consulta: 2013, Junio 21]. Página web en línea disponible: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-transformador-tipo-encapsulado-catalogo-espanol.pdf>



[7].- Duffuaa, S y otros (2010). “*Sistemas de Mantenimiento. Planeación y Control*”. Edición 2010. Editorial Limusa. México D.F.

[8].- García G., Santiago (2003). “*Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*”. Primera Edición. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España.

[9].- COVENIN 3049-93 (2003). “*Del Mantenimiento y sus definiciones*”. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

[10].- Rivera Rubio, E. M. (2011). “*Sistema de Gestión del Mantenimiento Industrial*”. [Texto en línea]. Trabajo de grado publicado. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Facultad de Ingeniería Industrial. E. A. P. DE INGENIERÍA INDUSTRIAL. Lima, Perú. [Consulta: 2013, Septiembre 11]. Página web en línea disponible: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/1661/1/rivera_re.pdf

[11].- Smith, A. (1993). “*Reliability Centered Maintenance*”. Edición 2003. Editorial Mc. Graw Hill. Nueva York. EE.UU.

[12].- IEC 61330 (1995). “*High-Voltage/Low-Voltage Prefabricated Substations*”. International Electrotechnical Commission.

[13].- IEEE 80-2013 (2013). “*Approved Draft Guide for Safety in AC Substation Grounding*”. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

[14].- IEEE 4-2002 (2002). “*Standard Techniques for High-Voltage Testing*”. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

[15].- Sapag Chain, N. (2007). “*Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación*”. Primera Edición. Editorial Prentice Hall. México D.F.



-
- [16].- Hernández, R y otros (2003), *“Metodología de la Investigación”*. Tercera Edición. Editorial Mc. Graw Hill. México D.F.
- [17].- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2001). *“Manual de Trabajos Especial de Grado y Maestrías y Tesis Doctorales”*. Caracas, Venezuela.
- [18].- Tamayo, M. (2003). *“El Proceso de la Investigación Científica”*. Cuarta Edición. Editorial Noriega Editores. México D.F.
- [19].- COVENIN 2237-89 (1989). *“Ropa, Equipos y Dispositivos de Protección Personal”*. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.
- [20].- COVENIN 3113-94 (1994). *“Seguridad en el Mantenimiento de Subestaciones Eléctricas”*. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.
- [21].- COVENIN 2500-93 (1993). *“Manual para Evaluar los Sistemas de Mantenimiento en la Industria”*. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.



Anexo 1- Formato para el registro de inspecciones visuales generales.

	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	N° de Inspección: _____ Frecuencia de la inspección: Semanal				
	GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>					
<h2 style="margin: 0;">CONTROL DE INSPECCIÓN VISUAL</h2>						
Fecha	Responsable	Unidad de Alta Tensión	Unidad del Transformador	Unidad de Baja Tensión	Sistema de Aterramiento	Apartarrayos

Letra	Significado	Estado
G	Grave. - Significa un estado de avería del equipo mostrado en el exterior, que implicará la programación de un mantenimiento correctivo.	Cimientos quebrados, falta de perfiles o pernos de gabinetes, conexión a tierra suelta, cables sueltos (no aislados), manchas graves de aceite, porcelanas seriamente dañadas, rotas o fogoneadas, conductores sueltos o hebras rotas, iluminación fuera de servicio, falta de fusibles, presencia de humedad, daños en manómetros y medidores de temperatura, radiadores del tanque de transformador rotos
L	Leve. - El daño es menor, avería menor que puede efectuarse cuando se efectúe el mantenimiento programado	Leve daño en porcelanas, polvo en el mando, aisladores rajados, manchas leves de aceite o de óxido, polvo en las porcelanas, falta de señalización de seguridad, el patio no está limpio, visores de aceite sucios



S	Sin Novedad.- Significa que equipo está en buen estado, visto exteriormente, indica la ausencia de los casos anteriormente señalados.	
----------	--	--

Anexo 2- Formato para la descripción de fallas por sección o dispositivo.

	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____
GERENCIA DE MANTENIMEINTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>		
Responsable: _____ Fecha: _____ Dispositivo/Sección _____ _____ <div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;"> FALLAS ENCONTRADAS EN LA INSPECCIÓN VISUAL </div> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		



<p>Observaciones:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; width: 80%; margin: auto;"> <p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">SELLO</p> <p>Firma: _____</p> </div>
---	---

Anexo 3- Formato para la descripción de fallas durante las actividades preliminares.

