

**MODELO DE GESTION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO
PARA LAS SUBESTACIONES DE LA EMPRESA DE ENERGIA DE
CUNDINAMARCA**

MARLON DENNIS RODRIGUEZ LIZCANO

**Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento.**

**Director: José Mauricio Alvarado
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTA
2009**

DEDICATORIA

A mi familia: mi abuelita Belen, que desde el cielo me acompaña, a mi madre Miryan, mis hijos Daniel y Camilo, a Giovana, por su apoyo, amor y comprensión.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	1
1. CARACTERIZACION DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA	9
1.1 ORGANIZACIÓN EMPRESARIAL	10
1.2 Historia	10
1.3 MISION	12
1.4 VISION	12
1.5 INFRAESTRUCUTRA ELECTRICA DE LA EEC EN CUNDINAMARCA	12
1.6 SUBESTACIONES DE LA EEC EN CUNDINAMARCA	13
2. SUBESTACIONES ELECTRICAS Y SU APLICACION	14
2.1 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION	15
2.2 DESCRIPCION DE LAS SUBESTACIONES	15
2.2.1 Sistema de Potencia	19
2.2.2 CONFIGURACION DE LAS SUBESTACIONES	20
2.3 DISPOSICION FISICA DE LAS SUBESTACIONES	22
2.3.1 Equipos de Patio	23
Seccionadores	24
Interruptores de Potencia	24
Transformadores de Tension	24
Transformadores de Corriente	25
Transformadores de Potencia	26
Reconectores	26
Pararrayos	27
Conductores, Barras, asiladores y conectores	27
2.4 SISTEMAS FUNCIONALES EN LAS SUBESTACIONES	27
2.4.1 SISTEMA DE PROTECCIONES	27
2.4.2 SISTEMA DE COMUNICACIONES	28
2.4.3 SISTEMA DE CONTROL	28
2.4.4 SISTEMA DE MEDIDA	29
2.4.5 SISTEMA DE ALARMA Y SEÑALIZACION	30
2.4.6 SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES	30
2.4.7 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	31
2.4.8 BANCOS DE BATERIAS	32
2.5 LAS SUBESTACIONES Y SU CONFIABILIDAD	32
2.5.1 MANTENIMIENTO	34
Calculo de Confiabilidad para seubestaciones (Fallas)	34
Calculo de Mantenibilidad para subestaciones (Reparaciones)	36
Calculo de Disponibilidad para subestaciones	36
2.5.2 ESTRATEGIA DE ATENCION DE FALLAS	37
2.5.3 HABILIDADES Y DESTREZAS DEL PERSONAL DE OPERACION	37
2.6 OPERACIÓN DE SUBESTACIONES ELECTRICAS	38
2.6.1 MANUAL DE OPERACIÓN DE SUBESTACIONES	38

	Consigna operativa	38
	Consigna operativa para equipos primarios	40
	Consigna operativa para equipos soporte	42
3.	GESTION DE MANTENIMIENTO	43
3.1	DEFINICION	43
3.2	MANTENIMIENTO DENTRO DE LA EMPRESA	43
3.3	SUBCONTRATACION DEL MANTENIMIENTO	43
3.4	ORGANIGRAMA	44
3.5	GESTION INTEGRAL AL INTERIOR DEL MANTENIMIENTO	45
3.6	MANTENIMIENTO Y RENTABILIDAD	46
3.7	EVALUACION DE LOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO	46
3.7.1	Fijar los programas de mantenimiento	47
3.7.2	Revelacion de recursos escondidos	47
3.7.3	Evaluación de los resultados de auditoria	47
3.7.4	La Funcion del trabajo de mantenimiento	48
3.7.5	Objetivos del mantenimiento, planificacion y control	49
3.8	TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS EN LA GERENCIA DE MANTENIMIENTO	49
3.8.1	INTRODUCCION	49
3.8.2	Tendencias en el conocimiento de mantenimiento	49
3.8.3	Surgimiento de nuevos metodos de mantenimiento	50
3.9	METODOS E INSTRUMENTOS DE MANTENIMIENTO	50
3.10	MANTENIMIENTO Y CALIDAD	51
3.10.1	LA CALIDAD	51
3.10.2	EL EQUIPO DE TRABAJO	52
	Entrenamiento	53
	El Centro de costos	53
4.	ORIENTACION AL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES	55
4.1	Por que mantener?	56
4.2	MANTENIMIENTO INTEGRADO	57
4.2.1	Produccion y efectividad global de equipos	58
4.2.2	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	59
4.2.3	ACCIONES MODIFICATIVAS	60
4.2.4	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	60
	Codificación	62
	Equipos criticos	63
	Criticidad de factores ponderados basados en el concepto de riesgo	64
4.3	OPERACIONES DE MANTENIMIENTO EN LAS SUBESTACIONES	65
4.3.1	OPERACIONES DE CONTROL	66
4.3.2	OPERACIONES DE REVISION	68
4.3.3	OPERACIONES DE CONSERVACION	69
4.4	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	69
4.4.1	Ventajas del mantenimiento predictivo	70
4.4.2	Desventajas del mantenimiento predictivo	70
4.4.3	Etapas que implementa el mantenimiento predictivo	70
5.	PLAN PROPUESTO	72
5.1	ANALISIS DE LA CONDICION ACTUAL DEL MANTENIMIENTO	72
5.2	PROPUESTA DE MANTENIMIENTO	74
5.3	DESARROLLO DEL PLAN PROPUESTO	76

5.3.1	Estrucutra organizacional del proceso de operación y mantenimiento	76
5.3.2	Funciones del proceso de mantenimiento	77
5.3.3	Administracion de intervenciones	77
5.3.4	Ingenieria del mantenimiento	78
5.4	PLAN ESTRATEGICO DEL DESARROLLO	79
5.5	PROCESO DE MANTENIMIENTO	82
5.6	CODIFICACION DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS	83
5.6.1	Subsistemas	84
5.6.2	Ubicación de los sistemas	84
5.6.3	Codigo del Subsistema	85
5.7	SELECCIÓN DE EQUIPOS CRITICOS	86
5.7.1	DEFINICION DE SISTEMAS Y SUBSISTEMAS	87
5.7.2	Criticidad en sistemas de potencia	88
5.7.3	Criticidad en sistemas de control	88
5.7.4	Criticidad en sistemas de protecciones	88
5.7.5	Criticidad en sistemas de comunicaciones	88
5.7.6	Criticidad en sistemas de medida	89
5.7.7	Criticidad en sistemas de puesta a tierra	89
5.7.8	Criticidad en sistemas de servicios auxiliares	89
5.7.9	Estado de Criticidad en sistemas de potencia	90
5.7.10	Estado de Criticidad en sistemas de control	90
5.7.11	Criticidad en sistemas de protecciones	90
5.7.12	Criticidad en sistemas de comunicaciones	91
5.7.13	Criticidad en sistemas de medida	91
5.7.14	Criticidad en sistemas de puesta a tierra	91
5.7.15	Criticidad en sistemas de servicios auxiliares	92
5.8	PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO	92
5.8.1	PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO PARA SUB DE DISTRIBUCION	89
5.8.2	DESCRIPCION DE LAS TAREAS A REALIZAR	96
	Transformadores de potencia	96
	Interruptores de potencia	99
	Transformadores de corriente	101
	Transformadores de tension	102
	Reconectores	102
	Seccionadores	103
5.8.3	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	104
	Inspeccion Termográfica	104
	Diagnostico de interruptores	105
	Transformadores de potencia	107
	Medida de contaminacion depositada en aisladores	110
	Medida de corriente de fuga en pararrayos Zno	110
	Analisis de aceite aislante	111
	Medidas de ruido y vibración	111
	Medida de aislamiento electrico	111
	Medida de descargas parciales	112
	Medida de resistencia de puesta a tierra	112
6.	ESTRATEGIAS	115
6.1	TERCERIZACION DEL MANTENIMIENTO (OUTSORCING)	115
6.1.1	Perdida de control de costos y de los procesos	116

6.1.2	Que busca rebajar la mano de obra	116
6.1.3	Que es costoso	116
6.1.4	Proceso de selección de proveedores del Outsourcing	118
6.1.5	Metodología para implementar el Outsourcing	120
	Estrategias para lograr mejor utilización de contratación en la función del mantenimiento	121
6.2	SISTEMAS DE INFORMACION CMMS	122
6.3	PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	124
6.3.1	Equipo de protección personal	125
6.3.2	Señalización de subestaciones y barrajes de líneas	126
6.3.3	Equipos de protección contra incendios	129
6.3.4	PROGRAMA DE CONTINGENCIA Y RIESGOS	130
	Análisis de situación de riesgo	131
6.4	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ESTANDARIZADOS PARA DE SUBESTACIONES	135
	CONCLUSIONES	135
	RECOMENDACIONES	137
	ANEXOS	141

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Subestaciones de la EEC en cundinamarca	13
Tabla 2.	Clases y tipos de equipos	63
Tabla 3.	Ejemplo de codificacion de equipos	63
Tabla 4.	Factores ponderados a ser evaluados	64
Tabla 5.	Matriz general de criticidad	65
Tabla 6.	Orientacion al diligenciamiento del formato de inspeccion	67
Tabla 7.	Equipos a tener en cuenta para inspeccion visual	68
Tabla 8.	Lista de equipos de subestaciones	74
Tabla 9.	Ciclos del modelo de gestion de mantenimiento	81
Tabla 10.	Nomenclatura de acuerdo al subsistema a intervenir	84
Tabla 11.	Ubicación y código de las subestaciones	85
Tabla 12.	Numeracion del subsistema	85
Tabla 13.	Sistemas y subsistemas a intervenir	87
Tabla 14.	Factor de criticidad en sistemas de potencia	88
Tabla 15.	Factor de criticidad en sistemas de control	88
Tabla 16.	Factor de criticidad en sistemas de proteccion	88
Tabla 17.	Factor de criticidad en sistemas de comunicaciones	88
Tabla 18.	Factor de criticidad en sistemas de medida	89
Tabla 19.	Factor de criticidad en sistemas de puesta a tierra	89
Tabla 20.	Factor de criticidad en sistemas de servicios auxiliares	89
Tabla 21.	Calculo y estado de criticidad en sistemas de potencia	90
Tabla 22.	Calculo y estado de criticidad en sistemas de control	90
Tabla 23.	Calculo y estado de criticidad en sistemas de proteccion	90
Tabla 24.	Calculo y estado de criticidad en sistemas de comunicaciones	91
Tabla 25.	Calculo y estado de criticidad en sistemas de medida	91
Tabla 26.	Calculo y estado de criticidad en sistemas de puesta a tierra	91
Tabla 27.	Calculo y estado de criticidad en sistemas de servicios auxiliares	93
Tabla 28.	Actividades de inspeccion	93
Tabla 29.	Actividades de control	94
Tabla 30.	Actividades de conservacion	95
Tabla 31.	Rutina de mantenimiento predictivo en interruptores	106
Tabla 32.	Rutina de mantenimiento predictivo en transformadores de potencia	108
Tabla 33.	Rutina de mantenimiento predictivo en seccionadores	110
Tabla 34.	Rutina de mantenimiento predictivo en pararrayos	110
Tabla 35.	Clasifiacion de los proveedores	119
Tabla 36.	Fases para la implementacion del Outsorcing	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de metodología del proyecto	8
Figura 2.	Departamento de cundinamarca	9
Figura 3.	Esquema organizacional	11
Figura 4.	Subestacion Flandes 115/34.5 kV	12
Figura 5.	Esquema del del sistema electrico general	14
Figura 6.	Subestacion tipica municipio de apulo 34.5 kV	16
Figura 7.	Componentes integrales y funcionales de la subestacion	17
Figura 8.	Relacion entre sistema de potencia y confiabilidad	18
Figura 9.	Diagrama de funcionamiento de una subestacion	19
Figura 10.	Funciones del sistema de potencia en subestaciones	20
Figura 11.	Configuracion de las subestaciones de distribucion	21
Figura 12.	Disposicion fisica de las subestaciones	22
Figura 13.	Equipos de patio	23
Figura 14.	Disposicion fisica de equipos de patio	29
Figura 15.	Diagram de sistemas de medida	29
Figura 16.	Diagrama de sistemas de señales y alarmas	30
Figura 17.	Esquemas del sistema de servicios auxiliares	31
Figura 18.	Confiabilidad operacional	33
Figura 19.	Componentes conectados en serie	35
Figura 20.	Componentes conectados en paralelo	35
Figura 21.	Diagrama unifialr de campo de la subestacion Flandes 115 kV	21
Figura 22.	Diagrama de flujo para maniobes en la subestacion Flandes	22
Figura 23.	Curva de costso de paradas y fallas	48
Figura 24.	Concepto del mantenimiento	56
Figura 25.	Mantenimiento integrado	58
Figura 26.	Situaciones de las acciones preventivas	62
Figura 27.	Tareas o acciones preventivas del mantenimiento	62
Figura 28.	Metodos de nomenclatura internacional	63
Figura 29.	Orientacion al mantenimiento de subestaciones	66
Figura 30.	Diagrama de mantenimiento predictivo	71
Figura 31.	Distribucion del mantenimiento	73
Figura 32.	Organigrama de la Direccion de Operación y Mantenimiento	77
Figura 33.	Funciones propias del proceso de mantenimiento	77
Figura 34.	Cadena de valor de la organización del mantenimiento	78
Figura 35.	Actividades de la ingenieria del mantenimiento	78
Figura 36.	Elementos de apoyo en el mantenimiento	79
Figura 37.	Ciclo de tareas del plan estrategico del mantenimiento	80
Figura 38.	Diagrama de sistemas y subsistemas	83
Figura 39.	Esquema de la metodología Outsorcing	121
Figura 40.	Señales de prohibicion	128
Figura 41.	Señales de obligacion	128
Figura 42.	Señales de Advertencia	128
Figura 43.	Flujo de trabajo del mantenimiento	134

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.	Procedimiento para la elaboracion de Hoja de vida de equipos	142
Anexo B.	Procedimiento para la elaboracion de Inventario tecnico	143
Anexo C.	Procedimiento para la elaboracion de Rutinas de mantenimiento	146
Anexo D.	Procedimiento para la elaboracion del programa anual de mantenimiento	149
Anexo E.	Procedimiento para la elaboracion de Solicitudes de mantenimiento	151
Anexo F.	Procedimiento para la elaboracion de Ordenes de trabajo	153
Anexo G.	Procedimiento para la elaboracion de Informe de Actividades del mantenimiento	156
Anexo H.	Procedimiento para la elaboracion de Ficha de Vida de equipos	159

RESUMEN

TITULO: MODELO DE GESTION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO PARA LAS SUBESTACIONES DE LA EMPRESA DE ENERGIA DE CUNDINAMARCA*

AUTOR: MARLON DENNIS RODRIGUEZ LIZCANO**

PALABRAS CLAVES:

Mantenimiento de equipos de subestaciones.
Condición actual del mantenimiento.
Análisis de criticidad.
Gestión de mantenimiento.
Manual de procedimientos.

DESCRIPCION:

La presente monografía está referida al estudio del Modelo de Gestión de Mantenimiento Preventivo y Correctivo en subestaciones de distribución. El estudio está basado en análisis de la condición actual del mantenimiento dentro del proceso de Operación y Mantenimiento, análisis de equipos críticos y el empleo de las herramientas modernas del mantenimiento con las cuales se busca el mejoramiento continuo del proceso que hoy en día se ejecuta a los activos operativos de la empresa.

El primer capítulo hace una reseña histórica de la empresa, su estructura organizacional y la infraestructura eléctrica en el departamento de Cundinamarca.

El segundo y tercer capítulo contiene el marco teórico de la configuración de las subestaciones sus elementos más importantes a intervenir en el mantenimiento preventivo y predictivo, métodos de análisis de confiabilidad y disponibilidad.

El cuarto capítulo de refiere al mantenimiento específico aplicado en subestaciones de distribución, basado en los conceptos teóricos y prácticos recopilados de la información bibliográfica de cada uno de los elementos que componen los sistemas, la operación y los procedimientos para maniobras.

El quinto capítulo describe la propuesta del modelo de gestión el cual contiene la condición actual del mantenimiento, la metodología para la ejecución del mantenimiento preventivo y predictivo con análisis de criticidad de equipos y la programación de las rutinas de mantenimiento.

El sexto capítulo narra las estrategias recomendadas para una ejecución confiable del modelo de mantenimiento propuesto.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: José Mauricio Alvarado, Ingeniero Electricista.

ABSTRACT

TITLE: PREVENT MANTENENCE MODEL FOR THE SUBSTACIONS OF THE ELECTRIC COMPANY OF CUNDINAMARCA *

AUTOR: MARLON DENNIS RODRIGUEZ LIZCANO**

Key words:

Maintenance of equipments of substacions.
Actual conditins of maintenance.
Critical analysis.
Management of maintenance.
Manual of procedure.

Description:

The previous thesis is referee to prevent and corrective Management of maintenance model in substacions of distribution. The studied is about the actual condition of the maintenance inside the operation and maintenance process, equipment critical analysis and the use of maintenance modern tools how which found the improvement of the process.

The first chapter is description of the company, the organizational structure and the electrical infrastructure of the Cundinamarca state.

The second and third chapter has the theoretical configuration of the substacions, the most important elements to involved in prevent and predictive maintenance and the reliability and availability.

The fourth chapter it means of the specific maintenance appliance in substacions of distributions, that is based in theoretical and practical information of the each element's biography how consisting in the system, the operation and maneuvres procedures.

The fifth chapter describe the offer of the management model how which have the actual maintenance, the meth for the execution of prevent and predictive maintenance whit the critical analysis of the equipments and the programming of routines of maintenance.

The sixth chapter relate strategizes recommended for the implementation reliable of the propose management maintenance.

* Thesis

** Ability of Physical-mechanical Engineerings. Specialization in Management of Maintenance, Director: José Mauricio Alvarado, Electrical Engineer.

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación ó monografía pretende ofrecer una opción de mejoramiento a la actual estrategia de mantenimiento desarrollada en la EEC ESP, fundamentada en el concepto del mantenimiento preventivo y predictivo, de forma que se logre optimizar su desarrollo e implementación mediante un adecuado sistema de información.

Los costos de mantenimiento y operación de las empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica han aumentado de una manera rápida con el paso de los últimos años. Existen nuevas técnicas que permiten disminuir y mejorar la confiabilidad y desempeño de las mismas. El mantenimiento busca asegurar el servicio de una empresa de una manera continua, segura y compatible con el medio ambiente. Con el paso del tiempo la llegada de nuevas tecnologías y necesidades se han ido creando herramientas filosóficas que permiten un mejor uso de los recursos de mantenimiento, tales como el Mantenimiento Productivo Total, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y el Análisis Causa Raíz. Estas técnicas permiten enfocar la intención hacia problemas tanto crónicos como esporádicos. El mantenimiento actual esta caracterizado en la búsqueda continua de las tareas que permitan eliminar o minimizar las ocurrencias de fallas y/o disminuir las consecuencias de las mismas. Para lograr esto los diferentes estudios han demostrado un gran poder en identificar tareas potenciales a ejecutar.

En este trabajo se mostrarán algunas técnicas desarrolladas como metodología para implementar procesos de mejoramiento de confiabilidad basados en el análisis de criticidad. Así mismo, este modelo de mantenimiento se ha diseñado como la solución a la práctica del mantenimiento preventivo y predictivo a todas las subestaciones eléctricas de la EEC S.A ESP con el objetivo de detectar y prevenir las fallas en el sistema eléctrico derivadas de los equipos principales y subconjuntos que componen una subestación.

El alcance y objetivos de la monografía es desarrollar un manual de procedimientos para la ejecución del mantenimiento a las subestaciones eléctricas, involucrar al personal encargado de la operación y obtener un control para contratistas.

FORMULACION DEL PROBLEMA

Es de conocimiento general que hoy en día, la energía eléctrica es necesaria para muchos aspectos de la vida diaria, ninguna persona está exenta del uso de la energía eléctrica, de una forma u otra, ya sea en su domicilio o en el trabajo, equipos en funcionamiento, talleres, televisores, oficinas, quirófanos, etc. Esto nos lleva a la conclusión de que el servicio eléctrico debe ser continuo. Hay que tomar en cuenta también que este servicio debe ser prestado en las mejores condiciones de calidad, y hoy en día, existen leyes y sistemas reguladores que velan por el cumplimiento de tales reglamentos por parte de las empresas del sector eléctrico, tanto en lo referido a la continuidad del servicio como a la calidad del mismo. Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), tienen varios componentes y cada uno con características singulares, y éstos forman parte importante de todo el sistema, cumpliendo cada uno con sus funciones específicas, diferentes de los demás componentes, pero importantes para el buen funcionamiento del sistema, tanto en condiciones de calidad como de continuidad de servicio. Uno de estos componentes son las subestaciones, cuya función es la interconectar circuitos entre sí, con las mismas características de potencia, aunque con características diferentes en algunos casos (voltaje y corriente).

Las subestaciones pueden ser de transmisión o de distribución, de alta o de media tensión, y sus componentes, y la disposición de estos, pueden variar de una subestación a otra, pero las características de los componentes siempre serán las mismas, y cada uno tendrá también dentro de la subestación, funciones específicas e importantes a la vez.

Existen en una subestación, interruptores, encargados de unir o abrir circuitos entre sí, transformadores de potencia, encargados de transmitir la potencia de un sistema a otro con las características deseadas de voltaje y corriente, transformadores de medida, que se encargan de medir las características de la señal eléctrica para fines de protección y registro, seccionadores, que unen o separan circuitos, bancos de capacitores, que sirven para compensar la caída de tensión al final de la línea de transmisión, los pararrayos que protegen contra descargas; sólo para mencionar algunos.

Tomando en cuenta que las subestaciones son un componente importante de los sistemas de potencia, además de ser los de mayor costo económico, y que la continuidad del servicio depende en gran parte de ellas; es necesario aplicar a estos sistemas (subestaciones) una adecuada Gestión de Mantenimiento. Esta gestión deberá observar al mantenimiento preventivo, englobando 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, conformando así al Mantenimiento Integrado.

SITUACION EXISTENTE

El mantenimiento de las subestaciones de la EEC S.A ESP actualmente se desarrolla bajo la filosofía del mantenimiento preventivo con deficiencia y correctivo ejecutado en su gran parte por contratistas y una parte por se ejecuta con personal propio de la empresa, la conservación de los activos en las subestaciones presenta un índice considerable de indisponibilidad con niveles de criticidad altos de algunos equipos siendo necesario diseñar la metodología a adoptar para la ejecución de un programa de mantenimiento preventivo – predictivo.

Las continuas fallas generadas en su mayoría por falta de un mantenimiento adecuado y oportuno a las subestaciones son actualmente el problema identificado al interior de la Dirección de Operación y Mantenimiento de la empresa.

La calidad en el suministro de energía debe ser un objetivo fundamental y prioritario de todos los Operadores de Red, más aun si se tiene en cuenta la regulación existente en Colombia sobre los niveles mínimos de los indicadores de calidad del servicio Indicador de Frecuencia Equivalente de las Interrupciones del Servicio (FES) y Indicador de Duración Equivalente de las Interrupciones del Servicio (DES) y las consiguientes compensaciones a los usuarios por el incumplimiento de los mismos. Que conforme a lo establecido en el Artículo 23, Literal n, de la Ley 143 de 1994, corresponde a la Comisión de Regulación de Energía y Gas, “definir y hacer operativos los criterios técnicos de calidad, confiabilidad y seguridad del servicio de energía”;

El mantenimiento programado de los sistemas eléctricos (redes y subestaciones) debe optimizar la disponibilidad de las instalaciones al mínimo costo y está orientado a evitar, reducir y eliminar las fallas y sus consecuencias.

El servicio de energía eléctrica debe ser prestado en las mejores condiciones de calidad, hoy en día, existen leyes y sistemas reguladores que velan por el cumplimiento de tales reglamentos por parte de las empresas del sector eléctrico, tanto en lo referido a la continuidad del servicio como a la calidad del mismo.

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), tienen varios componentes y cada uno con características singulares, y éstos forman parte importante de todo el sistema, cumpliendo cada uno con sus funciones específicas, diferentes de los demás componentes, pero importantes para el buen funcionamiento del sistema, tanto en condiciones de calidad como de continuidad de servicio. Uno de estos componentes son las subestaciones, cuya función es la interconectar circuitos entre sí, con las mismas características de potencia, aunque con características diferentes en algunos casos (voltaje y corriente).

Con el desarrollo de este trabajo, los conocimientos operativos de las subestaciones, se registraron en documentos que contienen: las secuencias de acciones para una determinada operación y mantenimiento en el sitio, las respuestas ante la inoperancia de la mayoría de equipos y las inspecciones necesarias ante las fallas, recogiendo en parte la experiencia necesaria en la operación de equipos. Sin embargo, se requiere mayor cobertura en los conocimientos operativos tanto en condiciones normales como anormales de los sistemas de la subestación.

Por tanto, se plantea en este trabajo la propuesta de un sistema de entrenamiento para la práctica y desarrollo de un mantenimiento seguro y confiable de habilidades necesarias para la aplicación del mantenimiento de equipos y sistema en la operación de subestaciones.

SITUACIÓN DESEADA

La presente investigación espera suministrar una lente, un mapa de teoría del Modelo de Gestión del Mantenimiento Preventivo y Predictivo al interior de la EEC con el cual comprender y optimizar el proceso operativo, no con la creación de un Modelo de Gestión de Mantenimiento sino, mediante la búsqueda de información desde una perspectiva sistémica enfocada a la eficiencia de las subestaciones de distribución eléctrica, en la que la constancia de propósito y la visión de estrategia sean esenciales para alcanzar el éxito en la Gestión del Mantenimiento y con ello el logro de la Excelencia.

Con esto presentar un sistema de conocimiento, que sirva de base para juzgar decisiones y transformar la Gestión del Mantenimiento de acuerdo a las necesidades y expectativas propias de la empresa las cuales van encaminadas al cumplimiento de los estándares de la política de calidad fijadas por la empresa, es decir, una guía de principios generales que permitan adaptar esta función sobre la base de las estrategias demandas por el negocio.

JUSTIFICACION

El propósito del estudio, es ofrecer una visión de la estructura y de los aspectos de funcionamiento de los elementos determinantes, concurrentes e influyentes en la Gestión del Mantenimiento, para dar respuesta a la problemática que actualmente se observa, mediante el reenfoque de los conceptos que se manejan en dicha función, y con ello resolver y mejorar con efectividad los cambios que se susciten en el entorno del proceso operativo, donde se desarrolla la Gestión del Mantenimiento.

Este estudio responde a la necesidad de poseer información más detallada que permita una comprensión adecuada de la Gestión del Mantenimiento en pro de conseguir soluciones oportunas a los problemas (resultados no deseados) que se presenten; contribuyendo a aportar nuevos antecedentes para comprender mejor los problemas teóricos y solucionar problemas prácticos referidos a la materia. Además vale la pena destacar que es un tema escasamente tratado y del que se podrán formular nuevas investigaciones que profundicen y apoyen los resultados de esta investigación, con lo cual se logre dirimir los vacíos cognitivos referidos a este tema.

Por otra parte es necesario recalcar que dentro de esta investigación se describirá el impacto que los elementos de la Gestión del Mantenimiento tendrán en el Negocio y sus implicaciones de interacción en la Organización, mediante la búsqueda de los elementos comunes que intervienen en la Gestión del Mantenimiento, así como de las variables y características que presentan, y de cómo interactúan en el establecimiento de conflictos dentro de la Gestión del Mantenimiento. Garantizando así un enfoque sistémico en el tratamiento del tema que permita una mejor comprensión de los elementos que componen la estructura de la Gestión.

Otro punto importante de mencionar, es el deseo de aprender intelectual profesionalmente sobre el tema, pues a nivel personal se observo la necesidad de llenar las lagunas percibidas que limitan la actividad profesional, dando como resultado una gran motivación para el desarrollo de esta investigación con el ánimo de incrementar el conocimiento y comprensión del tema tratado.

El mantenimiento preventivo y predictivo debe ser considerado en el entorno del sector de la distribución de energía eléctrica como una herramienta formada por subconjuntos aplicados al mundo moderno de la Gerencia de Mantenimiento. La descripción de lo programado, lo expectante, lo medible y lo valorado son reconocimientos generados bajo el contexto de formulas creadas para el mejoramiento continuo basado en el constante crecimiento de la cultura del mantenimiento.

El proyecto, a través de la metodología de la investigación y su aplicación pretende que los profesionales y especialistas del sector se involucren constantemente en la búsqueda de procesos y procedimientos que determinen la actuación, rendimiento y eficacia sobre mecanismos de investigación que conduzcan a mantener el dominio de lo iniciado, labores que en el mundo moderno son calificados a través de diversos niveles de perfeccionamiento de lo técnico y lo científico, respetando siempre la leyes, la seguridad, nuestro entorno y el medio ambiente.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General

Desarrollar el modelo de gestión para la optimización del mantenimiento preventivo y predictivo de las subestaciones de la Empresa de Energía de Cundinamarca S.A ESP., Estudiar los elementos de la Gestión del Mantenimiento para alcanzar la excelencia y minimizar los riesgos de fallas en los activos operativos, vinculando las diferentes áreas de la empresa a través de la adopción de las mejores prácticas del mantenimiento.

Objetivos Específicos

- ✚ Gestionar el modelo del mantenimiento de las subestaciones en la empresa para cubrir las necesidades de los clientes a costos óptimos, lo cual debe redundar en la capacidad de mayores utilidades para la empresa, asegurando la confiabilidad de las instalaciones y la optimización de los procesos del negocio.
- ✚ Establecer acepciones de los conceptos que se manejan en el Mantenimiento con el fin de lograr homogeneidad en los mismos.
- ✚ Determinar los elementos de la Gestión del Mantenimiento para conocer su estructura y comportamiento.
- ✚ Promover el uso de herramientas tecnológicas para monitorear el funcionamiento de los equipos de mayor importancia como centros de distribución, vitales en la prestación del servicio.
- ✚ Vincular y difundir a los colaboradores involucrados en el proceso operativo el significado del mantenimiento desde el punto inicial como mantenimiento preventivo y predictivo con el fin de que hacia el futuro el lenguaje de trabajo sea único en la EEC.
- ✚ Reducir las fallas técnicas en subestaciones mediante la implantación de programas de mantenimiento basados en el preventivo y predictivo debidamente elaborados.

- ✚ Definir una metodología de Gestión de Mantenimiento que permita alcanzar la excelencia.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Las características del proyecto según los objetivos planteados, establecen una investigación de tipo **Documental** pues, se apoya en fuentes de información que dan referencia al problema planteado, cuya estrategia está basada en el análisis de datos obtenidos de diferentes fuentes de información, tales como libros, monografías, internet, informes de investigación, revistas, documentos, folletos, ponencias y otros materiales informativos. Por cuanto el enfoque de esta investigación está basado en el estudio de los elementos que conforman la Gestión del Mantenimiento y de los cómo y los porqué afectan a toda la Organización para obtener una mejor práctica del mantenimiento con la cual la Empresa pueda ser competitiva y el Negocio productivo.

METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente estudio se toma como estrategia metodológica la investigación documental bibliográfica (sólo materiales escritos). A continuación se presentan los pasos de manera evolutiva, mediante los cuales se lograrán los objetivos:

Establecer acepciones de los conceptos de la configuración de las subestaciones y conceptos que se manejan en el Mantenimiento con el fin de lograr homogeneidad en los mismos. Recolección y análisis de los conceptos que se manejan en el tema de estudio, para analizar los orígenes de los conceptos y así poder dar a conocer el valor de cada uno de estos.

Reseñar la historia de la Empresa de Energía de Cundinamarca, su actividad económica en los servicios públicos y la infraestructura.

Revisión bibliográfica de toda la información referente a la configuración de las subestaciones de energía eléctrica.

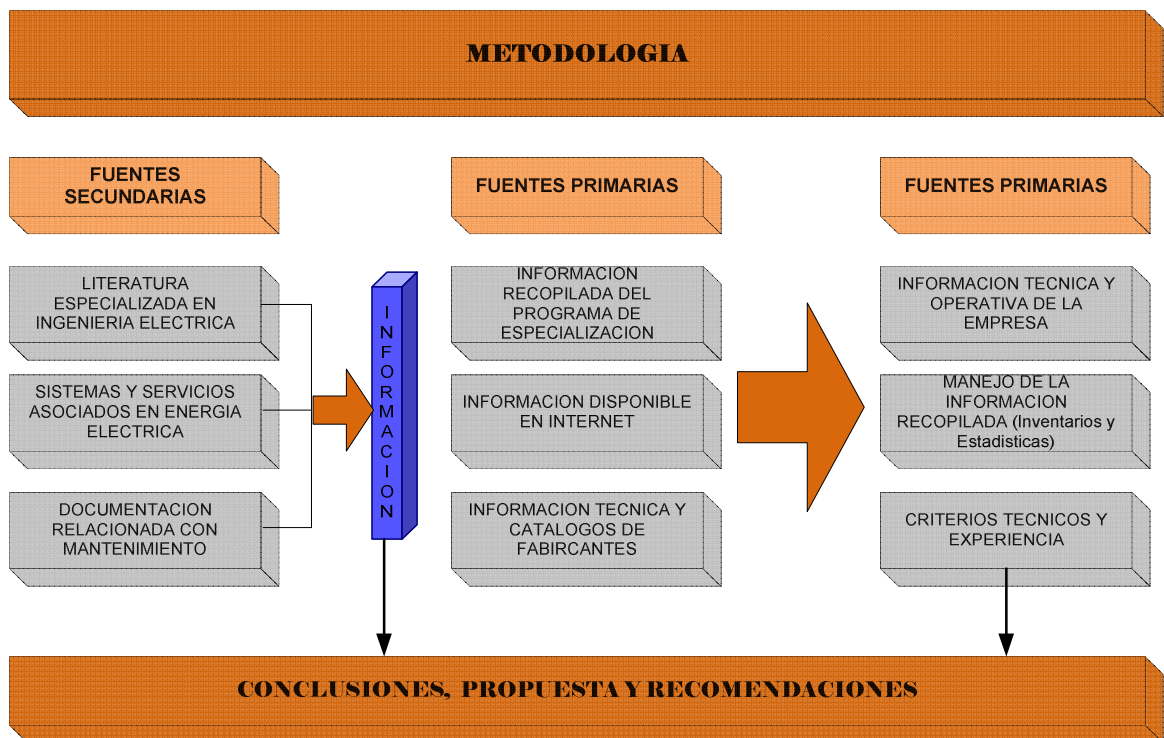
Establecer la teoría existente en la actualidad citada por los fabricantes de equipos de subestaciones, elementos claves de la Gestión del Mantenimiento para establecer criterios de programación y ejecución de labores de mantenimiento.

Determinar los elementos de la Gestión del Mantenimiento para conocer su estructura y comportamiento dentro de la empresa en la actualidad. Análisis sintomático situacional del entorno de la Gestión del Mantenimiento para determinar los elementos claves de la Gestión del Mantenimiento.

Elaborar la propuesta del plan de mantenimiento preventivo y predictivo dentro del proceso operativo.

Definir una metodología y manual de procedimientos para ejecutar el plan de gestión de Gestión de Mantenimiento que permita alcanzar las expectativas de organización y optimización del mantenimiento preventivo y predictivo en subestaciones de energía eléctrica.

Figura 1. Diagrama de Metodología del Proyecto



Fuente: El Autor

1. CARACTERIZACION DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

El departamento de Cundinamarca, corazón de Colombia, referencia histórica, política y cultural de la nación. Su centro geográfico es la sabana de Bogotá, en ella clavada como estilete, palpita Santafé de Bogotá, Distrito Capital y a su alrededor una constelación de municipios de hondo linaje indígena.

El nombre del actual Departamento de Cundinamarca parece ser una deformación de las palabras CUNDIRUMARCA, o más propiamente, CUNTINAMARCA, palabras que tienen su origen en la lengua Aymará, propia de los primitivos habitantes del Perú y Bolivia.



Figura 2. Departamento de Cundinamarca

Cundinamarca limita con cinco (5) departamentos:

Boyacá al norte, Meta al oriente, Huila al sur, Tolima y Caldas al occidente, Río Magdalena de por medio.

El territorio del Departamento tiene un área de 24,210 Kilómetros cuadrados de Extensión y 1'658.698 habitantes (Censo 1993), sin contar a Bogotá. La densidad General de población alcanza a los 69 habitantes por kilómetro cuadrado.

El departamento goza de una posición favorable dentro de la región Andina porque cuenta con todos los pisos térmicos, desde el cálido en el valle del río Magdalena y el piedemonte de Los Llanos Orientales, hasta el páramo como el del Sumapaz lo que ofrece grandes posibilidades en términos de diversificación de producción agrícola y en general, de utilización del suelo.

1.1 ORGANIZACIÓN EMPRESARIAL

La Empresa de Energía de Cundinamarca S.A E.S.P. es una sociedad comercial por acciones, de nacionalidad Colombiana, constituida como una empresa de servicios públicos de carácter mixto conforme a las disposiciones de las leyes 142 y 143 de 1994, así como las demás normas que rigen el sector eléctrico. Ejerce sus actividades dentro del ámbito del derecho privado como empresario mercantil, y el de las sociedades anónimas, con autonomía administrativa, patrimonial y presupuestal.

1.2 Historia

Durante la década de los años 50, el Estado, como política a través de Electraguas, orientó la creación de sociedades departamentales. Mediante escritura pública No.972 del 13 de marzo de 1958, de la notaria 3ª de Bogotá constituyó la sociedad conocida con el nombre de Electrificadora de Cundinamarca S.A., que se inscribió el 21 de marzo de 1958, bajo el No.26813 del Libro de Sociedades Anónimas.

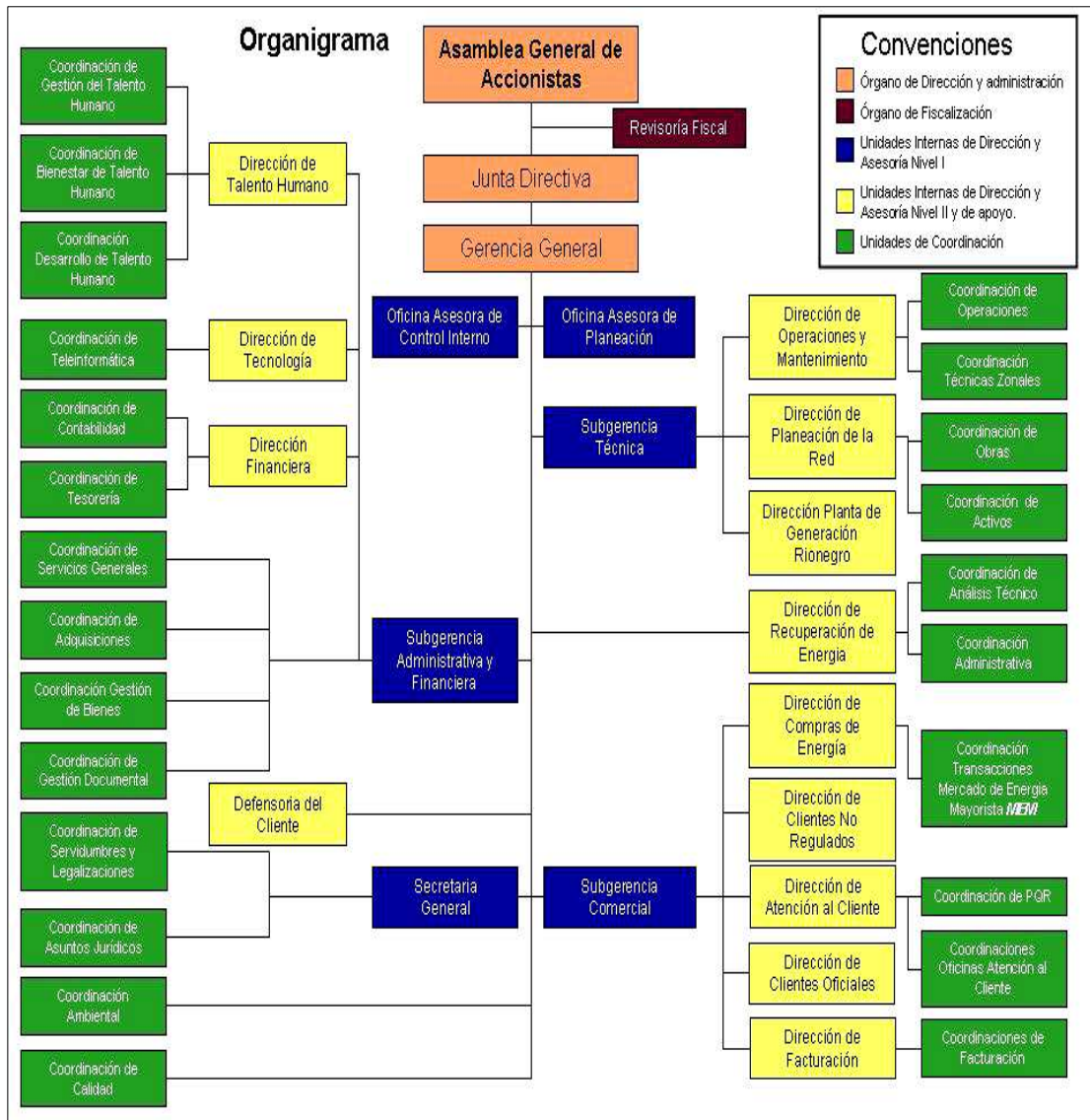
La Empresa ha sido conocida con los nombres de COMPAÑÍA DE ELÉCTRICIDAD Y GAS DE CUNDINAMARCA S.A. (CELGAC S.A.) en 1988; posteriormente, en 1994, con el nombre de EMPRESA DE ENERGÍA DE CUNDINAMARCA S.A (EEC) y en 1995 como EMPRESA DE ENERGÍA DE CUNDINAMARCA S.A EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS. Comercialmente usa la sigla EEC-ESP.

Su sede es Bogotá, D. C. y capital del departamento de Cundinamarca. Con su servicio la EEC-ESP atiende alrededor de 210.000 clientes, localizados en cinco distritos, que son: Girardot (incluye la Mesa), Facatativá, Villeta, Fusagasugá y Distrito Oriente (Cáqueza y Gachetá). Estos Distritos están ubicados en los puntos de mercado de la EEC S.A.-ESP. Con el fin de presentar una excelente atención al usuario.

La actividad económica es la generación, comercialización y distribución de energía en el departamento de Cundinamarca y sus alrededores. Cuenta con la Planta de Generación de energía eléctrica Río Negro, ubicada en el municipio de Puerto Salgar, vía

Colorados. Su generación aproximada durante el año 2003 fue de 46 millones de Kilovatios-hora (Kwh) y un promedio de generación de 4.2 millones de Kw. Por el objeto al cual se halla dedicada, la EEC-ESP está sujeta a las disposiciones de la Ley 142 de 1994 -Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios- y debe desenvolverse en el ambiente de libre y sana competencia entre los diferentes prestadores de servicios de energía eléctrica, según lo previsto en el mencionado régimen.

Figura 3. Esquema Organizacional



1.3 MISISON

La Empresa de Energía de Cundinamarca S. A. -ESP. Centra su estrategia en los negocios de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, en el servicio al cliente y en la creación de valor para sus accionistas y trabajadores, bajo los criterios

de eficiencia, rentabilidad y transparencia, con el fin de contribuir al desarrollo y prosperidad de sus mercados con responsabilidad social y empresarial.

1.4 VISION

En el año 2009 ser una empresa reconocida en el sector eléctrico por alto valor ofrecido a sus clientes a través de la eficiente prestación de sus servicios y su incursión en actividades similares, complementarias y asociadas.