	<p>EDIFICIO PROFESIONAL</p> <p><i>Torre Stratos</i></p>	<p>Registro N°: _____</p> <p>Orden de trabajo: _____</p> <p>Frecuencia de evaluación: _____</p>
<p>GERENCIA DE MANTENIMEINTO Y PROYECTO</p> <p><i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i></p>		
<p>Responsable: _____</p> <p>Dispositivo/Sección _____</p>	<p>Fecha: _____</p>	
<p>FALLAS ENCONTRADAS EN EL MANTENIMIENTO</p>		



Observaciones: _____	SELLO Firma: _____

Anexo 4- Formato para el cálculo de eficiencia de la subestación.

	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____
	GERENCIA DE MANTENIMEINTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>	
REPORTE DE EVALUACIÓN		



FECHA: _____ **PERÍODO: DESDE:** _____

RESPONSABLE: _____ **HASTA:** _____

DÍAS TOTALES SUPERVISADOS	_____
NÚMERO DE DÍAS CON SÓLO 1 FALLA	_____
NÚMERO DE DÍAS CON MÁS DE 1 FALLA	_____
% DÍAS CON SÓLO 1 FALLA ($\frac{\text{NUMERO DE DIAS CON SOLO 1 FALLA}}{\text{NUMERO DE DIAS SUPERVISADOS}} \times 100\%$)	_____
% DÍAS CON MAS DE 1 FALLA ($\frac{\text{NUMERO DE DIAS CON MAS DE 1 FALLA}}{\text{NUMERO DE DIAS SUPERVISADOS}} \times 100\%$)	_____

Observaciones:

Anexo 5- Formato de evaluación y control de la unidad de alta tensión.

	EDIFICIO PROFESIONAL Torre Stratos	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____
--	---	--



GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO
Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica

Responsable: _____

Fecha: _____

**ESTADO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA UNIDAD DE
ALTA TENSIÓN**

ACTIVIDAD	ESTADO		
	RESULTADOS	OBSERVACIONES	RREFERENCIA
Revisión y limpieza del local			--
Limpieza, engrasado y ajuste de mecanismos de apertura y cierre			--
Revisión y reapriete de conexiones en general			--
Pruebas de operación mecánica de cuchillas de paso.			--
Prueba de resistencia de aislamiento			MANUAL
Prueba de resistencia de contactos			SEGÚN CARACTERÍSTICAS
Medición de resistencia de fusibles limitadores de corriente			SEGÚN CARACTERÍSTICAS



Anexo 6- Formato de registro de condiciones de trabajo del transformador.

	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____																																							
	GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>																																								
Responsable: _____ Fecha: _____																																									
REGISTRO DE DATOS DEL TRANSFORMADOR																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">DATOS DEL TRANSFORMADOR</th> <th style="width: 20%;">VALORES</th> <th style="width: 20%;">OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tensión nominal / Tensión de trabajo del lado primario</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tensión nominal / tensión de trabajo del lado secundario</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Derivaciones del lado primario</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Potencia nominal / Potencia de trabajo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Corriente nominal / Corriente de trabajo del lado primario</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Corriente nominal / Corriente de trabajo del lado secundario</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Frecuencia nominal / Frecuencia de trabajo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Impedancia</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temperatura de trabajo / Temperatura de ambiente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nivel de ruido</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Conexión del lado primario</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Conexión del lado secundario.</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			DATOS DEL TRANSFORMADOR	VALORES	OBSERVACIONES	Tensión nominal / Tensión de trabajo del lado primario			Tensión nominal / tensión de trabajo del lado secundario			Derivaciones del lado primario			Potencia nominal / Potencia de trabajo			Corriente nominal / Corriente de trabajo del lado primario			Corriente nominal / Corriente de trabajo del lado secundario			Frecuencia nominal / Frecuencia de trabajo			Impedancia			Temperatura de trabajo / Temperatura de ambiente			Nivel de ruido			Conexión del lado primario			Conexión del lado secundario.		
DATOS DEL TRANSFORMADOR	VALORES	OBSERVACIONES																																							
Tensión nominal / Tensión de trabajo del lado primario																																									
Tensión nominal / tensión de trabajo del lado secundario																																									
Derivaciones del lado primario																																									
Potencia nominal / Potencia de trabajo																																									
Corriente nominal / Corriente de trabajo del lado primario																																									
Corriente nominal / Corriente de trabajo del lado secundario																																									
Frecuencia nominal / Frecuencia de trabajo																																									
Impedancia																																									
Temperatura de trabajo / Temperatura de ambiente																																									
Nivel de ruido																																									
Conexión del lado primario																																									
Conexión del lado secundario.																																									
Observaciones: _____																																									



Anexo 7- Formato para el registro de resistencias de aislamiento del transformador