1.5 INFRAESTRUCTURA ELECTRICA DE LA EEC EN CUNDINAMARCA

La EEC S.A ESP extiende la infraestructura eléctrica en setenta y ocho (78) municipios del departamento con dieciséis mil (16.000) Km aproximadamente de redes de distribución y cuarenta y cinco (45) subestaciones en las que se encuentran dos en nivel IV (115 kV) y el resto en nivel de tensión III (34.5 kV) y una capacidad instalada de 393 MVA en las zonas donde tiene presencia.

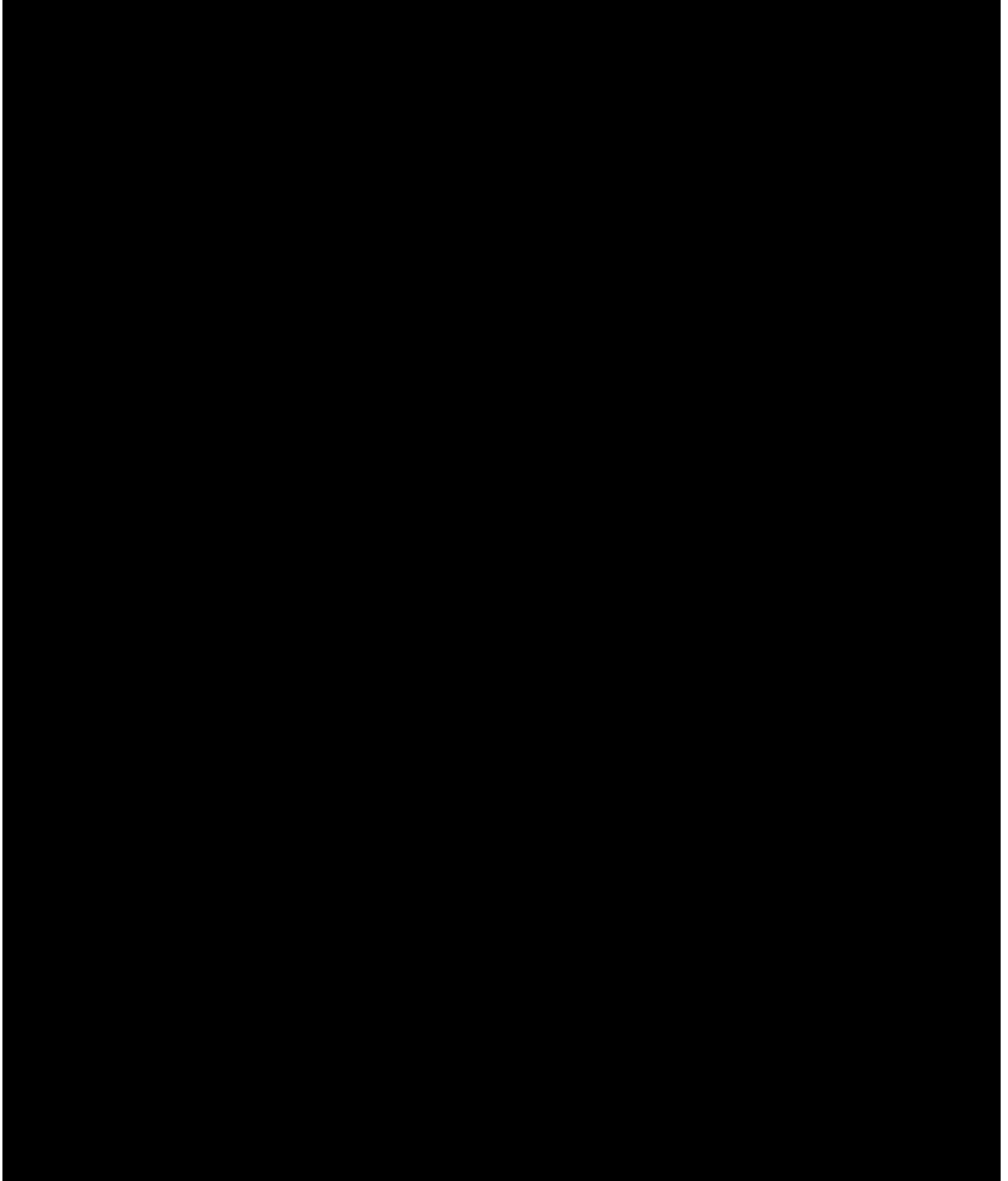
La EEC S.A ESP como empresa de Generación, distribución y comercialización adopta el modelo del sector eléctrico en Colombia, el cual se fundamenta en los principios establecidos en la carta constitucional (Título XII, Capítulo 5, "De la finalidad del Estado y los servicios públicos", artículos 365 a 370).

Figura 4. Subestación Flandes 115 kV / 34.5 kV Capacidad 65 MVA



1.6 SUBESTACIONES DE LA EEC EN CUNDINAMARCA

Tabla 1. Subestaciones de la EEC en Cundinamarca



2. LAS SUBESTACIONES ELECTRICAS Y SU APLICACIÓN

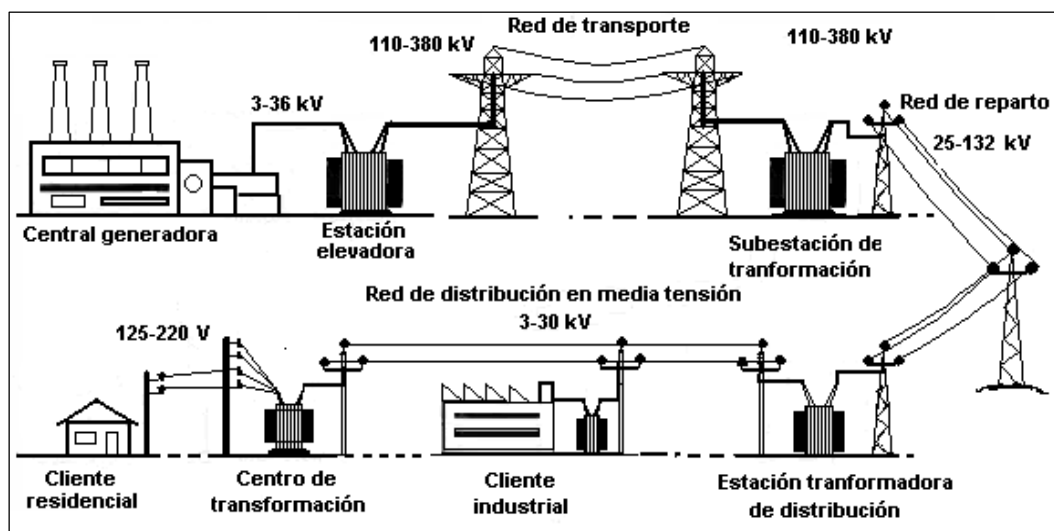
Las subestaciones de energía eléctrica son centros de transformación de niveles de tensión (kV) que van de mayores a menores valores con el fin de hacer la distribución de energía eléctrica más fácil y segura. En resumen, es un conjunto de equipos y elementos los cuales tienen diferentes funciones, marcas, tecnologías de fabricación y descendencias de varios países, todos ubicados en una misma área construida para tal fin.

Cada subconjunto contiene su propio sistema de operación y mantenimiento definido por el fabricante. Sin embargo, todos deben interactuar dentro de un esquema funcional.

A través del Mantenimiento Preventivo y Correctivo es fácil descubrir que precisamente el % del mantenimiento programado y no realizado a los activos como subestaciones es importante, ya que afecta a los equipos críticos.

El costo del Mantenimiento que siempre busca ser reducido en las empresas es considerado un mérito importante, pero debemos comprender definitivamente es que no buscamos reducir el costo de mantenimiento, sino aumentar la rentabilidad de la inversión de la empresa a través de mejoras substanciales del mantenimiento.

Figura 5. Esquema del Sistema Eléctrico General



Fuente: Artículo internet, www.unesa.es.

2.1 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

Una subestación eléctrica es usada para la transformación de la tensión de la energía eléctrica. El componente principal de una subestación eléctrica es el transformador.

Las subestaciones eléctricas de distribución reducen el nivel de tensión para que sea apto para su uso por medianos consumidores (fábricas, centros comerciales, hospitales, etc.). Dicha reducción tiene lugar entre tensiones de transporte (115 kV a 34.5 kV) a tensiones de distribución.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN

Las subestaciones son la fuente de suministro de energía para la distribución a nivel local, para seleccionar los sitios de usuarios o aún para un cliente específico. La función principal de la subestación es reducir la tensión del nivel de transmisión o de subtransmisión al nivel de distribución.

Para alcanzar esta directiva, las subestaciones emplean varios dispositivos de seguridad, de conmutación y de regulación de tensión, y de medida. Las subestaciones se ubican generalmente en o cerca del centro del área de distribución, ya sea al interior o al exterior (expuesto) y operados manual o automáticamente.

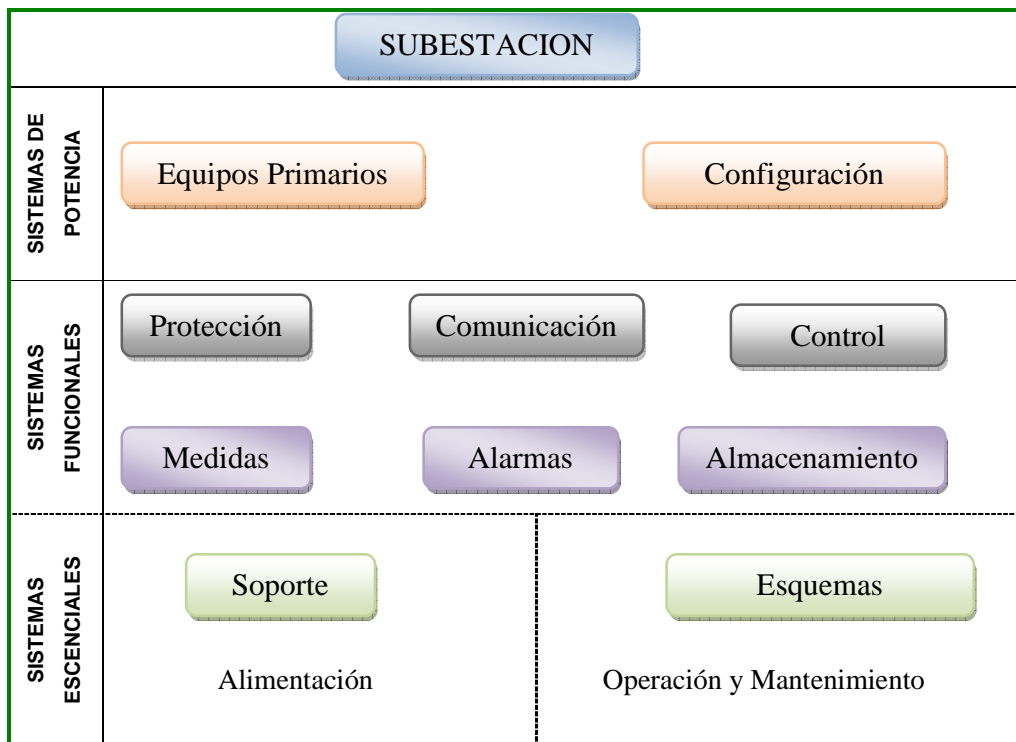
Las subestaciones de distribución contienen muchos componentes, dentro de los que se incluyen transformadores de potencia, interruptores y reguladores de tensión. Los transformadores de potencia son el corazón de la subestación de distribución, las cuales ejecutan la tarea principal de reducir las tensiones de sub-transmisión a los niveles de distribución (normalmente van desde 4.16Y/2.4 kV hasta 34.5 y 230 kV). Los interruptores se colocan entre los circuitos de distribución y la barra de baja tensión para la protección de la subestación durante las condiciones de falla o de picos de tensión. Los reguladores de tensión se instalan en serie en cada circuito de distribución si los transformadores de potencia no están equipados con la capacidad de cambiar los taps que permiten la regulación de la tensión de barra. También poseen aparatos de medida (transformadores de intensidad y de tensión).

Figura 6. Subestación Típica 34.5 kV - 6 MVA, Municipio de Apulo.



El despiece funcional de una subestación muestra una visión global del sistema y una representación de su funcionamiento a través de la simplificación circular y de conexión que presentan. Esta abstracción proporciona la identificación de funciones y la caracterización de sus elementos. En la figura 6 se presentan las funciones que están presentes en la subestación así como las jerarquización. En ella se pueden ver tres niveles, un nivel del sistema (equipos primarios de potencia), un nivel funcional (protección y control) y un nivel de sistemas básicos.

Figura 7. Componentes Integrales y funcionales de la Subestación



Fuente: El autor

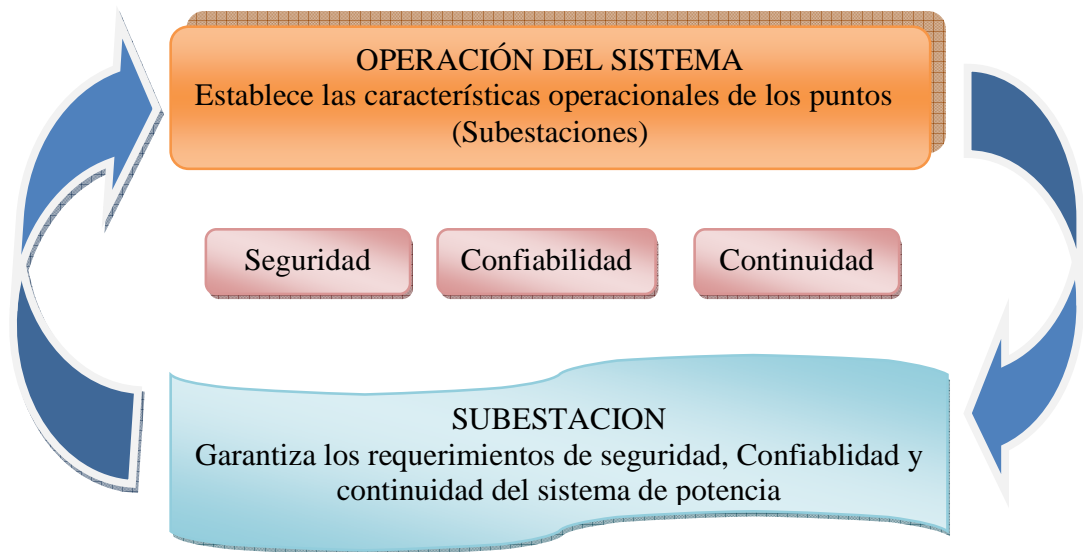
Nivel I, se agrupan las relaciones de una subestación con el sistema interconectado: Confiabilidad, Flexibilidad y Seguridad. En la figura 7 se puede apreciar estas relaciones. Los factores relativos a la flexibilidad del sistema para posibilitar ampliaciones de subestaciones y la configuración de un sistema interconectado, así como los factores de operación y mantenimiento de los elementos del sistema y de la subestación, son de gran importancia y quedan determinados en el arreglo o configuración que se hace en las subestaciones.

Nivel II, aparecen los sistemas funcionales que se encargan de controlar, monitorear y supervisar la red de distribución y los equipos primarios de potencia. Estos sistemas por lo general son complejos en su funcionamiento y estructura son: el sistema de protecciones, el sistema de control, el sistema de alarmas, el sistema de registro de fallas, el sistema de comunicaciones y el sistema de medida.

Nivel III, aparecen los sistemas esenciales que son fundamentales para el funcionamiento de los demás sistemas. Por un lado los servicios auxiliares, y por el otro el sistema de organización necesario para una óptima operación y mantenimiento de los equipos.

Desde el punto de vista de infraestructura, una subestación se compone de dos partes, la sala de control el patio de conexiones. En las subestaciones tipo rural con capacidad no mayor a 6 MVA solo se encuentran equipos como el transformador, seccionadores y reconectores operados por mando remoto desde una sala de control.

Figura 8. Relación Entre el Sistema de Potencia y Confiabilidad



Fuente: El autor

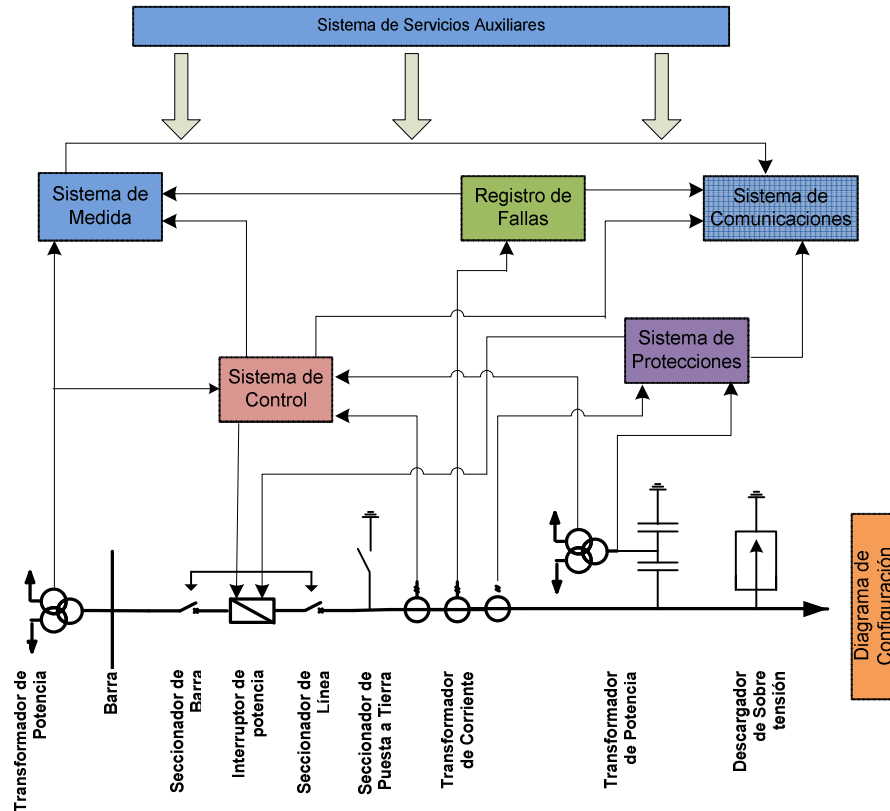
En la sala de control se encuentran todos los dispositivos de configuración a través de sistemas mímicos con elementos asociados tales como mando, control, señalización, relés de sobre corriente, indicadores de corriente, potencia activa, potencia reactiva, control de carga de transformadores, así como de temperatura de devanados y aceite. Con todos estos elementos se controlan las subestaciones con equipos de tipo interior.

En el patio de conexiones se encuentran los equipos primarios de potencia, gabinetes de concentración de cables y de paso a la sala de control.

Desde el punto de vista operacional una subestación cuenta con las siguientes partes:

- ✚ Sistema de Control
- ✚ Sistema de protecciones
- ✚ Sistema de comunicaciones
- ✚ Sistema de medida
- ✚ Servicios auxiliares
- ✚ Sistema integrado de eventos de fallas
- ✚ Sistema de alarmas

Figura 9. Diagrama de funcionamiento de una Subestación



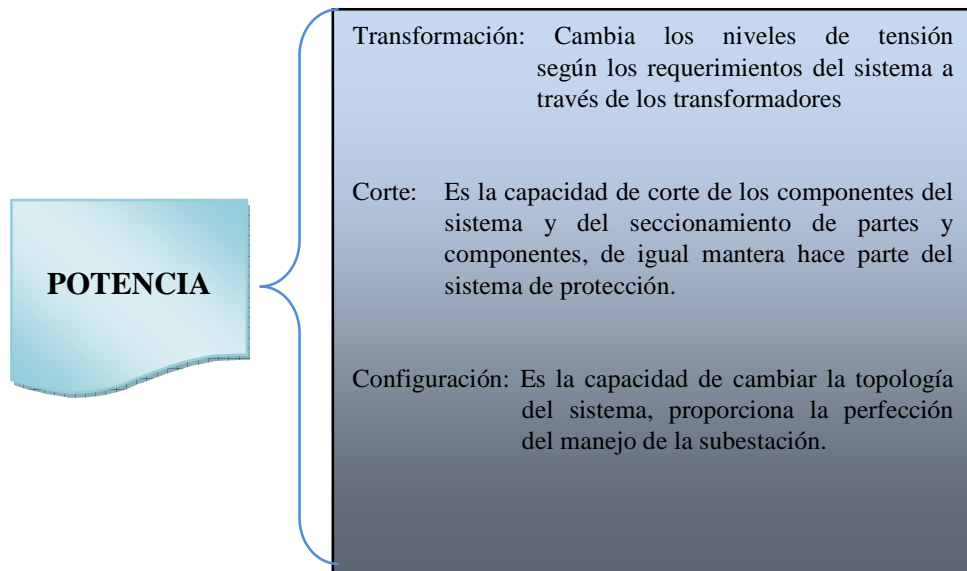
Fuente: El Autor

Los equipos primarios de potencia hacen parte del sistema interconectado y representan el corazón de la subestación (relacionados con el corte, seccionadores y transformación del sistema interconectado), los sistemas o funciones (control, protección, etc.) están directamente relacionados con la seguridad y confiabilidad del sistema, y por último los servicios esenciales que son el soporte de funcionamiento, se encargan de suministrar la energía y la información para una óptima operación y mantenimiento.

2.2.1 SISTEMA DE POTENCIA

Es donde se ubican los equipos primarios de potencia y la topología de conexión que conforma la configuración, representa la relación de la subestación con el sistema interconectado y es el corazón de la subestación.

Figura 10. Funciones del sistema de potencia en la Subestación



2.2.2 CONFIGURACIÓN DE LAS SUBESTACIONES

Se denomina configuración al arreglo de los equipos electromecánicos constitutivos de un patio de conexiones, o pertenecientes a un mismo nivel de tensión de una subestación.

Además de ser un sistema, la configuración es una característica que le da el arreglo eléctrico y físico de los equipos que constituyen el patio de la subestación y comprende el conjunto de equipos y barras localizados en el mismo sector. Esta característica proporciona al sistema de distribución, propiedades que brindan confiabilidad¹ o flexibilidad² de manejo, transformación y distribución de energía a los usuarios finales del sistema. La selección de una u otra configuración depende de las consideraciones y de la valoración de las propiedades que se necesiten en el sistema.

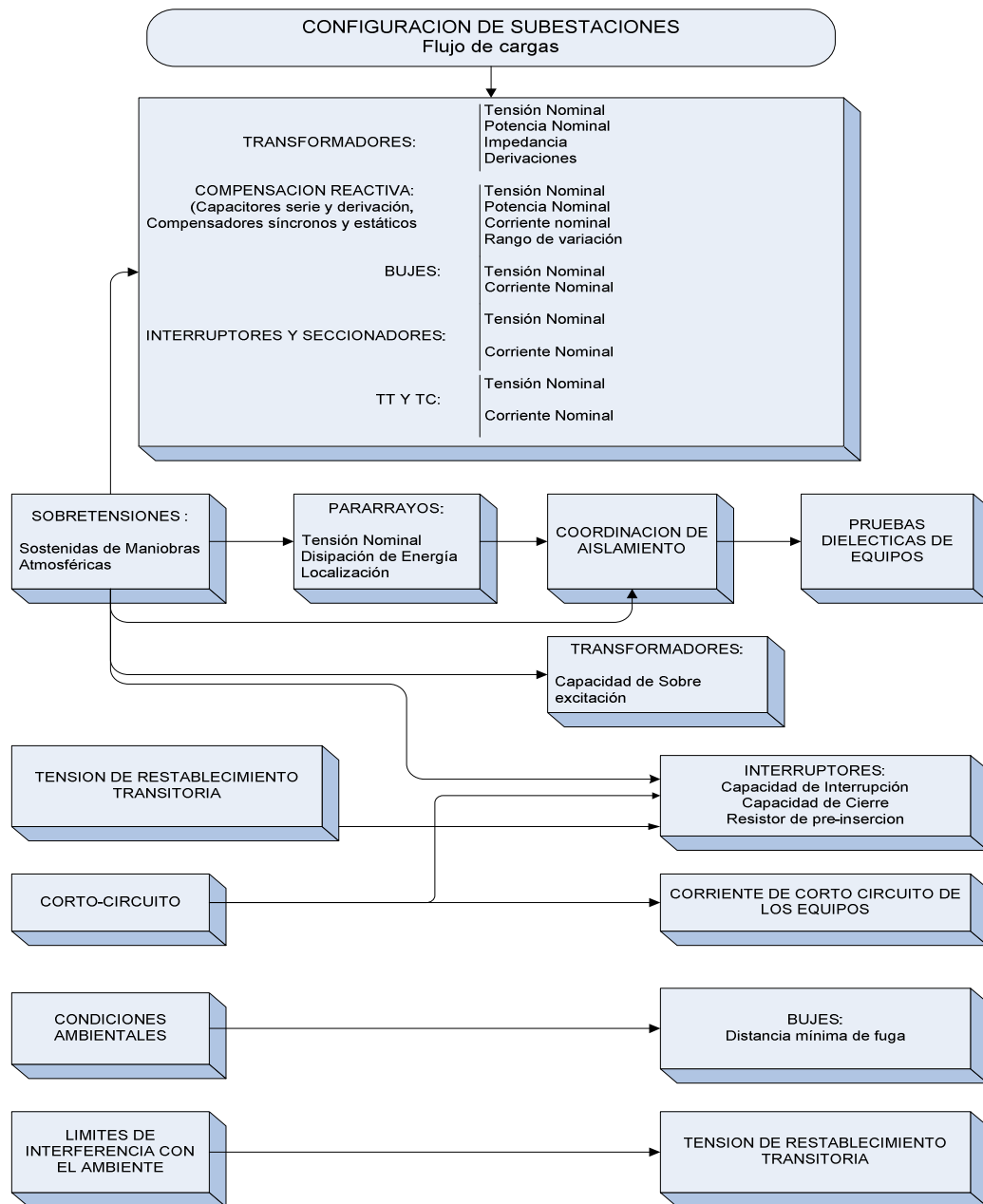
Como parte fundamental dentro de la configuración de la subestación, se debe tener en cuenta las facilidades que se pueda proporcionar para realizar los mantenimientos a interruptores, líneas, transformadores de potencia y seccionadores, sin interrupción del servicio ni riesgo para el personal a cargo.

De la configuración o esquema de la subestación depende el conjunto de maniobras que se pueden realizar y el conjunto de condiciones para su realización (enclavamientos y consignas operativas). Estas condiciones a su vez definen las Características de las consignas operativas y de las consignas bajo falla asociadas a estas.

¹ Confiabilidad, Probabilidad de que una subestación pueda suministrar energía durante un periodo de tiempo dado, bajo la condición de que al menos un componente de la subestación esté fuera de servicio.

² Flexibilidad, Propiedad de la instalación para acomodarse a las diferentes condiciones que se puedan presentar especialmente por cambios operativos en el sistema, además por contingencia y/o mantenimiento del mismo.

Figura 11. Configuración de Subestaciones de Distribución



Fuente: Felipe Ramirez Carlos, Subestaciones de alta tensión. 1 ed.

2.3 DISPOSICIÓN FÍSICA DE UNA SUBESTACION TIPICA

La disposición física es el ordenamiento de los diferentes equipos constitutivos de un tipo de conexiones en una subestación exterior para cada uno de los tipos de configuraciones. Se entiende por patio de conexiones el conjunto de equipo y barrajes que tiene el mismo nivel de tensión y están localizados en el mismo sector o área de la subestación.

Las subestaciones exteriores pueden construirse en diferentes formas para una configuración dada. Estas formas se diferencian especialmente en el tipo de seccionadores y sus variadas posibilidades de disposición, así como en el tipo de barraje utilizado, es decir rígido ó flexible. En cada tipo particular de construcción existen también diferencias en la cantidad de pórticos, material de construcción, en la extensión de terreno necesario y en las facilidades de mantenimiento.

Figura 12. Disposición física de una Subestación.



Fuente: Subestación Flandes 115 kV.

Las subestaciones pueden ser de transmisión o de distribución, de alta o de media tensión, sus componentes, y la disposición de estos, pueden variar de una subestación a otra, pero las características de los componentes siempre serán las mismas, y cada uno tendrá también dentro de la subestación, funciones específicas e importantes a la vez. Existen en una subestación, interruptores, encargados de unir o abrir circuitos entre sí, transformadores de potencia, encargados de transmitir la potencia de un sistema a otro con las características deseadas de voltaje y corriente, transformadores de medida, que se encargan de medir las características de la señal eléctrica para fines de protección y registro, seccionadores, que unen o separan circuitos, bancos de capacitores, que sirven para compensar la caída de tensión al final de la línea de transmisión, los pararrayos que protegen contra descargas; sólo para mencionar algunos. Tomando en cuenta que las subestaciones son un componente importante de los sistemas de potencia, además de ser los de mayor costo económico, y que la continuidad del servicio depende en gran parte de ellas; es necesario aplicar a estos sistemas (subestaciones) una adecuada

Gestión de Mantenimiento. Esta gestión deberá observar al mantenimiento preventivo, englobando 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, conformando así al Mantenimiento Integrado.

2.3.1 EQUIPOS DE PATIO

Las principales características tanto físicas como eléctricas de los equipos de patio se ubican mediante conexiones y por su disposición física, desarrollan la configuración dada a la subestación convencional; además de las definiciones de los equipos y sus funciones, proporcionan criterios del uso y aplicación de del tipo de equipo de acuerdo con las necesidades y requerimientos del sistema donde será utilizado. Los equipos que hacen parte de la configuración usual en las subestaciones objeto del presente estudio son

Figura 13. Equipos de Patio

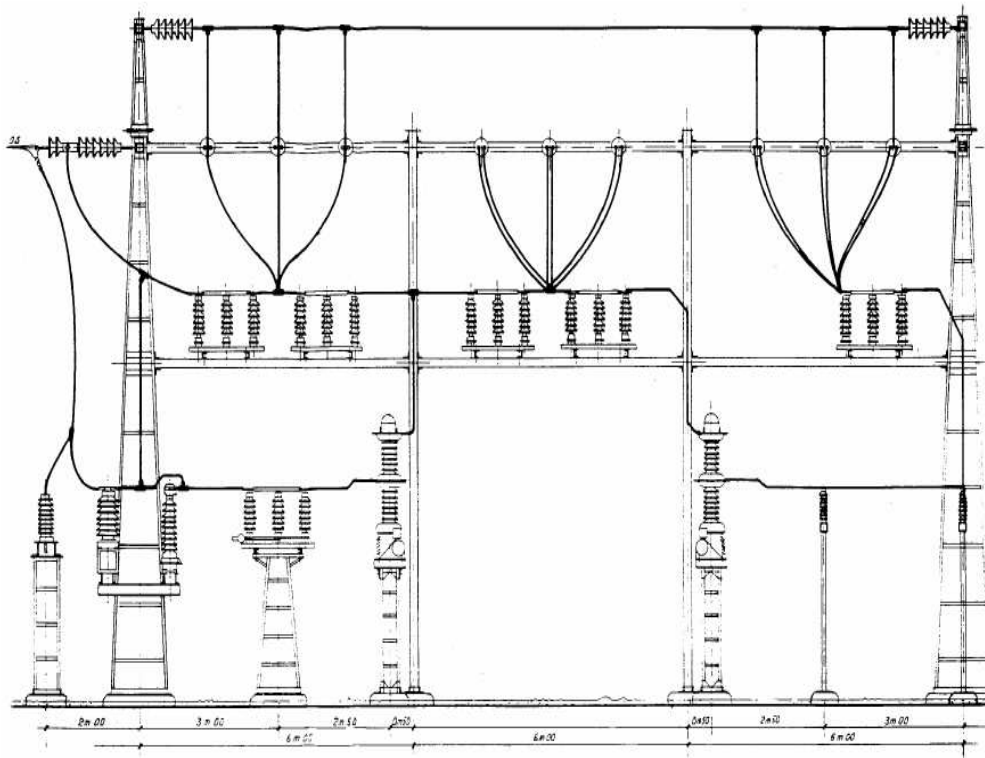
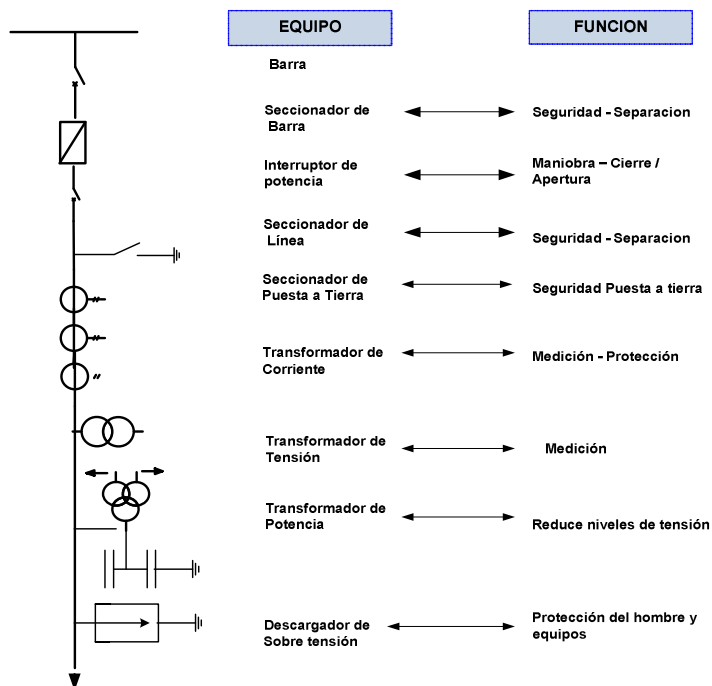


Figura 14. Diagrama de Disposición Equipos de Patio



Seccionadores

Son dispositivos eléctricos utilizados para realizar la apertura o cierre de un esquema eléctrico según sea su disposición final, su aplicación puede ser de tipo interior ó exterior. Los seccionadores aíslan componentes de un sistema de equipos o una red para lo cual su operación puede ser bajo carga ó sin carga de acuerdo a su capacidad de corriente y nivel de tensión, son de maniobra automática, remota ó manual en patio.

Los seccionadores se clasifican de acuerdo con las funciones que desempeñan en un sistema eléctrico de potencia, pueden ser de maniobra, seccionadores de tierra, de operación bajo carga y seccionadores de puesta a tierra.

Interruptor de Potencia

Es el dispositivo encargado de conectar y desconectar la corriente de régimen permanente, tanto en condiciones de operación normal (máxima carga o en vacío) como en condición de cortocircuito interrumpiendo las corrientes de falla del circuito.

La magnitud de las corrientes de interrupción varía desde unos pocos amperios hasta los altos valores de las corrientes de cortocircuito para los cuales el interruptor está diseñado; además los interruptores están en capacidad de cerrar con una corriente de magnitud

similar a la corriente de cortocircuito y permanecer completamente cerrados hasta recibir el orden de disparo dada por el sistema de protección.

La fabricación más común de interruptores cuenta con dos circuitos de disparo y uno de cierre, los cuales están asociados al sistema de protección y control, según su tensión de operación es en aceite, aire, vacío ó en SF₆³.

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 está conectado.

Transformadores de tensión

Son empleados en las subestaciones de la red de transporte de energía eléctrica, con el fin de disminuir las pérdidas por efecto Joule⁴. Debido a la resistencia de los conductores, conviene transportar la energía eléctrica a tensiones elevadas, lo que origina la necesidad de reducir nuevamente dichas tensiones para adaptarlas a las de utilización.

En sistemas con tensiones nominales superiores a los 600 V las mediciones de tensión no son hechas directamente de la red primaria sino a través de equipos denominados transformadores de tensión. Estos equipos tienen las siguientes finalidades:

- Aislar el circuito de baja tensión (secundario) del circuito de alta tensión (primario).
- Que los efectos transitorios y de régimen permanentes aplicados al circuito de alta tensión sean producidos lo más fielmente posible en el circuito de baja tensión.

En cuanto al tipo, los transformadores de tensión pueden ser:

- Transformadores inductivos
- Divisores capacitivos
- Divisores resistivos
- Divisores mixtos

Transformadores de corriente

Se utilizan para tomar muestras de corriente de la línea y reducirla a un nivel seguro y medible, para las gamas normalizadas de instrumentos, aparatos de medida, u otros dispositivos de medida y control. Ciertos tipos de transformadores de corriente protegen a

³ SF₆, El Hexafluoruro de Azufre es un Gas utilizado para la extinción de arco eléctrico en equipos, Una de las principales características es su elevada constante dieléctrica, por lo que es muy empleado como gas aislante en equipos para distribución de energía eléctrica.

⁴ Efecto Joule, Si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo

los instrumentos al ocurrir cortocircuitos. Tienen su devanado primario conectado en serie con el circuito de alta tensión. La impedancia del TC, vista desde el lado del devanado primario, es despreciable comparado con la del sistema en el cual estará instalado, aun si se tiene en cuenta la carga que se conecta en su secundario. En esta forma la corriente que circulará en el primario de los transformadores de corriente está determinada por el circuito de potencia.

Los transformadores de corriente se clasifican en dos (2) tipos, Transformadores de corriente para medición y Transformadores de corriente para protección

De acuerdo con su construcción, pueden ser de varios tipos:

- Tipo estación o auto soportado
- Tipo devanado, con varios núcleos
- Tipo ventana
- Tipo buje

Transformador de Potencia

El transformador de potencia soporta grandes magnitudes de voltio amperios VA, los cuales se expresan en KVA [kilo voltio amperios] o en MVA [mega voltio amperios].

Usualmente se considera un transformador de potencia cuando su capacidad es de un valor a partir de: 500 KVA, 750 KVA, 1000 KVA, 1250 KVA o 1.25 MVA, hasta potencias del orden de 500 MVA monofásicos y de 650 MVA trifásicos, 900 MVA. Estos últimos operan en niveles de voltaje de 500 KV, 525 KV y superiores.

Reconectores

El reconector es un interruptor con reconexión automática, instalado preferentemente en líneas de distribución. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para energizar la línea. Está dotado de un control que le permite realizar varias reconexiones sucesivas, pudiendo además, variar el intervalo y la secuencia de estas reconexiones. De esta manera, si la falla es de carácter permanente el reconector abre en forma definitiva después de cierto número programado de operaciones, de modo que aísla la sección fallada de la parte principal del sistema.

La tarea principal de un reconector entonces es discriminar entre una falla temporal y una de carácter permanente, dándole a la primera tiempo para que se aclare sola a través de sucesivas reconexiones; o bien, sea despejada por el elemento de protección correspondiente instalado aguas abajo de la posición del reconector, si esta falla es de carácter permanente.

El mecanismo del reconector ejecuta las operaciones de apertura y cierre de los contactos del interruptor al vacío en respuesta a las señales recibidas del control electrónico. La apertura de los contactos se inicia cuando se envía una señal eléctrica al

solenoides de disparo, el cual desplaza la traba basculante para soltar los resortes de disparo cargados. El cierre de los contactos se inicia cuando se envía una señal eléctrica a un solenoide giratorio, el cual cierra el contactor de la bobina de cierre por medios.

mecánicos para energizar la bobina de cierre de alto voltaje, la cual cierra los interruptores al vacío y carga los resortes de disparo. Reineri (2003).

Pararrayos

Son los elementos de protección de los equipos en una subestación contra sobre tensiones. Su fabricación es a través de descargadores y resistencias no lineales de carburo de silicio (SiC), actualmente se fabrican con resistencias no lineales de óxido de zinc, ZnO, sin descargadores. La función de los pararrayos es la de producir la ignición cuando excede un valor de tensión determinado, descargar el arco sobre la resistencia de descarga y después de la operación de descarga interrumpir la corriente residual que resulte de la tensión del sistema. Cuando se fluyen altas corrientes a través del pararrayos la baja resistencia mantiene la caída de la tensión (tensión residual) por debajo del máximo esfuerzo eléctrico que resiste el equipo protegido. Al mismo tiempo la energía eléctrica de la corriente de descarga y de la corriente residual se convierte en calor en el resistor.

Conductores, barras, aisladores y conectores

Son elementos que proporcionan condiciones técnicas adecuadas para el transporte de la corriente eléctrica, garantizar una efectiva condición a la baja resistencia al paso de la corriente. Por tal razón su construcción en aluminio y cobre rígido son los más utilizados en las subestaciones de acuerdo al nivel de tensión del sistema aplicado.

La determinación de la capacidad de corriente de los elementos de interconexión de los equipos en el lado de la tensión primaria debe contar con los siguientes factores: corriente de la carga, temperatura ambiente, velocidad del viento y radiación solar. El efecto térmico de las corrientes de cortocircuito difícilmente impactará en los conductores debido a la corta duración del fenómeno.

2.4 SISTEMAS FUNCIONALES EN LAS SUBESTACIONES

Los sistemas de funcionalidad en las subestaciones utilizan gran cantidad de elementos integrados en conjuntos con el propósito de monitorear y controlar todos sus componentes para garantizar la efectividad de sus maniobras. Dichos sistemas incorporan elementos electrónicos de nuevas tecnologías tales como micro controladores, equipos electrónicos inteligentes capaces de actuar en forma autónoma según sus ajustes y programación lógica.

La función de los elementos incorporados es la de controlar, monitorear y supervisar los equipos primarios y secundarios instalados en cada subestación los cuales pueden ser: sistema de protecciones, sistema de control, sistema de alarmas, sistema de registro de fallas, comunicaciones y sistema de medida.

2.4.1 SISTEMA DE PROTECCIONES

Un sistema de protección en una subestación provee seguridad en la operación de equipos y redes frente a las condiciones atmosféricas, incidentes sobre redes, errores operativos por parte del personal a cargo de maniobras y las demás que se deriven del proceso técnico operativo.

El objetivo principal es el de reducir la influencia de una falla en el sistema, hasta tal punto que no se produzcan daños relativamente importantes en él, ni tampoco ponga en riesgo la vida de seres humanos ó animales. Esto solo se puede conseguir cubriendo de una manera ininterrumpida los sistemas de potencia mediante el uso de esquemas de protección y relés que hayan sido diseñados con la atención requerida.

El principal equipo de protección en las subestaciones es el relé el cual interactúa con el sistema de control, interruptores, transformadores de potencia y de medida. Los esquemas de funcionamiento y conexión del sistema de protecciones son complejos, su lógica se ajusta según los criterios de cada aplicación.

2.4.2 SISTEMA DE COMUNICACIONES

Es la parte fundamental en el sistema operativo de la subestación su función es la de mantener la confiabilidad y disponibilidad óptima ya que posibilita la variedad de aplicaciones de los sistemas de control modernos.

Existen diversos tipos de comunicaciones en la operación y control de subestaciones, van desde el uso de la vía por microondas, modem guiados por GPRS⁵, por fibra óptica y el uso de las líneas de guarda a través de la infraestructura de las redes. Los equipos de comunicaciones son complejos en su composición interna, los operadores especifican su uso en la supervisión, control y maniobra.

2.4.3 SISTEMAS DE CONTROL

El sistema de control en una subestación se define como un conjunto formado por los dispositivos de medida, indicación, registro y señalización, la regulación, el control manual y automático, y los relés de protección, los cuales verifican, protegen y ayudan a gobernar un sistema de potencia.

La función principal de un sistema de control es supervisar, controlar y proteger la transmisión y distribución de energía eléctrica. Durante condiciones anormales y cambios intencionales de las condiciones de operación, el sistema de control deberá hasta donde sea posible asegurar la continuidad de la calidad del servicio de energía eléctrica.

⁵ GPRS, sigla en inglés (General Packet Radio Service).