	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____
	GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>	

Responsable: _____ Fecha: _____

REGISTRO DE LAS MEDICIONES DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO AL TRANSFORMADOR

PRUEBA	AISLAMIENTO	MIDE	LECTURAS (MΩ)											
			10s	20s	45s	1m	3m	5m	7m	8m	9m	10m		
1	ENTRE DEVANADO DE ALTA Y TIERRA	RH+RHX												
2	ENTRE DEVANADOS	RHX												
3	ENTRE DEVANADO DE BAJA Y TIERRA	RX+RHX												
VALORES DE REFERENCIA														
SEGÚN FABRICANTE			--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



NOTA: LA ESTRUCTURA O SOPORTE DEBEN ESTAR ATERRIZADOS DURANTE TODA LA PRUEBA

OBSERVACIONES:

Anexo 8- Formato para el registro de resistencias de aislamiento del transformador



	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____
	GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>	

Responsable: _____ Fecha: _____

FORMATO DE CONTROL DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO A LA UNIDAD DE TRANSFORMACIÓN

ACTIVIDAD	ESTADO		
	RESULTADOS	OBSERVACIONES	REFERENCIA
Revisión de sensores y controladores de temperatura.			--
Limpieza exterior e interior			--
Pruebas de resistencia al aislamiento.			VER MANUAL DE FABRICANTE
Prueba de relación de transformación.			VER MANUAL DE FABRICANTE
Prueba de resistencia óhmica a devanados			VER MANUAL DE FABRICANTE
Reapriete de conexiones externas en el lado primario y secundario del transformador			--

REVISADO POR:	APROBADO POR:



Anexo 10- Registro de mediciones para pruebas en interruptores

	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____
	GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>	

Realizado por: _____ Fecha: _____

REGISTRO DE MEDICIONES PARA PUEBAS EN INTERRUPTORES

INTERRUPTOR	
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
CONDICIONES DE TRABAJO	
UBICACIÓN	

Prueba de interrupción mecánica

OBSERVACIONES:

Prueba de resistencia de contacto:



POLOS	VALOR ESPERADO	VALOR DE PRUEBA
1		
2		
3		

OBSERVACIONES:

Anexo 11- Reporte del mantenimiento al sistema de puesta a tierra.

	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____
	GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>	

Responsable: _____ Fecha: _____

REPORTE DEL MANTENIMIENTO AL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

CONDICIONES FÍSICAS DE ELECTRODOS Y CONEXIONES:



PRUEBA DE RESISTENCIA

VALOR MEDIDO	VALOR CALCULADO	I DE PRUEBA (A)	DISTANCIA $ XY $	OBSERVACIONES

PRUEBA DE CONTINUIDAD

PUNTO DE MEDICIÓN	VALOR MEDIDO (Ω)	OBSERVACIONES

OBSERVACIONES:

Anexo 12- Formato de registro de la prueba de aislamiento en apartarrayos



EDIFICIO PROFESIONAL
Torre Stratos

Registro N°: _____

Orden de trabajo: _____

Frecuencia de evaluación: _____

GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO
Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica

Responsable: _____

Fecha: _____

REGISTRO DE MEDICIONES DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN APARTARRAYOS

TIPO DE APARTARRAYOS: _____

CARACTERÍSTICAS: _____

VALORES NOMINALES DE TRABAJO: _____

PRUEBA	CONEXIONES		LECTURA	VALOR DE REFERENCIA
	A	B		
1	APARTARRAYOS A	BASE ATERRIZADA		
2	APARTARRAYOS B	BASE ATERRIZADA		
3	APARTARRAYOS C	BASE ATERRIZADA		

Nota: Si la prueba se realiza por etapas especificar el punto de medición

OBSERVACIONES: _____



Anexo 13- Formato de registro de la prueba de F.P en apartarrayos

	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____
	GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>	

Responsable: _____ Fecha: _____

REGISTRO DE MEDICIONES DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA EN APARTARRAYOS

TIPO DE APARTARRAYOS: _____

CARACTERÍSTICAS: _____

VALORES NOMINALES DE TRABAJO: _____

PRUEBA	CONEXIONES		LECTURA (W)	(φ)	VALORES DE REFERENCIA
	A	B			
1	APARTARRAYOS A	BASE ATERRIZADA			
2	APARTARRAYOS B	BASE			



		ATERRIZADA			
3	APARTARRAYOS C	BASE ATERRIZADA			
Nota: Si la prueba se realiza por etapas especificar el punto de medición					

OBSERVACIONES:

Anexo 14- Formato de registro de condiciones finales de apartarrayos

	EDIFICIO PROFESIONAL <i>Torre Stratos</i>	Registro N°: _____ Orden de trabajo: _____ Frecuencia de evaluación: _____
	GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y PROYECTO <i>Gestión de Mantenimiento de la Subestación Eléctrica</i>	
Responsable: _____		Fecha: _____
REPORTE DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EN APARTARRAYOS		
ACTIVIDAD	ESTADO	
	REALIZADO	REVISIÓN DETALLADA

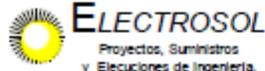


LIMPIEZA A LOS APARTARRAYOS		
PRUEBA DE RESISTENCIA AL AISLAMIENTO		
PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO		

OBSERVACIONES:

REVISADO POR:	APROBADO POR:

Anexo 15.A- Presupuesto de mantenimiento externo. Empresa ELECTROSOL C.A.



Proyectos, Suministros
y Ejecuciones de Ingeniería.
Zona Ind. Carabobo, Prolong. AV: Michelena
Edif. Inés María, Local A., Valencia Edo. Carabobo
Tele-Fax: 0241-8320676/8329926 / Cel.: 0416-6401129
Email: electrosolca@gmail.com
RIF: J-07543889-2

Valencia, 02 de octubre de 2014

Estimados señores:

En relación a su atenta solicitud les estamos presentando nuestra oferta para realizar mantenimiento de subestación compacta marca Eaton Culter Hammer, Modelo Plug & Play Nema 1, Celda de alta tensión, dos Transformadores de potencia sumergidos en aceite, uno de 800 kVA y otro de 300kVA, y las celdas de distribución de 208 V correspondientes al secundario de cada transformador, ubicadas en Valencia Edo. Carabobo.

El requerimiento de mantenimiento se ha previsto según sus especificaciones y contempla básicamente lo siguiente:

1 Mantenimiento General a equipos de Seccionamiento

1.1 Seccionador principal de acometida 13.800 V (01)

- 1.1.1 Desmontaje y limpieza de tapas de las celdas.
- 1.1.2 Revisión general
- 1.1.3 Pruebas de aislamiento entre cada una de las partes requeridas (Medición de resistencia de aislamiento Megger-Test (10 KV) inicial).
- 1.1.4 Limpieza del seccionador con aplicación de solvente dieléctrico de alta rigidez dieléctrica, lubricación del mecanismo de apertura y cierre, ajuste del mecanismo.
- 1.1.5 Medición de la resistencia de contacto usando método Corriente Alterna medición indirecta
- 1.1.6 Ajuste de tomillería.
- 1.1.7 Pruebas mecánicas y eléctricas, pruebas funcionales

2 Medición de Aislamiento a Cables de Potencia (9)

2.1 Inspección y pruebas de aislamiento a cables de potencia (15 KV)

Anexo 15.B- Presupuesto de mantenimiento externo. Empresa ELECTROSOL C.A.



Proyectos, Suministros
y Ejecuciones de Ingeniería.
Zona Ind. Carabobo, Prolong. AV: Michelena
Edif. Inés María, Local A, Valencia Edo. Carabobo
Tele-Fax: 0241-8320676/8329926 / Cel.: 0416-6401129
Email: electrosolca@gmail.com
RIF: J-07543889-2

- 2.1.1 Medición de la resistencia de aislamiento (Megger-Test).
- 2.1.2 Determinación del índice de polarización