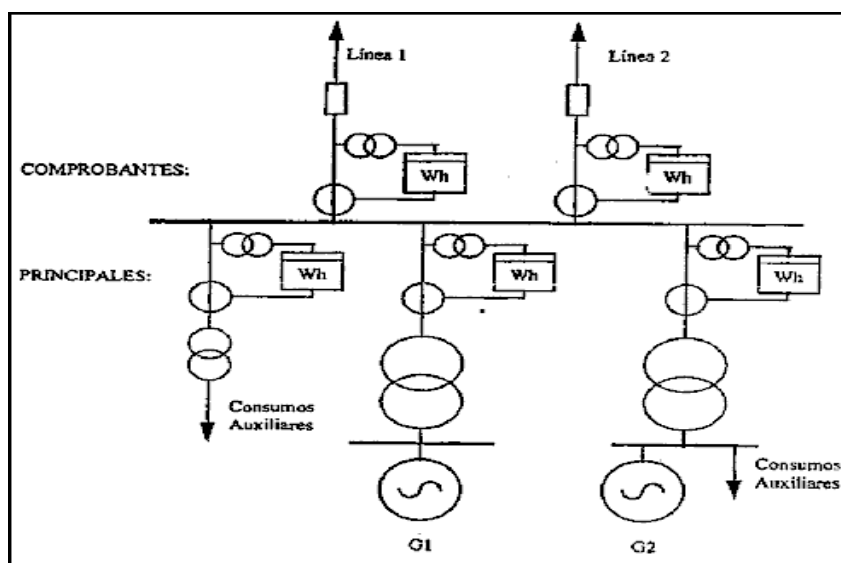
En general un sistema de control convencional actual de una subestación está constituido por los siguientes elementos:

- ✚ Dispositivos para el control remoto, Unidad Terminal Remotas (UTR)
- ✚ Tablero Mímico
- ✚ Sistema de protección
- ✚ Contadores de energía
- ✚ Localizadores y registro de fallas
- ✚ Sistemas de alarmas
- ✚ Indicadores
- ✚ Mando y señalización de los equipos
- ✚ Tableros de agrupamiento
- ✚ Sistemas de enclavamiento
- ✚ Control de cambiadores de tomas en transformadores
- ✚ Equipos de comunicación
- ✚ Servicios auxiliares AC y DC

2.4.4 SISTEMAS DE MEDIDA

En las subestaciones es necesario contar con elementos de medida que permitan registrar la cantidad de energía que entregan ó reciben las redes o alimentadores conectados. Para medir dicha energía se utilizan instrumentos ó aparatos análogos y digitales que indican en forma directa el valor de la magnitud medida. Los contadores de energía se caracterizan por su multifuncionalidad son de diferentes clases de precisión desde 0.5 hasta 2. Los medidores multifuncionales son unidades de medida programables con capacidad de medida de energía activa, reactiva, demandas, potencia activa y reactiva, corriente y tensión. Tienen puertos de comunicación serie que permiten la implementación de la red de contadores de energía para la transmisión de esta información y el acceso de forma remota.

Figura 15. Diagrama sistema de medida de energía.

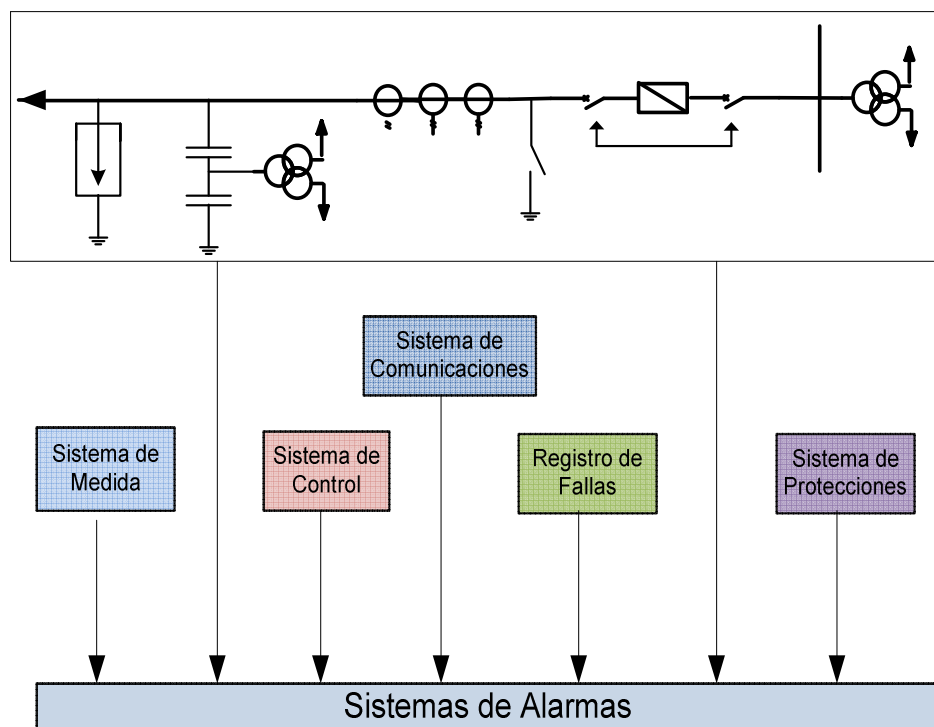


2.4.5 SISTEMAS DE ALARMAS Y SEÑALIZACION

El sistema de alarmas monitorea un gran número de señales que indican el funcionamiento de los equipos. Las alarmas son visualizadas en los dispositivos como computadoras a través de la interface con los operadores o en los anunciadores los cuales pueden ser señales luminosas y sonoras.

Cuando ocurre una alarma en la subestación se enciende la señal luminosa respectiva, de forma intermitente en el anunciador y se energiza la alarma sonora. En la Figura 16 se observa los sistemas que envía las señales a los anunciadores o a los sistemas computarizados.

Figura 16. Diagrama sistema de alarmas y señales

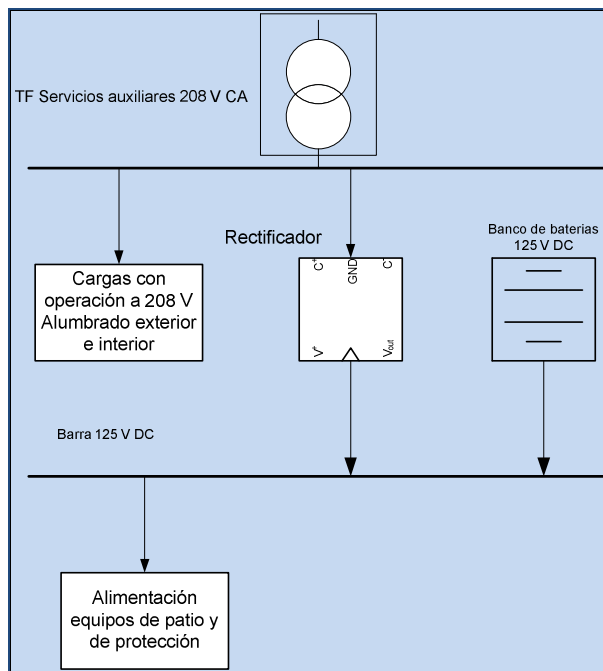


2.4.6 SERVICIOS AUXILIARES

El sistema de servicio auxiliares en la subestación es el encargado de suministrar la energía para el funcionamiento de los equipos tanto de parte interior, debe proporcionar los dos niveles de tensión AC y DC que requieren los equipos.

Se caracteriza por el modo de operación el cual siempre está disponible para suministrar la tensión necesaria. El sistema de DC, normalmente de 125 V debe estar disponible en tiempo normal y en casos de emergencia donde puede fallar la alimentación principal de AC para atender las emergencias presentadas, a los operarios en el evento de presentarse una falla en el sistema general de la subestación.

Figura 17. Esquema del Sistema de Servicios Auxiliares



Fuente: El Autor

2.4.7 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

El diseño de las redes de tierra en subestaciones es uno de los aspectos a los que no siempre se le ha dado la importancia que amerita; tal vez por la complejidad de los cálculos o por la diversidad de criterios que se siguen.

Algunas de las funciones básicas de las redes de tierra son:

- ✚ limitar los voltajes de paso (entre los dos pies) y de contacto (entre mano y pies) a valores tolerables, dando de esta forma seguridad al personal que en el momento de una falla pudiera encontrarse dentro de la subestación.
- ✚ limitar el potencial entre las partes no conductoras de corriente del equipo eléctrico a un valor de seguridad bajo todas las condiciones de operación normal o anormal del sistema.
- ✚ Reducir los sobre voltajes durante condiciones de falla, proporcionando así una operación efectiva de los relevadores de protección.
- ✚ De todas las posibles funciones de la red de tierra, la de mayor importancia
- ✚ Siempre será el proporcionar seguridad a cualquier ser viviente que pudiera estar dentro de la subestación en el momento de una falla.

2.4.8 BANCO DE BATERIAS.

Es una fuente independiente de energía de corriente directa 125 volts, (en algunos casos 250 volts) formada por un número determinado de celdas conectadas en serie para obtener la tensión requerida.

De acuerdo a su electrolito, estas pueden ser de plomo-acido o de níquel-cadmio el banco de baterías debe mantenerse siempre con un voltaje de flotación, el cual es ligeramente más alto que el nominal del banco, a fin de que este siempre se encuentre a su máxima carga. Para tal fin, se emplea un cargador de baterías automático de la capacidad adecuada a dicho banco. Este cargador de baterías cuenta con sus propias alarmas y debe ser revisado cotidianamente por el personal de operación y mantenimiento.

Los bancos de baterías se ubican en un local independiente con ventilación por medio de extractores para eliminar concentraciones de hidrogeno el cual es altamente explosivo ante una chispa. Debe considerarse al banco de baterías como el eslabón más importante para la protección de una subestación de potencia.

El mantenimiento preventivo al banco de baterías es imprescindible ya que de esta energía depende la confiabilidad total de la subestación de potencia.

2.5 LAS SUBESTACIONES Y SU CONFIABILIDAD

La confiabilidad se define como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

Posibilita el mejoramiento de la disponibilidad, el desempeño de los equipos, el mantenimiento y la operación asegurando la producción y funcionamiento del sistema bajo parámetros de seguridad y calidad adecuados. Esta cuantificación de la habilidad de un sistema puede expresarse por una gran variedad de índices, dependiendo de los objetivos que se persigan en la valoración.

La confiabilidad en el suministro de energía a los usuarios depende del adecuado funcionamiento del sistema de distribución. Las subestaciones de distribución hacen parte de éste y son esenciales por la importancia de su función. En los sistemas de las subestaciones de distribución se establece su confiabilidad mediante la evaluación de índices que reflejan la capacidad de ésta para permitir el flujo de la energía entre las entradas y salidas ante la falla de sus componentes y la localización de equipos críticos que requieran atención especial ante fallas.

La confiabilidad se encarga de presentar estudios o valoración de los índices de fallas que pueden de los índices de fallas que pueden ayudar a la toma de decisiones sobre propuestas alternativas de elementos de protección políticas de mantenimiento y

operación, incorporación de elementos de maniobra automatizados entre otros, pero no el restablecimiento cuando el sistema se encuentra en condiciones anormales.

Figura 18. Confiabilidad Operacional



La confiabilidad de las subestaciones se puede, entonces, abordar desde dos puntos, el primero enfocado al análisis clásico de la valoración de los índices de confiabilidad y el segundo enfocado a las acciones o procedimientos a seguir para que el sistema no entre en falla (mantenimiento) o si se encuentra en condiciones anormales, para la recuperación de su operatividad.

Este modelo, con algunas variantes, es válido para la mayoría de los componentes de un sistema. Las fallas iniciales pueden eliminarse mediante pruebas previas a la operación, mientras que una política adecuada de reemplazos permite reducir las producidas al fin de la vida útil. La mayoría de las evaluaciones de confiabilidad, entonces, se refieren al periodo en que prevalecen las fallas aleatorias.

La confiabilidad en la operación de las subestaciones involucra la reducción del tiempo que los elementos estén fuera de servicio y la reducción de falla. Esta reducción del tiempo y de las fallas está dada por la interacción y la sinergia de:

- ✚ Programas de mantenimiento adecuados
- ✚ Estrategias a seguir en casos de indisponibilidad de los equipos
- ✚ Capacitación del personal a cargo de la operación del sistema
- ✚ Forma en que se opera el sistema

2.5.1 MANTENIMIENTO

El mantenimiento influye en la Mantenibilidad, Confiabilidad y la Disponibilidad de los equipos y en su buen funcionamiento, pues puede prevenir fallas que afectarían el

sistema. Sin embargo, se debe estar preparados para enfrentar las fallas en caso que ocurran y se deben optimizar los costos.

La eficiencia y la calidad del mantenimiento están íntimamente ligadas a la optimización de métodos y proceso, obteniéndose a si una reducción de esfuerzos y costos que garantizan una adecuada disponibilidad de los equipos y sistemas. Esta eficiencia en el mantenimiento se debe apoyar en la utilización de los métodos estadísticos y en el cálculo de los índices que posibiliten la comprensión de los resultados, proporcionando así soluciones de menor costo.

🚧 **Calculo de Confiabilidad para Subestaciones (Fallas)**

La medida de confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es ciento por ciento (100%) confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aun aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco fiable. Un equipo bien diseñado, perfectamente montado, correctamente probado y apropiadamente mantenido no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia ha demostrado que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos fallan alguna vez.

Como se menciona, el valor de la confiabilidad ideal es del 100%; con esto se señala que si un equipo es 100% confiable durante un tiempo determinado, este equipo sin ninguna duda está trabajando durante ese tiempo considerado; por lo tanto: confiabilidad ideal = 1

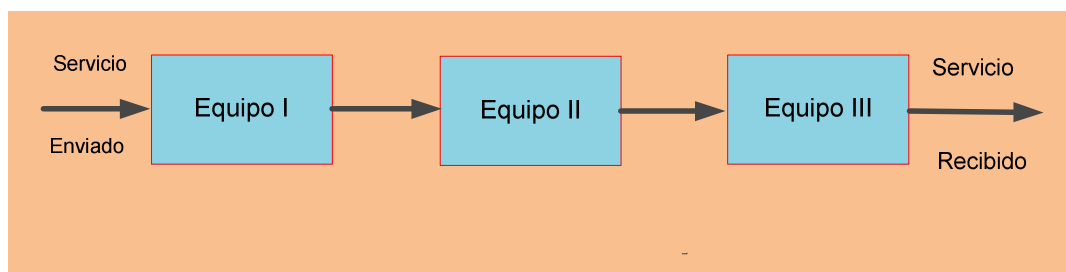
En la práctica la confiabilidad del 100% no existe, pues siempre hay posibilidad de que un equipo falle, por lo tanto es el complemento de la confiabilidad.

Confiabilidad de un equipo = Confiabilidad ideal – Probabilidad de falla.

Confiabilidad en serie: En esta disposición si cualquiera de los equipos deja de funcionar se afecta de inmediato el servicio. Ver figura No. 19.

La confiabilidad o fiabilidad de un equipo en serie es igual al producto de las fiabilidades de sus componentes.

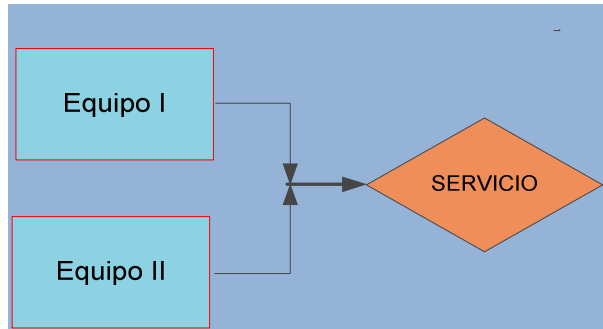
Figura 19. Componentes conectados en serie



Fuente: Dounce Villanueva, la productividad en el mtto industrial. México: continental, 2001. P. 138.

disposición paralelo deja de funcionar, el servicio continúa suministrándose sin pérdida de calidad. Ver figura No. 22.

Figura 20. Componentes conectados en paralelo



Fuente: Dounce Villanueva, la productividad en el mtto industrial. México: continental, 2001. P. 139.

La fiabilidad de un sistema de componentes en paralelo se calcula restando de la fiabilidad ideal la no fiabilidad del sistema.

La no fiabilidad de un sistema con componentes en paralelo es igual al producto de las no fiabilidades de cada uno de los componentes.

Para el cálculo de la confiabilidad de las subestaciones se considera la siguiente ecuación:

$$R = \frac{(TTO - MNp - MP)}{TTO} \times 100$$

R = La confiabilidad

TTO = tiempo total de operación

MNp = mantenimiento no planeado

MP = mantenimiento planeado

Calculo de Mantenibilidad para Subestaciones (reparaciones)

Es la probabilidad de que un elemento, maquina o dispositivo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal, después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica la realización de unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas que generan la interrupción; la normalidad del sistema al ser restaurado puede referirse a su cuerpo como su función.

En general la forma más clara de medir la mantenibilidad es en términos de los tiempos empleados en las diferentes restauraciones, reparaciones o realización de las tareas de mantenimiento requeridas para llevar nuevamente el elemento o equipo a su estado de funcionalidad y normalidad. La mantenibilidad expresa la capacidad con que un equipo se deja mantener para ser regresado a su estado de referencia. El mantenimiento son las acciones concretas que se realizan para mejorar la mantenibilidad, siendo esta última la calificación de cómo se realiza el mantenimiento.

Para el cálculo de mantenibilidad o tiempo medio entre reparaciones en una subestación se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo medio para la reparación} = \text{MMTT} = \frac{df}{f}$$

df = demora de tiempo por las fallas

f = número de fallos

✚ **Calculo de disponibilidad para subestaciones**

Es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico.

La disponibilidad es una medida de la duración de la operación programada que se logra o, de manera inversa, una medida de la duración de la falla o tiempo muerto.

También es una medida relevante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen completa sobre el perfil de funcionalidad.

La ecuación de disponibilidad para subestaciones se define como:

$$A = \frac{S - d}{S} \times 100$$

A = Disponibilidad

S = Tiempo de producción programado

d = Tiempo muerto, en horas

La relación entre disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se aprecia en la expresión:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Confiabilidad}}{\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad}}$$

Donde interactúan los tiempos UT (el equipo funciona correctamente) y los tiempos de fallas debidas a reparaciones (imprevistas) DT (tiempo no operativo), como de otros tiempos relevantes en la disponibilidad o no de las maquinas.

Se puede aproximar la medición de disponibilidad, a la relación entre:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo en el que el dispositivo opera correctamente y funciona bien}}{\text{Tiempo en que el elemento o maquina puede operar}}$$

2.5.2 ESTRATEGIAS DE ATENCIÓN DE FALLAS

La eliminación completa de las fallas de los equipos es imposible. Por ello, es indispensable la previsión de los eventos de falla, y elaborar protocolos o procedimientos para atenderlos de forma que si el sistema pueda funcionar de una manera segura.

Las fallas pueden originarse por deterioro de los equipos debido al desgaste, por eventos aleatorios, por agentes externos al sistema o por la inadecuada operación de los equipos.

2.5.3 HABILIDADES Y DESTREZAS DEL PERSONAL DE OPERACIÓN

La forma en que se opera un equipo puede afectar su disponibilidad o vulnerabilidad a las fallas. La calidad del personal de operación de los sistemas está estrechamente relacionada con la confiabilidad y disponibilidad del sistema.

Los operadores constantemente ejecutan acciones sobre el sistemas, por ello es necesario que sepan la evolución del sistema ante la ejecución de acciones, y que tengan las destrezas y habilidades pertinentes para la operación y control del sistema.

Los operadores deben estar altamente calificados en el uso de los sistemas de control y potencia, en los equipos de las subestaciones y en la forma de responder a eventualidades. Para asegurarse que los operadores son eficientes, es necesario contar con programas de capacitación y con herramientas adecuadas para este fin.

2.6 OPERACIÓN DE SUBESTACIONES ELECTRICAS

La operación del sistema eléctrico es una actividad que integra los agentes que intervienen en él, la generación, la transmisión, la distribución y la comercialización. Componente desde una distribución hasta las grandes generadoras.

En tiempo real, la administración de la operación del sistema eléctrico, es una tarea compleja que requiere la interacción de operadores, sistemas de cómputo, redes de comunicaciones y equipos para la captación de datos en tiempo real en subestaciones. Hay varios aspectos que se deben tener en cuenta en la operación de los sistemas, el primero y más importante es la seguridad del personal que lo opera; esto requiere que se tomen las medidas al conmutar la red de acuerdo con procedimientos de seguridad, de modo que las vidas del personal de servicio de las subestaciones intervienen no se ponga

en riesgo. En segundo lugar, interesa la seguridad o confiabilidad del abastecimiento de energía eléctrica a los usuarios; en la actualidad la energía eléctrica se ha convertido en una necesidad; por tanto su abastecimiento es en extremo importante y cualquier interrupción a un gran número de usuarios se considera una urgencia. Finalmente la operación del sistema tiene que ser tan económica como sea posible; dentro de los límites de seguridad y protección.

La operación de una subestación es la actividad encaminada a operar, controlar, supervisar y mantener los equipos de la subestación para garantizar su óptimo desempeño, su disposición frente al sistema para permitir las modificaciones y la continuidad del servicio.

2.6.1 MANUAL DE OPERACIÓN

Las subestaciones tienen un manual de operación en donde se describen los equipos, los sistemas, las operaciones en condiciones normales y las operaciones en condición de falla en los equipos. En él se describen las principales características de los sistemas y de los equipos que hacen parte de las subestación, contiene todas las consignas operativas para maniobras de equipos, y las medidas de acciones que se deben tomar en caso de falla de los mismos. Debe dar una guía exacta de cómo ejecutar las maniobras oportuna y correctamente. Debe indicar que hacer en caso de presentarse alarmas y disparos de los equipos durante la operación normal.

Dentro del manual de operación se deben encontrar los siguientes tópicos:

- Las generalidades con la descripción de la subestación en términos de configuración, control, protecciones, medidas, servicios auxiliares, registro de fallas, telecomunicaciones, localización geográfica, parámetros del sistema y diagramas unifilares.
- Las secuencias de maniobras de equipos para cada acción operativa con las secuencias de acciones para realizar maniobras completas sobre equipos y la operación correcta de los diferentes sistemas desde los diferentes niveles de control, de acuerdo con el diseño y configuración de la subestación.
- Las acciones de restablecimiento de las condiciones normales de los sistemas y equipos con la descripción de las maniobras y acciones a realizar en caso de presentarse alguna falla o anomalía en la subestación o en el sistema o cualquier causa de mal funcionamiento de los equipos y sistemas.

Consigna Operativa

Las labores de operación de las subestaciones de distribución son realizadas con la mayor precaución, encargando al sistema de supervisar las secuencias correctas mediante enclavamientos. Estos solo se pueden desactivar en condiciones de emergencia (en las salas de control y celdas de protección se encuentran interruptores para desactivar los enclavamientos de equipos primarios de patio).

De la configuración depende la confiabilidad, la seguridad, la flexibilidad de manejo, la transformación y la distribución de energía que proporciona la subestación y a su vez repercute en el nivel de maniobrabilidad.

Dentro de las principales características de la configuración se encuentran: separación de circuitos sin afectar el servicio, separación de interruptores, separación de seccionadores, separación de barras división de sistemas transformación configuraciones más sencillas, y alternativas de conexión y desconexión.

La información y la secuencia de acciones de operación en los equipos primarios de potencia para la realización de acciones de operación en los equipos primarios de potencia para la realización de una determinada operación se centran en la consigna operativa respectiva. En ella se encuentran las condiciones para la realización de la operación, las secuencias de acciones a realizar y el estado final de la subestación. Así mismo, si alguna de estas secuencias no se pudiese realizar, relaciona el documento que se debe consultar para la solución del percance.

Las operaciones más comunes en una subestación son:

En equipos primarios:

- Energización y desenergización de circuitos.
- Energización y desenergización de barras.
- Energización y desenergización de transformadores.
- Puesta a tierra de transformadores, líneas y barras.
- Puesta a tierra de equipos de patio para mantenimiento.
- Suspensión de la puesta a tierra en equipos.
- Transferencias.

En equipos de soporte

- Mantenimiento en plantas de emergencia.
- Mantenimiento preventivo en bancos de baterías.
- Operación en los sistemas primarios de distribución de los servicios auxiliares.

Como se mencionó anteriormente, la consigna operativa contiene acciones a seguir para la realización de una operación determinada. Estas consignas se han clasificado, teniendo en cuenta los sistemas a los que hace referencia, en consignas operativas para equipos de patio y consignas operativas para equipos de servicios auxiliares.

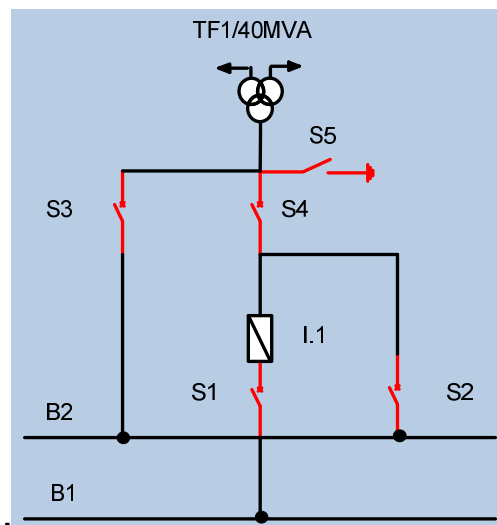
Consignas operativas para equipos primarios

Esta clasificación de consignas hace referencia a las operaciones que se deben hacer en los equipos de patio. Debe existir una consigna operativa por cada operación posible; si alguna maniobra predeterminada en la consigna no se puede realizar, debe remitir a la correspondiente consigna bajo falla.

La realización de una maniobra operativa permite la energización de un circuito. Para la realización de una maniobra se debe verificar las barras o circuitos energizados tal cual sea el caso. La consigna operativa debe contener una estructura básica donde se presentan todas las actividades a desarrollar durante una maniobra.

Como ejemplo de aplicación en una maniobra se analiza una consigna para la configuración que se presenta en la Figura 22 corresponde a una subestación de doble barra con transferencia. Esta consigna operativa corresponde a una acción sobre los equipos primarios en nivel de tensión IV para transferencia al transformador de potencia de 40 MVA.

Figura 21. Diagrama unifilar del campo de la subestación Flandes 115kV



Fuente: El Autor

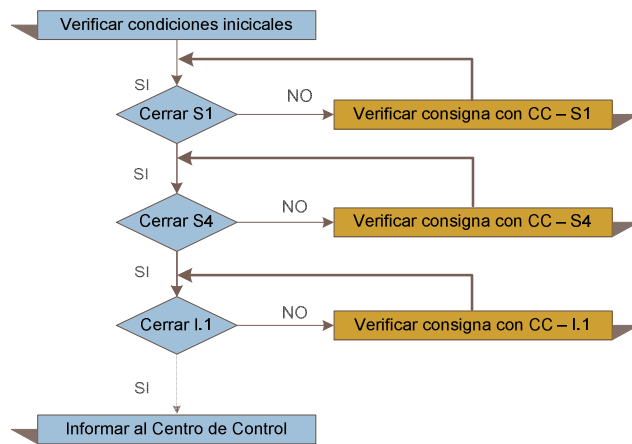
La consigna operativa tiene una estructura básica donde se presentan todas las actividades a desarrollar durante la maniobra. En el flujo grama presentado en la Figura 23 se hace referencia a las consignas bajo falla que se deben aplicar en caso de una contingencia no destructiva de los equipos utilizados en la maniobra operativa que se describe a continuación.

1. Verificar las condiciones iniciales: Según el diagrama de flujo de la Figura 23, el orden de la maniobra es realizar la verificación de las condiciones iniciales requeridas para realizar la maniobra de energización del circuito del transformador de potencia. La verificación de estas condiciones contempla la confirmación del interruptor I.1 y los seccionadores de barras S1 y S2, el seccionador de transferencia S3, el seccionador de línea S4 y el seccionador de puesta a tierra S5.
2. Cierre de seccionadores: Al realizar esta actividad se debe coordinar con el centro de control de la EEC ESP sobre la operación. Éste autorizará preparar el campo

de línea para ser conectado a la Barra B1, cerrando el seccionador S1 y posteriormente el S3. Se debe verificar visualmente en el patio la posición final de los seccionadores operados, posteriormente informar al Centro de Control que el campo del transformador TF1 está preparado.

3. Cierre del interruptor: una vez verificados el cierre de los seccionadores, el Centro de control autorizará el cierre del interruptor I.1.
4. Maniobra final: Para el cierre de la maniobra se debe informar al Centro de Control que el campo del Transformador TF1 queda energizado a la Barra B1 y registrar en el control de incidencias, las maniobras realizadas.

Figura 22. Diagrama de flujo para transferencia de Barras en el campo del TF1 SE Flandes 115 kV



Fuente: El Autor

Consignas operativas para equipos soporte

Se refieren a las operaciones que se deban hacer en los equipos de servicios auxiliares. Son el más numeroso puesto que en estos equipos presentan mayor flexibilidad y el operador de la subestación no está limitado para realizar la intervención de los equipos en comparación con los equipos primarios de alta tensión.

3. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.

3.1 DEFINICIÓN.

La palabra se relaciona con la dirección de empresas, aplicada a un sistema técnico y social cuya función básica es crear bienes y/o servicios que contribuyan a elevar el nivel de vida de la humanidad. La expresión empresa se entiende como un conjunto formado por hombres, máquinas, tecnología, información, planeación y recursos financieros o de cualquier índole que procura alcanzar unos objetivos establecidos con antelación (eficacia y eficiencia), utilizando adecuadamente los recursos disponibles (eficiencia) y protegiendo la naturaleza. La gestión es el integrador para lograr estas premisas (Mora, 1999, 1-46)⁶.

La gestión integral de mantenimiento consiste en actuar en todos aquellos aspectos de importancia para el buen desarrollo de la empresa y que, de una u otra manera, se relacionan con el mantenimiento de las instalaciones. Se trata, por tanto, de gestionar de una manera activa basándose en los objetivos de la empresa y no sólo en los objetivos tradicionales de mantenimiento, disponibilidad y costos, admitiendo una postura pasiva (Navarro y otros, 1997, 47).

3.2 MANTENIMIENTO DENTRO DE LA EMPRESA.

El objetivo de mantenimiento es defender a la empresa de la falla de sus equipos y de sus consecuencias sobre la producción. Tiene, así mismo, una función productiva que consiste en contribuir a la eficacia económica de la empresa. Desde el término de costos, podemos agrupar los gastos correspondientes a los costos directos y a los de no-mantenimiento debido a la no mantenibilidad de los equipos, al costo del ciclo de vida, etc.

La situación actual y futura del entorno de cualquier empresa presenta cambios cada vez más inminentes como son: incremento creciente de la competitividad, disminución del ciclo de vida del producto, excelencia en el servicio, fabricación sincronizada, necesidad de polivalencia y flexibilidad del proceso (Navarro y otros, 1997, 48)⁷.

3.3 SUBCONTRATACIÓN DEL MANTENIMIENTO

La utilización de otras personas o entidades para realizar actividades de gestión u operación de mantenimiento, es una opción siempre latente en las organizaciones, siempre y cuando se haga utilizando conceptos y metodologías de aceptación y validez universal puede ser una buena decisión.

⁶ Luis Alberto Mora. Del autor de Miguel

⁷ *Las organizaciones deben evolucionar hacia la creación de grupos de trabajo en varias disciplinas que permitan una mejora en el proceso para así lograr el objetivo final deseado.*

La clasificación de la herramienta avanzada de mantenimiento se basa en la utilización de dos conceptos fundamentales: la agregación de valor por parte del proveedor subcontratado y el análisis profundo de las actividades o procesos que se delegan bajo una metodología de elementos indiferenciados⁸ (o no) con mapas arquitectónicos, que permiten seleccionar de una manera técnico – económica las mejoras alternativas.

La subcontratación está supeditada a una serie de criterios que vuelven atractiva y adecuada, dentro de estos criterios resaltan:

- ✚ Precio
- ✚ Calidad
- ✚ Tiempos de entrega
- ✚ Secuencia histórica
- ✚ Elementos indiferenciados
- ✚ Cultura interior
- ✚ Recursos y talento humano
- ✚ Ingeniería
- ✚ Control de gestión
- ✚ Tercerización intelectual

La decisión de hacer trabajos con otras empresas de servicio no solo puede basarse en el precio, son innumerables los factores que indican de una forma estratégica en la subcontratación y que hace de esta una nueva alternativa atractiva cuando se realiza en una forma adecuada.

3.4 ORGANIGRAMA

Son sistemas de organización que se presentan en forma intuitiva y con objetividad. También son llamadas cartas o graficas de organización.

Los organigramas señalan la vinculación que existe entre sí de los departamentos a lo largo de las líneas de autoridad principales.

Como instrumento de análisis: detecta fallas estructurales, ya que representa gráficamente unidades y relaciones y estas se pueden observar en cualquier unidad o relación que corresponda con el tipo de actividad, función o autoridad que desempeña la unidad entre sí.

A través de análisis periódico de los organigramas actualizados se pueden detectar cuando el espacio de control de una unidad excede a su capacidad o nivel y en cualquier de estos casos recomendar la modificación de la estructura en sentido vertical u horizontal. Relación de dependencia confusa. A veces se crean unidades sin estudiar

⁸ Indiferenciados, son aquellos servicios, productos o procesos que no son esenciales en la misión de la empresa y que no aportan ningún valor agregado adicional o significativo en el mantenimiento, la producción, operación y que normalmente otras empresa lo hacen mejor por fuera.

primero su ubicación y en el momento de actualizar los organigramas se descubren dobles líneas de mando.

Ningún organigrama debe tener el carácter de final, puesto que su valor verdadero depende de que se le mantenga al día y es con los cambios que va experimentando la estructura.

El tipo de organigrama que va a regir con para la organización se debe seleccionar de mutuo acuerdo con la dirección, tomando como guía fundamental la adopción del que resulte de mayor utilidad provecho para la empresa y no aquel destinado a satisfacer el capricho de alguien:

Los organigramas reflejan:

- ✚ La división de funciones
- ✚ Los niveles jerárquicos
- ✚ Las líneas de autoridad y responsabilidad
- ✚ Los canales formales de comunicación
- ✚ La naturaleza lineal o staff del departamento
- ✚ Los jefes de cada grupo de empleados, trabajadores, etc.
- ✚ Las relaciones existentes entre los diversos puestos de la empresa y en cada departamento o sección.

3.5 GESTIÓN INTEGRAL AL INTERIOR DE MANTENIMIENTO.

La gestión de mantenimiento se puede definir como la dirección y organización de recursos para controlar la disponibilidad y funcionamiento de una subestación a un nivel especificado. El responsable de mantenimiento tiene dos problemas principales: determinar el tamaño y naturaleza de la carga de trabajo de mantenimiento y la organización y control del personal, repuestos y equipos necesarios para responder a ésta carga. Se deben tener en cuenta estas consideraciones: el usuario del equipo debe cooperar con el diseñador, fabricante e instalador en el análisis completo de la fiabilidad y mantenibilidad, también el departamento de mantenimiento debe cooperar estrechamente con el de producción para conseguir el equilibrio óptimo entre los costos de recursos de mantenimiento y la disponibilidad (Kelly y Harris, 1998, 2).

La gestión de mantenimiento debe enfocarse a todos los aspectos que, de una u otra manera, pasan por sus manos y que influyen sobre el desarrollo de la empresa. Así mismo, la gestión integral de mantenimiento debe ser tal que logre el máximo beneficio para la empresa y para ello es necesario tener en cuenta todos los aspectos que rodean a mantenimiento. Si tenemos los equipos duplicados, aumentaremos los costos financieros pero reduciremos los mismos por paros generados por fallas. Si aumentamos los costos del PM, las averías reducirán su frecuencia e importancia, por lo que también lo hará el costo de mantenimiento correctivo por avería (Navarro y otros, 1997, 47-50).

La eficiencia con que la gestión de mantenimiento contribuye para alcanzar la producción total mediante la dotación de capacidades y fiabilidad del parque industrial, se plasma maximizando la disponibilidad de los equipos (Rey, 1996, 139).

3.6 MANTENIMIENTO Y RENTABILIDAD.

Las organizaciones industriales existen para generar un beneficio; usan equipos y mano de obra para transformar materias primas en productos acabados de mayor valor.

El mantenimiento está relacionado con la rentabilidad a través de la productividad de los equipos y el gasto de explotación. Los trabajos de mantenimiento elevan el nivel de los equipos y su disponibilidad, pero al mismo tiempo incrementan los gastos de explotación. El objetivo, de un departamento de mantenimiento industrial debe ser la consecución del equilibrio óptimo entre estos factores. Debido a que las plantas han ido en aumento durante la última década, se ha incrementado la dependencia entre la rentabilidad y el esfuerzo de mantenimiento. Los costos de improductividad son mayores y el trabajo de mantenimiento más sofisticado y costoso.

Se debe prestar una calidad de servicio máxima para obtener una disponibilidad máxima, pero el costo de mantenimiento no debe ser superior al costo de paradas de la producción. El punto óptimo corresponde al valor mínimo de la curva del *costo total*, al que corresponde la máxima disponibilidad o valor óptimo del rendimiento operacional de un sistema de producción con un costo por intervenciones de mantenimiento igual a los costos de las paradas de producción (Rey, 96, 369).

El costo de mantenimiento es un serio problema en los negocios. De acuerdo con DuPont: "Mantenimiento es el mayor costo controlable en una planta; en muchas compañías, frecuentemente excede las utilidades anuales netas". Mientras que el PM, cuando es bien implementado, produce ahorros del orden del veinticinco por ciento, después de ese beneficio su retorno de inversión se ve disminuido. Según un estudio de Forbes Magazine, uno de cada tres dólares gastados en PM, se desperdicia. Estas ineficiencias son resultado del mantenimiento efectuado por un programa basado en tiempo y suposiciones, en vez de hacerlo por la condición de la maquinaria (Trujillo, Internet, 1999).

3.7 EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO.

El consultor internacional en mejoramiento continuo de la productividad, Thomas Westerkamp, plantea que el mantenimiento pronto llegará a ser uno de los centros de costos más importantes al interior de las empresas, superado solamente por los mismos costos operacionales. Se requiere una mayor atención a mantenimiento ya que la carga laboral aumenta sustancialmente, tendiendo: reconversión de equipos y procesos, reconversión de controles de planta, requerimientos más complejos de regulación, cambiar frecuentemente los trabajos aumentando los niveles de entrenamiento, obsolescencia rápida de tecnología, menores inventarios para reducir costos y competir en el mercado mundial.

Un departamento de mantenimiento sobrecargado tendrá menos tiempo para hacer las reparaciones necesarias en el preciso instante que éstas ocurran y así no se podrá cumplir con el cronograma de actividades y por lo tanto las reparaciones de emergencia se incrementan. La mayor productividad resulta cuando cada empleado tiene definido su trabajo, la manera de hacerlo y el tiempo en que lo va a realizar.

3.7.1 Fijar los programas de mantenimiento.

El programa debe iniciarse investigando la estructura de la organización y luego analizando el buen desarrollo de los procesos. Una organización bien diseñada, una línea de flujo, un proceso actualizado y controles de gerencia son esenciales. Un sistema integrado de computación mejorará la planeación, la supervisión y la tecnología para hacer cada trabajo mucho mejor y más rápidamente.

Una revisión de las órdenes de trabajo de los procesos será innecesaria, pero un análisis cercano y una evaluación típica conllevan a un conjunto de oportunidades de mejoramiento. La vida de las órdenes de trabajo empieza con las necesidades del servicio. El personal de planeación escoge los objetivos, el supervisor organiza y asigna el trabajo y el personal técnico lo realiza. Si por algún motivo ocurre un tropiezo en el proceso se necesitará más personal para realizar el mismo trabajo.

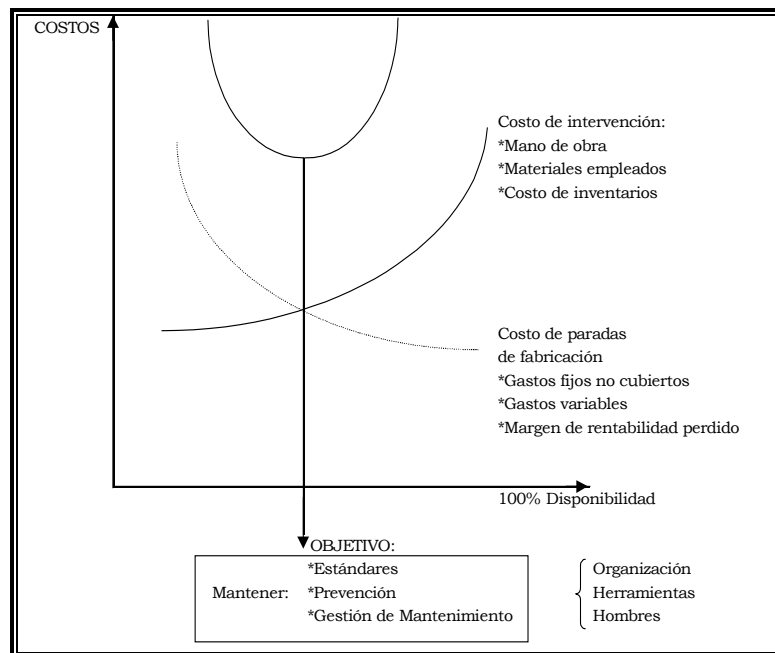
3.7.2 Revelación de recursos escondidos.

Un recurso escondido es el tiempo que se pierde por la continua reparación de fallas repetitivas. Para el encuentro de los recursos escondidos se debe encontrar la constante causa raíz de fallas como resultado de las auditorías de mantenimiento y mediante un análisis de ingeniería se mejorará el diseño del equipo o de un componente de éste, liberando los tiempos perdidos.

3.7.3 Evaluación de los resultados de auditoría.

Para que una evaluación de auditoría sea satisfactoria debe arrojar como resultado que los trabajos de mantenimiento programados deben superar entre el ochenta y cinco y el noventa por ciento de los trabajos totales de mantenimiento, incrementando el cubrimiento de sistema de órdenes de trabajo. Esto hace que la historia del equipo sea más completa y exacta. La acción de tener un porcentaje tan alto de programas de mantenimiento realizado mediante órdenes de trabajo tendrá un mayor impacto en el éxito del programa porque esto dará inmediatamente mayor control sobre los trabajos y recursos de repuestos (Westerkamp, 1998, 22-25).

Figura 23. Curvas de costos de mantenimiento y de paradas.



Fuente: Rey, 1996, 370.

3.7.4 La función del trabajo de mantenimiento.

Los autores Kelly y Harris plantean que el mantenimiento se puede considerar como una combinación de acciones llevadas a cabo para sustituir, reparar, mantener o modificar los componentes de una instalación, para que ésta continúe trabajando con la disponibilidad especificada durante un período de tiempo.

La forma más básica de definir la disponibilidad es:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{T_o}{(T_o + T_p)}$$

T_o = tiempo total de operación en condiciones de diseño.

T_p = tiempo total de parada.

El responsable de mantenimiento sólo puede influir sobre la disponibilidad a través de aquellas paradas en las que se realizan acciones de mantenimiento. En este caso el tiempo total de parada debe modificarse cuando el índice de disponibilidad vaya a ser utilizado en la gestión de mantenimiento. Los factores más importantes que afectan tales paradas son la confiabilidad y la mantenibilidad. Éstas son características que se incorporan en la fase de diseño y que después afectan en la carga de trabajo de mantenimiento.

Las causas de una baja confiabilidad o mantenibilidad sólo se pueden eliminar mediante un rediseño de ingeniería y esto no siempre es responsabilidad del departamento de mantenimiento. El departamento de mantenimiento influye más directamente en la

disponibilidad y mantenibilidad a través del mantenimiento correctivo y preventivo. El objetivo es reducir el costo de tenencia y maximizar la disponibilidad del equipo. El método consiste en participar en el diseño físico tomando en cuenta la confiabilidad y mantenibilidad antes de que el equipo sea construido o antes de hacer en la planta alguna modificación, todo esto en busca de mayor disponibilidad del equipo, introduciendo componentes de mayor confiabilidad. Además, si es necesario, rediseñar para mejorar la facilidad de acceso a partes críticas tanto para poder inspeccionarlas como para su reposición por desgaste o daño llegado el caso (Moore C., Internet, 1999).