3 Mantenimiento General a Transformadores

3.1 Mantenimiento e Inspección a Transformadores de Potencia. (2)

- 3.1.1 Inspección general a los Transformadores de Potencia.
- 3.1.2 Limpieza con solvente dieléctrico de alta rigidez.
- 3.1.3 Pruebas de TTR
- 3.1.4 Medición de la resistencia de aislamiento (Megger-Test).
- 3.1.5 Determinación del índice de polarización
- 3.1.6 **Análisis Físico – Químico del Aceite**
 - 3.1.6.1 Tomas de muestra de aceite en sitio según la norma Fondonorma 3256-2004:
 - 3.1.6.2 Análisis de la muestra en el laboratorio utilizando el método COVENIN:
 - 3.1.6.2.1 Contenido de agua ppm 2879
 - 3.1.6.2.2 Tensión de ruptura KV 1403
 - 3.1.6.2.3 Número de neutralización 3899 Fondonorma 2006
 - 3.1.6.2.4 Factor de potencia 25°C 60 Hz 3832 Fondonorma 2003
 - 3.1.6.2.5 Tensión interfacial dinas/cm 1180
 - 3.1.6.2.6 Gravedad específica a 15°C/15°C 3832 Fondonorma 2006
 - 3.1.6.2.7 Azufre corrosivo en plata 2836
 - 3.1.6.2.8 Viscosidad, cSt a 40°C 3267 Fondonorma 2000
 - 3.1.6.2.9 Punto inflamación °C 3345 Fondonorma 2000
 - 3.1.6.2.10 Color ASTM 3362
 - 3.1.6.2.11 Informe comparativo contra valores estandar
- 3.1.7 **Análisis Cromatografico del Aceite**
 - 3.1.7.1 Captación de muestra de aceite en sitio en jeringa de Vidrio según la norma Fondonorma 3256-2004 y análisis según la norma ASTM D3612-02 Método C, los gases a identificar y cuantificar son los siguientes:
 - 3.1.7.2 Hidrogeno (ppm)
 - 3.1.7.3 Oxigeno (ppm)
 - 3.1.7.4 Nitrógeno (ppm)
 - 3.1.7.5 Metano (ppm)
 - 3.1.7.6 Monóxido de Carbono (ppm)
 - 3.1.7.7 Dióxido de Carbono (ppm)
 - 3.1.7.8 Etileno (ppm)
 - 3.1.7.9 Etano (ppm)
 - 3.1.7.10 Acetileno (ppm)
 - 3.1.7.11 Total de gases combustibles (ppm)
 - 3.1.7.12 Total de contenido de gases (%)

Anexo 15.C- Presupuesto de mantenimiento externo. Empresa ELECTROSOL C.A.



Proyectos, Suministros
y Ejecuciones de Ingeniería.
Zona Ind. Carabobo, Prolong. AV: Michelena
Edif. Inés María, Local A., Valencia Edo. Carabobo
Tele-Fax: 0241-8320676/8329926 / Cel.: 0416-6401129
Email: electrosolca@gmail.com
RIF: J-07543889-2

3.1.7.13 Informe comparativo contra valores estandar

4 Mantenimiento General de Celdas de Baja Tensión

4.1 Mantenimiento a Celdas de baja tensión (1)

- 4.1.1 Desmontaje de tapas de las celdas.
- 4.1.2 Revisión general.
- 4.1.3 Limpieza de los equipos de potencia con aplicación de solvente dieléctrico.
- 4.1.4 Ajuste de tomillería.
- 4.1.5 Pruebas de aislamiento entre cada una de las partes requeridas (Medición de Resistencia de aislamiento Megger-Test).

4.2 Interruptor principal: (1)

- 4.2.1 Limpieza de los interruptores con solvente de alta capacidad dieléctrica.
- 4.2.2 Limpieza técnica de los gabinetes.
- 4.2.3 Pruebas de aislamiento entre cada una de las partes requeridas (Medición de Resistencia de aislamiento Megger-Test).
- 4.2.4 Medición de la resistencia de contacto usando método Corriente Alterna medición indirecta.

5 Limpieza del Recinto.

6 Informe Técnico.

7 Costo de los trabajos

El costo total de los trabajos es por la cantidad de Bs. F. 293.987,90

8 Condiciones

Forma de pago:

Proponemos una forma de pago que incluya un 30 % con la O/C y el resto al finalizar los trabajos (con la entrega del informe) avalados por la inspección designada por Uds.

Tiempo de ejecución:

Anexo 15.D- Presupuesto de mantenimiento externo. Empresa ELECTROSOL C.A.



Proyectos, Suministros
y Ejecuciones de Ingeniería.
Zona Ind. Carabobo, Prolong. AV: Michelena
Edif. Inés María, Local A, Valencia Edo. Carabobo
Tele-Fax: 0241-8320676/8329926 / Cel.: 0416-6401129
Email: electrosolca@gmail.com
RIF: J-07543889-2

Validez:

El tiempo de ejecución se ha estimado en tres fines de semana (Sábados y Domingo) contados a partir de su autorización y/o la OC y de las condiciones físicas para su ejecución.

15 días hábiles contados a partir de la fecha de esta comunicación.

Varios

Los costos son producto de los precios actuales de insumos y de sueldos y salario de nuestros trabajadores.

La oferta no incluye el Impuesto al valor agregado.

Esta oferta está basada en la información obtenida de la solicitud de oferta no contemplándose cualquier daño oculto no señalado. Los costos son producto de los precios actuales del mercado de insumos y de los y salarios de nuestros trabajadores vigentes. Cualquier modificación a los mismos originada por aumentos por parte de nuestros proveedores o por decretos oficiales hará necesaria la revisión de los precios.

Sin más a que hacer referencia de Uds.

Atentamente,

Ing° José del S. Raga M.
VICEPRESIDENTE