3.7.5 Objetivos de mantenimiento, planificación y control.

El objetivo principal en la mayoría de las situaciones industriales es minimizar la suma de los costos de indisponibilidad y de recursos. La organización de mantenimiento establece el nivel, combinación y distribución de los recursos, la estructura administrativa y los sistemas de planificación de trabajos requeridos para permitir que la carga de trabajo, correctivo y preventivo, sea gestionada de la manera más eficiente.

Teniendo en cuenta que el problema de mantenimiento es de naturaleza compleja y cambiante, no sólo es necesario establecer un plan y una organización, sino que también hay que implementar un sistema de control para asegurar que dicha planificación y organización estén continuamente al día. Este sistema tiene tres funciones principales interrelacionadas: control de la carga de trabajo, control del estado de la planta y control de costos (Kelly y Harris, 1998, 1-8).

3.8 Tendencias y perspectivas en la gerencia de mantenimiento

3.8.1 Introducción.

Wireman, en su libro, se refiere a la planeación de mantenimiento como la última frontera de las facilidades manufactureras. En el camino de una organización de clase mundial, muchas empresas se están dando cuenta de la necesidad crítica de un mantenimiento eficiente para tener facilidades de producción. Con la tendencia del justo a tiempo en producción, es vital que la gerencia de mantenimiento se integre con una estrategia de cooperación para asegurar la disponibilidad de los equipos, calidad de los productos, entregas a tiempo y precios competitivos.

Numerosas tendencias tecnológicas y gerenciales de los pasados dos siglos han cambiado los requerimientos en mantenimiento. Por ejemplo, el desarrollo del automóvil, llevó a un sistema de distribución mundial de piezas de repuestos y servicios de mantenimiento.

3.8.2 Tendencias en el conocimiento de mantenimiento.

A medida que la complejidad de los equipos aumenta y la necesidad de disponibilidad de éstos es cada vez mayor, se incrementa el modelo de sofisticación del mantenimiento. Así

pues la idea es que el mantenimiento evolucione hacia una cultura de mantenimiento autónomo e inteligente utilizando los diferentes tipos de PM que se trataron anteriormente.

3.8.3 Surgimiento de nuevos métodos de mantenimiento.

Desarrollos en el área de la inteligencia artificial han llevado al surgimiento de sistemas expertos y redes de información. Estas soluciones técnicas han encontrado numerosas aplicaciones en la planeación de mantenimiento. Frecuentemente las razones para el uso de estos sistemas expertos en mantenimiento son el incremento de la complejidad de los equipos, el origen de nuevos problemas de mantenimiento, la falta de habilidad en el desarrollo del mantenimiento en una organización, el tiempo reducido para entrenar técnicos novatos, etc. Existen una gran variedad de estos sistemas expertos cada uno de ellos aplicables a una labor muy específica según la necesidad del usuario (Luxhoj y otros, 1997, 437-453).

3.9 MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE MANTENIMIENTO.

Los ingenieros, técnicos y profesionales del mantenimiento deben estar siempre preparados para afrontar el desafío que representa la disponibilidad de las instalaciones de producción. No obstante, en algunas oportunidades, faltan métodos y por lo tanto, resultados y credibilidad en el seno de su empresa y en particular ante su dirección. El mantenimiento se está convirtiendo en algo urgente, en la condición indispensable de la competitividad. Por tanto, la función de mantenimiento es ineludible.

El hombre aporta a la tecnología progresos constantes, tanto en el campo de la fiabilidad de los componentes como en el de las relaciones secuenciales automáticas en las máquinas. En este nuevo paisaje industrial, el hombre fabricante se convierte en un hombre vigilante ya no del producto, sino de la máquina que lo fabrica; pues este producto está cada vez más fuera de las manos del operador como consecuencia de la automatización de los procesos. Así se convierte el mantenimiento en una función productiva, lo que no ocurre en el caso de los equipos débilmente automatizados.

Las empresas tratan cada vez más de valorar las pérdidas de producción como consecuencia de los incidentes técnicos que se presenten. Esta evaluación permite los costos directos de mantenimiento en los derivados de su ineficacia. El mantenimiento del instrumento implica también mantener las calificaciones constantes de los hombres dentro de la empresa. Las responsabilidades se desplazan, convirtiendo al operador de la máquina en el hombre más importante en el mantenimiento (TPM). El trabajo en un entorno automatizado se va convirtiendo cada vez más en un trabajo de equipo, lo que implica una capacitación mayor a los responsables del funcionamiento de las máquinas y se necesita movilidad y formaciones cruzadas entre los miembros del grupo (RCM).

Los siete instrumentos del mantenimiento son: el análisis de las indisponibilidades de los equipos de producción, que consiste en determinar con gran exactitud las causas de indisponibilidad de los equipos de producción, cuantificarlas y proponer los ejes de mejora que permitan eliminarlas o disminuir sus consecuencias; La mejora de la disponibilidad de los equipos; los métodos de mantenimiento; el asesoramiento en la organización del

mantenimiento; el mantenimiento condicional (mantenimiento predictivo); la informática; las tarjetas de diagnóstico y los sistemas expertos. (Souris, 1992, 89-95).

3.10 MANTENIMIENTO Y CALIDAD.

Durante los últimos cincuenta años la calidad no siempre ha ocupado un sitio importante dentro de las empresas del medio industrial. Anteriormente no se consideraba como una preocupación fundamental ya que no se trataba de algo impuesto por la competencia. Durante los años de fuerte crecimiento, los fabricantes se contentaban con producir para vender sin darle importancia a la calidad del producto. En la actualidad los mercados se han limitado, la globalización de los negocios y la competencia internacional se ha vuelto más dinámica e inquietante en varios aspectos (Souris, 1992, 143).

La competencia ha llevado a la continua automatización de las fábricas, lo que implica teóricamente un aumento en la producción, en la eficacia, etc. La fabricación justo a tiempo (J.A.T.)⁹ y la calidad total¹⁰ son la respuesta al desafío que presentan las empresas al enfrentarse a ésta nueva dinámica empresarial introduciendo al interior del departamento de mantenimiento el concepto calidad en cuanto a disponibilidad de los equipos se refiere (Rey, 1996, 141).

Entre el control total de calidad (TQC)¹¹ y el TPM, las relaciones son cada vez más fuertes pues el primero está reservado para los dirigentes, pero con el TPM, el que se encuentra en contacto directo con el instrumento industrial y a través de éste con el producto y su calidad es el operario (Mora, 1999, 1-13).

3.10.1 LA CALIDAD.

La calidad es hacer las cosas bien la primera vez, permitiendo a la producción el fluir regularmente sin controles, rechazos o recuperaciones, ni paradas por averías, obteniendo: un producto apto para el uso, adecuado a las necesidades del cliente, de diseño actual adecuado al mercado, de acuerdo con los requerimientos del cliente y ofrecido al precio que pueda pagar (Rey, 1996, 142).

Souris, en su libro "El mantenimiento: Fuente de Beneficios" describe el mantenimiento como un instrumento esencial para asegurar la calidad, tanto en el nivel de los equipos como en el de los productos que éstos fabrican. Los instrumentos de ayuda para llegar a la calidad total son muy parecidos a los que se pueden utilizar en la búsqueda de la disponibilidad en mantenimiento. En consecuencia, la utilización de los siete instrumentos en la calidad en mantenimiento presta un inestimable servicio.

Los siete instrumentos de la calidad son:

⁹ Fabricar lo que el mercado exige en el momento que lo exige.

¹⁰ La retroalimentación generada por el cliente al interior de la empresa.

¹¹ Total Quality Control.

El proceso de búsqueda de la calidad total tiene ciertas similitudes con las búsquedas de la disponibilidad total. No es una utopía comparar los instrumentos de la calidad con los del mantenimiento ya que en realidad se pueden aplicar en ambos procesos.

1. Lista de verificación.

La lista de verificación recoge los datos y permite, en forma de matriz de distribución de los defectos, obtener una situación real y actual de forma cualitativa y cuantitativa.

2. La clasificación.

La clasificación, como la lista de verificación, aporta la representación gráfica por líneas y por columnas.

3. Esquema gráfico.

El esquema gráfico de gestión muestra el seguimiento y la evolución de un resultado a partir de una unidad de medida elegida.

4. El método de pareto.

El método de pareto permite separar lo esencial de lo intrascendente. Parte del principio de que del veinte al treinta por ciento de las fallas básicas, corresponden del setenta al ochenta por ciento de las averías comprobadas.

5. Diagrama de causas y efectos.

El diagrama de causas y efectos, más conocido con el nombre de espigas de pescado, permite catalogar las diferentes causas que tienen una influencia probable sobre un efecto.

6. Histograma.

El histograma es un instrumento de análisis y de diagnóstico que tiene límites de referencias.

7. Esquema de distribución.

El esquema de distribución muestra la relación que existe entre dos datos que varían uno en función del otro, manteniendo por ejemplo la relación existente entre la velocidad de corte y el desgaste de un instrumento (Souris, 1992, 143-150).

3.10.2 EL EQUIPO DE TRABAJO.

Todo el funcionamiento de la planta y el personal de apoyo necesitan ser informado del plan y su efecto en cada individuo de manera oportuna. Ellos necesitan participar en los procesos de la reingeniería para que puedan apropiarse del plan. Personal que entiende y está de acuerdo con un proceso, está más dispuesto a cooperar con él y no creará dificultades posteriormente. El Trabajo en equipo a lo largo del proceso de reordenación de organizaciones es crucial para lograr el éxito.

 **Entrenamiento.**

Un programa de entrenamiento específico debe desarrollarse cubriendo todos los aspectos para realizar los cambios propuestos. Sesiones de entrenamiento y reuniones de progreso serán necesarias para presentar las nuevas ideas, deben presentarse los métodos básicos para que el personal los entienda. Estas sesiones deben limitarse a una hora cada día y deben cubrirse todos los aspectos del nuevo plan, pueden usarse los talleres para enfocarse en los problemas actuales y diarios cuando ellos se presentan.

Deben usarse los métodos de entrenamiento prácticos para ayudar en el desarrollo de soluciones cuando los problemas se presenten. Los entrenamientos deben ser continuados hasta las que los nuevos estándares estén completamente establecidos y así puedan sostenerse.

El personal de la planta necesita ser entrenado en habilidades para resolver problemas usando una metodología formal. Las personas necesitan este tipo de entrenamiento para poder aprender como analizar constructivamente la información.

Usando una metodología de acercamiento común, todos los involucrados traerán una iniciativa de cómo afrontar los problemas, de cómo actuar y aportar recomendaciones. En el momento que los problemas se presenten y cuando la tendencia de los indicadores sea negativa, la compañía puede resolver dichos problemas de manera conjunta con un equipo funcional entrenado para analizar la solución.

El centro de costos.

Un centro de costos puede ser un equipo creado para producir sólo un artículo o el componente de un producto. Cada uno de los grupos recientemente establecidos constituirá centros de costo individuales. Una vez creado, cada centro de costo debe ser rastreado y monitoreado para controlar los factores importantes de tendencia, para proporcionar una información exacta y viable al personal de dirección acerca de dónde se está gastado el dinero.

Se debe establecer una clasificación de identidad específica para cada centro de costos. De ésta forma todos los trabajos de mantenimiento pueden ser cobrados a cada centro de costos específico.

El compromiso de mantenimiento es una alta disponibilidad eficaz de los equipos al más bajo costo. Este compromiso implica para mantenimiento una constante búsqueda del equilibrio entre costo de mantenimiento preventivo y predictivo y los costos del mantenimiento correctivo y su complicidad con el lucro cesante.

La pregunta que surge necesariamente es: cuales son los costos imputables al mantenimiento? Cualquier estructura de costos puede simplificarse en:

Costos Directos, son inevitables en un programa de mantenimiento, es todo aquello que va incorporado al producto es el servicio prestado por mantenimiento. Se incluye entonces en los costos directos todo aquello utilizado en las intervenciones propias del mantenimiento, tales como:

- Costo de la mano de obra directa o contratada
- Repuestos, materiales e insumos.

- Alquileres, arrendamientos y gastos varios.

Costos Indirectos, son aquellos que no van involucrados directamente en el servicio, pero son necesarios para prestarlo con eficacia y prontitud. Esto lo resuelve el sistema contable de acuerdo a las políticas más correctas establecidas para tal fin. Sin embargo cualquiera que sea el sistema, pueden identificarse los más significativos:

- La administración y gestión del mantenimiento debe operar con una estructura organizacional, la cual está al servicio de toda la empresa, y por lo general cuenta con un presupuesto para su adecuado. Como distribuir estas inversiones entre todos los equipos?
- Las intervenciones en los equipos, producto de un programa de mantenimiento preventivo, predictivo o de una falla imprevista, con parada de equipos, incurren en unos costos directos e indirectos de producción que pueden ser imputables al mantenimiento. A algunos de estos costos se los llama lucro cesante. La determinación de los costos o pérdidas de producción imputables a mantenimiento deben realizarse más con el ánimo de corregir las deficiencias que para dirimir responsables.
- Las pérdidas inducidas, como las sanciones por demora en las entregas, pérdida de ventas, pérdida de clientes y lo que es peor del “buen nombre”.
- Más aun el mantenimiento minorativo, que implica inversiones a cargo del presupuesto de mantenimiento, puede representar un incremento de los activos, por revalorización de equipos.

COSTO DEL MANTENIMIENTO	Salarios + materiales + repuestos utilizados
COSTO DE PARADA	Perdidas de producción + salarios pagados sin producir
COSTO TOTAL	Costo de mantenimiento + Costo de Paradas

Los equipos no se pueden mantener para que no fallen porque sería demasiado costoso y se pasaría al sobre mantenimiento.

4. ORIENTACION AL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES

Al buscar una filosofía aplicable al mantenimiento en subestaciones, se puede encontrar que orientar el mantenimiento hacia la Disponibilidad de equipos es la más ajustable a los requerimientos y características de este componente de Sistemas de Potencia. Esta orientación debe estar basada, tal vez, en los argumentos más utilizables de la filosofía del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y del Mantenimiento basado en la Confiabilidad (RCM). Antes de hablar de los argumentos más aplicables al Mantenimiento en subestaciones, tal vez sea necesario mencionar por qué ambos tipos de mantenimiento, no son directamente aplicables a subestaciones, es decir cada uno por sí solo y completamente aplicado a subestaciones.

El TPM es una filosofía de mantenimiento que exige Calidad Total en el trabajo de mantenimiento, lo cual no es difícil de obtener, pero en consecuencia exige que en los sistemas en los que se aplica esta filosofía, llegar al nivel de "cero fallas"; sabiendo que en sistemas de potencia la mayor parte de las fallas se deben a factores externos, muchas veces que escapan al control (condiciones climáticas, por ejemplo), no será posible llegar al nivel de "cero fallas", sin elevar considerablemente los costos de operación, y por ende el precio de la unidad de energía eléctrica.

Por otro lado, el RCM es un sistema de mantenimiento que se basa en la Confiabilidad, es decir que el sistema en el que se aplica el RCM debe continuar con su trabajo normal a pesar del surgimiento de alguna falla o de la falencia de algún componente del sistema, y esto se logra mediante el reemplazo de dicho componente en el sistema productivo, sin importar si este reemplazo es similar o no, el punto es que el sistema mantenga su ritmo de producción. 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 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, que pudieron haberse evitado si el componente en cuestión hubiera estado cumpliendo sus funciones.

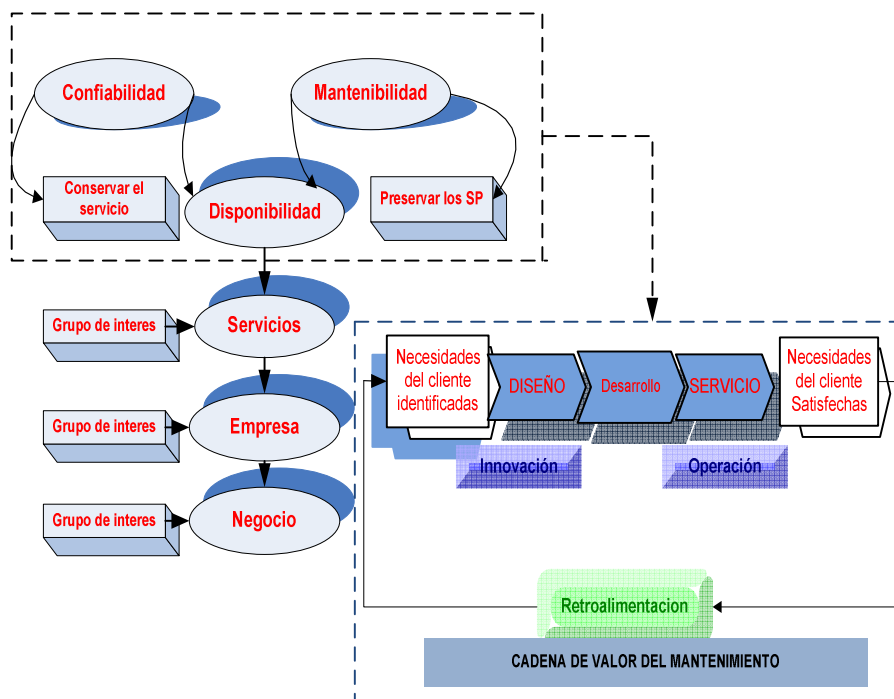
Pero esto no descarta a los tipos de mantenimiento mencionados para su aplicación en subestaciones, cabe mencionar que el RCM puede formar parte del TPM aplicado a un sistema productivo; si se analiza, el TPM es una filosofía que se refiere más al recurso humano del mantenimiento, y su comportamiento en el desarrollo de dicha función, que al sistema productivo en sí, y el RCM se inclina más al sistema productivo y su confiabilidad. Por tanto, estos argumentos pueden ser aplicables a cualquier sistema incluyendo subestaciones.

Esto lleva a buscar la Confiabilidad de una subestación, y según lo antes mencionado, para lograr esto deberá buscarse la Disponibilidad de los equipos de la misma, ya que 'equipos disponibles cumplen su función, y por tanto el sistema será confiable'. Para que los equipos estén disponibles, el **mantenimiento preventivo** desempeñará un papel importante, dejando de ese modo, la posibilidad de fallas debidas principalmente a

factores externos, es donde el **mantenimiento correctivo** deberá desempeñar su papel, y para el buen desempeño de estos mantenimientos, el personal deberá comportarse con seguridad, orden y disciplina necesarios, y es donde el TPM se aplica.

Pero el mantenimiento no es estático, es evolutivo, por tanto necesita actualizarse, analizarse y reflexionarse para su mejora continua, será entonces cuando intervenga el **mantenimiento proactivo**. Los tres mantenimientos mencionados, estarán entrelazados entre sí, lo que se convertirá en un mantenimiento integrado, aplicado a subestaciones.

Figura 24. Concepto del Mantenimiento



4.1 POR QUE MANTENER?

Las razones por las cuales hacemos mantenimiento pueden ser resumidas en las siguientes categorías (con base a los beneficios logrados).

A. Prevenir o disminuir el riesgo de fallas

Busca bajar la frecuencia de fallas y/o disminuir sus consecuencias (incluyendo todas sus posibilidades). Esta es una de las visiones más básicas del mantenimiento y en muchas ocasiones es el único motor que mueve las estrategias de mantenimiento de algunos sistemas.

B. Recuperar el desempeño

Con el uso de los equipos el desempeño se puede ver deteriorado por dos factores principales. Pérdida de capacidad de producción y/o aumento de costos de operación. Grandes ahorros se han logrado al usar éste como gatillo para el mantenimiento, ya sea que a veces este factor es de dimensiones mayores a las fallas a evitar. Ejemplos típicos incluyen: cambios de TCs, pararrayos, seccionadores, etc.

C. Aumentar la vida útil/diferir inversiones

La vida útil de algunos activos se ve seriamente afectada por la frecuencia/calidad del mantenimiento. Por otra parte se pueden diferir grandes inversiones, como por ejemplo reconstrucciones de equipos mayores. Encontrar el punto exacto de máximo beneficio económico es de una suma importancia aquí. Ejemplo, la frecuencia con la cual se hace mantenimiento mayor de un transformador de potencia que se ve influenciada por la parada del mismo.

D. Seguridad, ambiente y aspectos legales

Muchas tareas de mantenimiento están dirigidas a disminuir ciertos problemas que puedan acarrear, responsabilidades legales relativas al medio ambiente y seguridad. El valor de dichas tareas es difícil de evaluar. El uso de herramientas avanzadas de cómputo ha permitido en algunos casos evaluar la relación costo/riesgo y así determinar los intervalos óptimos de mantenimiento.

4.2 MANTENIMIENTO INTEGRADO

Teniendo en cuenta que las subestaciones son un componente importante de los sistemas de potencia, además de ser los de mayor costo económico, y que la continuidad del servicio depende en gran parte de ellas; es necesario aplicar a estos sistemas (subestaciones) una adecuada Gestión de Mantenimiento. Esta gestión deberá observar al mantenimiento preventivo, englobando 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, conformando así al Mantenimiento Integrado.

Figura 25. Mantenimiento Integrado



Fuente: Ramos, Internet, 1998.

4.2.1 PRODUCCIÓN Y EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPOS

Para lograr esto debemos tener objetivos operativos claros, y no hay duda que uno de los más importantes y básicos es el de Producir. La Producción (P) no es el resultado de un esfuerzo aislado, sino el producto de una acción combinada la cual se inicia con la Capacidad Instalada (C), que depende de la inversión realizada; sigue con el Ritmo (R), que depende de cómo se efectúe la operación de las instalaciones; continua con la Calidad (Q), la cual es función del sistema de gestión de calidad que la empresa haya desarrollado; para terminar con la Disponibilidad (D), la cual depende del mantenimiento que realicemos. Los cuatro factores son necesarios para el desarrollo de la producción.

$$= C \times R \times Q \times D$$

Esto nos lleva al primer gran indicador a tener en cuenta que es la Efectividad Global de Equipos (EGE), el mismo es a su vez el producto de tres indicadores también muy importantes, el Ritmo, la Calidad y la Disponibilidad.

$$EGE = R \times Q \times D \quad (\%)$$

El Ritmo es la relación entre la capacidad real y el total de ésta más las pérdidas por trabajo en vacío, pequeñas paradas y ritmo reducido.

$$R = CR / (CR + PV) \quad (\%)$$

La Calidad es la relación entre la producción de primera calidad y el total de ésta y los rechazos por defectos en el proceso o disminución de rendimientos.

$$Q = P1^aC / (P1^aC + RE) \quad (\%)$$

La Disponibilidad es la relación entre el tiempo de operación real y el tiempo total programado a operar, que es la suma del tiempo de operación real, el tiempo de reparación y el tiempo de espera.

$$D = TO / (TO + TR + TE) \quad (\%)$$

Las normas ISO 9000-4: 1994 e IEC 300-2, definen el término "Seguridad de Funcionamiento", el cual es: El término colectivo usado para describir el Desempeño de Disponibilidad (D) y los factores que lo influyen, el Desempeño de la Confiabilidad, de la Mantenibilidad y de la Soportabilidad. El Desempeño de la Confiabilidad se expresa mediante el *Tiempo Medio Entre Fallas* (MTBF), el Desempeño de la Mantenibilidad mediante el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y el Desempeño de la Soportabilidad mediante el Tiempo Medio de Espera (MWT). Estos tiempos medios son también indicadores usados ampliamente para medir el desempeño del mantenimiento.

$$D = MTBF / (MTBF + MTTR + MWT) \quad (\%)$$

Es importante definir los conceptos de Confiabilidad, Mantenibilidad, y Soportabilidad. La Confiabilidad es la probabilidad de estar funcionando sin fallas durante un determinado tiempo en unas condiciones de operación dadas.

Un concepto importante de señalar al hablar de confiabilidad, dada la definición de mantenimiento indicada en párrafos anteriores, es que ningún mantenimiento es capaz de dar más confiabilidad a un equipo o instalación que su confiabilidad inherente dada por el diseño o montaje.

La Mantenibilidad es la probabilidad de poder ejecutar una determinada operación de mantenimiento en el tiempo de reparación prefijado y bajo las condiciones planeadas.

La Soportabilidad es la probabilidad de poder atender una determinada solicitud de mantenimiento en el tiempo de espera prefijado y bajo las condiciones planeadas.

4.2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo consiste en la pronta reparación de la falla, se le considera de corto plazo, las personas encargadas de reportar la ocurrencia de las averías son los propios operarios de los equipos y corresponde al personal de mantenimiento las reparaciones de éste (Navarro y otros, 1997,31). Exige para su eficacia, una buena y rápida reacción de la reparación (recursos humanos asignados, herramientas, repuestos,

elementos de transporte, etc.); la reparación propiamente dicha es rápida y sencilla, así como su control y puesta en marcha (rey, 1996,52).

El principal inconveniente que presenta este tipo de acción de mantenimiento es que el usuario detecta la falla cuando el equipo está en servicio o recién pierde su funcionalidad, ya sea al ponerlo en marcha o durante su utilización.

Existen dos tipos de tareas no planeadas en el orden correctivo:

- ✚ El desvare, consiste en aplicar una reparación inmediata al equipo para devolverlo a la condición de trabajo u operación, pero no necesariamente a sus condiciones estándares; se aplica en urgencias donde no se debe paralizar el proceso operativo del servicio.
- ✚ Reparación correcta y definitiva, donde alguna manera se tienen experiencias previas similares y se conoce la causa raíz de la falla; esta reparación devuelve el equipo a sus condiciones estándares de producción y mantenimiento.

4.2.3 ACCIONES MODIFICATIVAS

La tarea no planeada denominada acción modificatoria, es una versión superior y desarrollada de las acciones correctivas. Sucede cuando en forma continua se aplican reparaciones que no surten efecto en la recuperación de la funcionalidad del equipo, es entonces cuando se da lugar a la aplicación de algunos de los instrumentos básicos avanzados de mantenimiento, con el fin de determinar las razón primaria de la condición fuera del estándar, una vez se encuentra la causa raíz del problema se pasa a realizar modificaciones en el equipo ó sistema, mediante la aplicación de conceptos y acciones propias de la ingeniería de diseño; estos hechos en forma sistémica se reconocen como procesos de acciones modificativas de mantenimiento.

El mantenimiento modificativo intenta eliminar la causa de la falla. Este consiste en mejorar el diseño de los equipos sea por envejecimiento o por obsolescencia tecnológica, en hacerles modificaciones, que permitan una mayor vida útil del mismo.

4.2.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La aplicación de instrumentos avanzados y básicos de mantenimiento, deriva en el conocimiento de las fallas y de su causa raíz, con todas sus connotaciones asociadas, como: características, situaciones propias y de ambiente donde se da, periodicidad, ocurrencia, medidas, soluciones, síntomas, causas básicamente inmediatas, modos de falla, función que se afecta, falla funcional presente etc., permite planear el tiempo cuando debe hacerse la reposición ó reconstrucción del elemento antes de que entre en modo de falla por cuerpo o función.

Lo normal es que el parámetro de medición para determinar el momento del cambio físico (o reconstrucción) o de su ajuste funcional se haga en términos tales como: horas de

servicio, cantidad de desgaste, unidades producidas, velocidades alcanzadas, consumo, valor de alguna variable de condición, etc. Posteriormente y una vez conocida la cifra previa del parámetro se programa y se realiza la acción preventiva antes de que alcance la condición fuera del estándar, en ese momento se interviene y se realiza la tarea proactiva de falla, que se conoce como preventiva. La novedad de las acciones preventivas es que nunca se debe alcanzar el estado de falla, presenta el inconveniente de que cuando el elemento es sustituido o ajustado funcionalmente, se pierde cierta cantidad de vida útil ya que no alcanza su estado de falla o desarrollo completo de la vida útil.

El mantenimiento preventivo MP¹² es la ejecución de un sistema de ejecuciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos, con el fin de detectar las condiciones y estado de estos elementos, que puedan ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de maquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aun en estado inicial de desarrollo (Patton, 1995,17-37).

La función principal del mantenimiento preventivo es conocer el estado actual de los equipos mediante los registros de control llevados en cada uno de ellos y en coordinación con el departamento de programación, para realizar la tarea preventiva en el momento más oportuno. Consiste entonces en una serie de actuaciones sistemáticas en las que desmontan las maquinas y se observan para reparar o sustituir los elementos sometidos a desgaste.

El mantenimiento preventivo se puede clasificar en dos versiones:

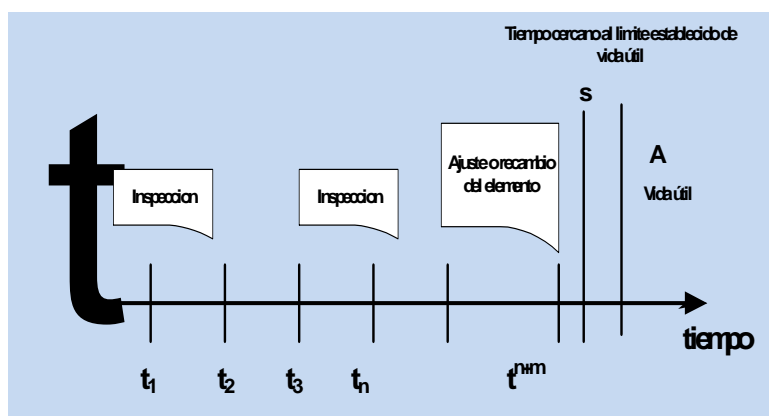
- ✚ **Basado en el tiempo**, es cuando intervienen en el tiempo y la frecuencia de inspección, el mantenimiento preventivo en esta versión es llamado sistemático.
- ✚ **Basado en la condición**, es cuando interviene la condición de desgaste encontrada en la última revisión, conlleva al mantenimiento preventivo condicional logrando maximizar la vida útil del elemento y consiguiendo de esta forma reducir los costos de mantenimiento.

Las ventajas principales frente a otros tipos de tareas de mantenimiento son:

- Evitar averías mayores como consecuencia de pequeñas fallas.
- Preparar las herramientas y repuestos
- Realizar reparaciones en el momento más oportuno tanto para producción como para mantenimiento.
- Distribuir el trabajo de mantenimiento optimizando la cuadrilla de reparación
- Disminuir la frecuencia de paros y aprovechar estos para realizar varias reparaciones diferentes al mismo tiempo.

¹² MP, en adelante durante la lectura del texto.

Figura 26. Situaciones de las acciones preventivas



Fuente: Mora, 2008, 265

Desventajas.

- Se reduce la confiabilidad de elementos que se encontraban operando bien.
- Las máquinas pueden fallar demasiado temprano o demasiado rápido.
- Las tendencias requieren de tiempo y una amplia experiencia en equipos similares.

Figura 27. Tareas o acciones preventivas del mantenimiento

Selección de equipos críticos	<ul style="list-style-type: none"> • Criterios por los cuales se considera crítico • Análisis de variables críticas • Sistemas de medición de las variables
Rutas Lógicas Codificación Patrones de medida	<ul style="list-style-type: none"> • Horas de funcionamiento • Ciclos de trabajo • Horas de funcionamiento de la subestación
Límite de vida útil en servicio	<ul style="list-style-type: none"> • Inspecciones periódicas • Trabajos de mantenimiento

Codificación

Establecer un código para las plantas, los sistemas o líneas de producción, para los equipos con características especiales, para las máquinas y equipos, aun para las herramientas y repuestos, es una necesidad de la organización del mantenimiento. También cobra vigencia la codificación de las actividades básicas de mantenimiento.

No se pretende tomar partido por ningún sistema de codificar en particular, más bien se sugiere aquel que satisfaga las condiciones y características de la planta, que permita identificar nemotécnicamente el equipo, su localización y función; que sea lo más corto posible, pero uniforme en su aplicación y que su implementación no resulte excesivamente costoso. Puede estar constituido de un sistema alfanumérico o solo alfabético o solo numérico.

Figura 28. Métodos de Nomenclatura internacional



Tabla 2. Clases y tipos de equipos

CLASES	TIPOS
0-Transformadores	21. Transformadores de potencia 22. Transformadores de distribución 23. Transformadores de corriente 24. Transformadores de tensión
0- Interruptores	21. Interruptor de potencia interior 22. Interruptor de potencia exterior
1- Seccionadores	21. De línea 22. De sistema puesta a tierra
2- Reconectores	21. Reconector aislado en aceite 22. Reconector en vacío 23. Reconector aislado en SF6
3- Equipos de protección	21. Relés de protección 22. Interruptores 23. Pararrayos

Tabla 3. Ejemplo de codificación

Equipos primarios en interconexiones eléctricas	001 a 99	Principales en patio	650 a 699
Terrenos y cuartos de mando	100 a 199	Auxiliares eléctricos internos	700 a 749
Equipos de medición	200 a 299	Instrumentos de medida exterior e interior	750 a 799

- Efecto en la continuidad operacional
- Efecto en la calidad del servicio
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene

- Costos de paradas y del mantenimiento
- Frecuencia de fallas / confiabilidad

- Condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad).
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección y mantenimiento
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento
- Disponibilidad de repuestos

 **Modelo de criticidad de factores ponderados basados en el concepto de riesgo.**

Este método fue desarrollado por un grupo de consultoría inglesa denominado: The Woodhouse Partnership Limited. Este es un método semicuantitativo bastante sencillo y práctico, soportando en el concepto del riesgo: **Frecuencias de fallas x consecuencias.**

A continuación se presenta de forma detallada la expresión utilizada para jerarquizar sistemas:

Criticidad total = Frecuencia x consecuencias de fallas(I)

Frecuencia = Rango de fallas en un tiempo determinado (fallas / ano)

Consecuencias = (Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costo de Mtto + Impacto de Seguridad, Ambiente e Higiene).

Los factores ponderados de cada una de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan en la tabla 5.

Tabla 4. Factores ponderados a ser evaluados

Frecuencia de Fallas:		Costo de Mtto:	
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a 5000 US	2
Promedio 1-2 fallas/año	3	Inferior a 5000 US	1
Buena 0.5-1 fallas/año	2		
Excelente menos de 0.5 falla/año	1		
Impacto operacional:		Impacto en seguridad ambiente higiene (SAH):	
Perdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto Externa como interna y requiere la Notificación a entes externos de la Organización	8
Parada del sistema o subsistema y Tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente/instalaciones	7
Impacta en niveles de inventario o o calidad	4	Afecta las instalaciones causando Daños severos	5
No genera ningún efecto significativo Sobre operaciones y producción	1	Provoca daños menores	3
Flexibilidad Operacional:			
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4		

Hay opción de repuesto compartido	2	(ambiente – seguridad)
Almacén		No provoca ningún tipo de daños
Función de repuesto disponible	1	a personas instalaciones o al ambiente

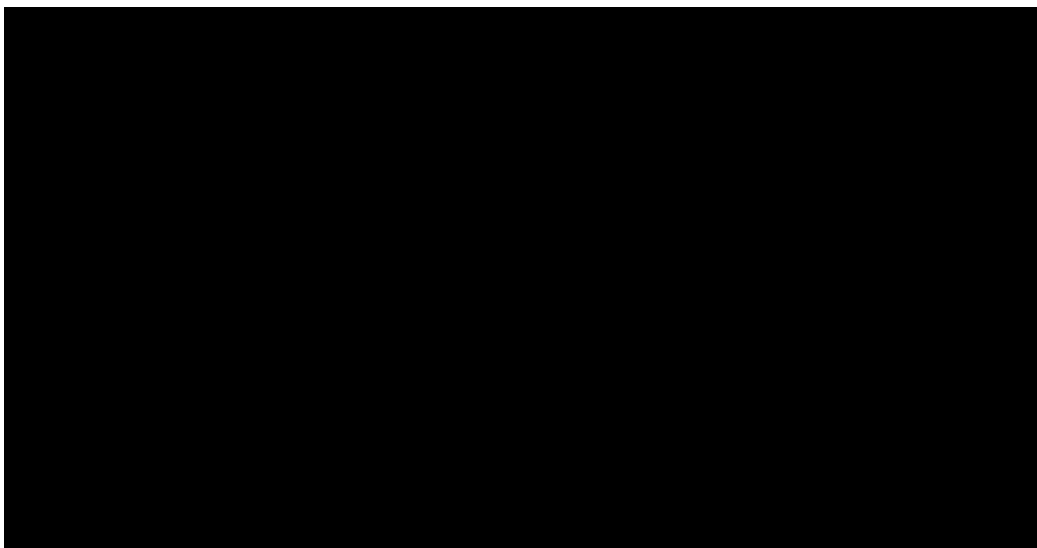
Estos factores se evalúan en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional. Una vez que se evalúan en consenso cada uno de los factores presentados en la tabla anterior, se introducen en la fórmula de criticidad total (I) y se obtiene el valor global de criticidad.

Máximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados evaluados = 200.

Para obtener un nivel de criticidad de cada sistema se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias y se ubican en la matriz de criticidad – valor de frecuencia en el eje Y, valor de consecuencias en el eje X. la matriz de criticidad mostrada en la figura 6 permite jerarquizar los sistemas en tres áreas.

- ✚ Área de sistemas No críticos (NC)
- ✚ Área de sistemas de Media criticidad (MC)
- ✚ Área de sistemas Críticos (C)

Tabla 5. Matriz General de la Criticidad



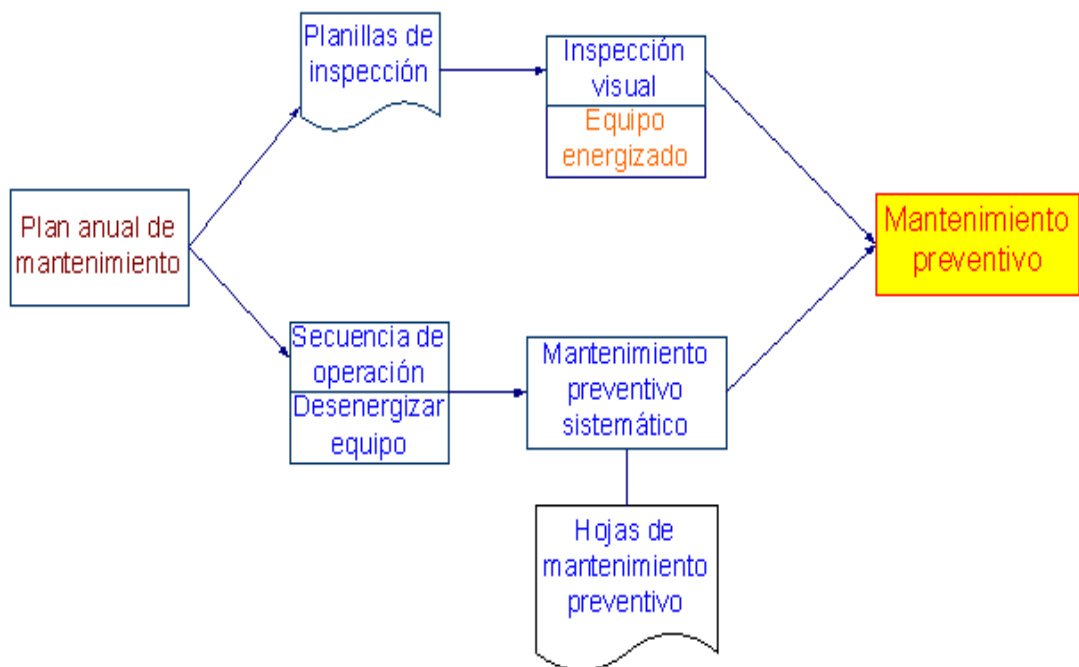
4.3 OPERACIONES DE MATENIMIENTO EN LAS SUBESTACIONES

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), tienen varios componentes y cada uno con características singulares, y éstos forman parte importante de todo el sistema, cumpliendo cada uno con sus funciones específicas, diferentes de los demás componentes, pero

importantes para el buen funcionamiento del sistema, tanto en condiciones de calidad como de continuidad de servicio. Uno de estos componentes son las subestaciones, cuya función es la interconectar circuitos entre sí, con las mismas características de potencia, aunque con características diferentes en algunos casos (voltaje y corriente).

Esto lleva a buscar la Confiabilidad de una subestación, y según lo antes mencionado, para lograr esto deberá buscarse la Disponibilidad de los equipos de la misma, ya que 'equipos disponibles cumplen su función, y por tanto el sistema será confiable'. Para que los equipos estén disponibles, el mantenimiento preventivo jugará un papel importante, dejando de ese modo, la posibilidad de fallas debidas principalmente a factores externos, es donde el mantenimiento correctivo deberá jugar su papel.

Figura 29. Orientación al mantenimiento en subestaciones



Mantenimiento preventivo

Las distintas operaciones de mantenimiento preventivo a realizar en los sistemas que conforman las subestaciones, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento, están agrupadas en función de sus características y frecuencias en tres grupos:

- ⚡ Operaciones de Control
- ⚡ Operaciones de revisión
- ⚡ Operaciones de Conservación

4.3.1 OPERACIONES DE CONTROL

En los diferentes sistemas que conforman las subestaciones se realizan controles para garantizar el funcionamiento y conservación general de los mismos en lo que tiene que ver con obras civiles, equipos primarios y secundarios instrumentos, comunicaciones. Las operaciones mínimas que se deben aplicar son:

- ✚ Comprobar visualmente el estado general de estructuras, seguridad de las instalaciones, sistemas puesta a tierra, estado general de la construcción.
- ✚ Comprobar visualmente el funcionamiento de equipos y sistema.
- ✚ Diligenciar el formato establecido para consignar las condiciones actuales de operación.

Este tipo de mantenimiento se efectúa en forma mensual, sin desenergizar la línea, no utiliza herramientas ni instrumentos en la mayor parte de los casos, y como su nombre lo indica consiste sólo en inspecciones visuales.

Tiene la finalidad de revisar visualmente el estado exterior de los equipos, anotándose en una planilla los resultados de dicha inspección.

Las planillas tienen una casilla por fase, es decir, tres para los equipos, en las que se anotan las letras correspondientes al estado exterior del equipo, según el siguiente criterio:

Tabla6 . Orientación al diligenciamiento de formatos de inspección

Diligenciamiento de las planillas de inspección		
Letra	Significado	Estado
G	Grave.- Significa un estado de avería del equipo mostrado en el exterior, que implicará programación de un mantenimiento correctivo.	Cimientos quebrados, falta de perfiles o pernos de la estructura, perfiles dañados, conexión a tierra suelta, cables sueltos (no aislados) en el mando, baja densidad en las celdas del banco de baterías, manchas graves de aceite, fuga del aislante (SF6, aceite), porcelanas seriamente dañadas, rotas o fogoneadas, falta de aisladores o seriamente dañados, conductores sueltos o hebras rotas, iluminación fuera de servicio, falta de fusibles, presencia de humedad, daños en manómetros, vacuómetros o medidores de temperatura, radiadores rotos, bajo nivel en las celdas, banco de baterías, averías en cubicales, silicagel no azul, daños en anillos equipotenciales
L	Leve.- El daño es menor, avería menor que puede solucionarse cuando se efectúe el mantenimiento programado.	Leve daño en porcelanas, polvo en el mando, daños menores 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 el equipo está en buen estado, visto exteriormente, implica la ausencia de los casos antes señalados.	
----------	--	--

Fuente: El Autor

Existen ciertos ítems que se observan a la hora de hacer una inspección visual, y se registran el estado de estos ítems en las planillas de inspección, según lo antes mencionado. Para los equipos de una subestación, se tiene:

Tabla 7. Equipos a tener en cuenta para inspección visual

Transformador de potencia	Construcciones civiles, tanque, conexión a tierra, porcelanas de los bushings, limpieza general, tanque conservador, radiadores, ventiladores, silicagel, relé Buchholz, cambiador de taps, manómetro, vacuómetro, nivel de aceite, indicador de temperatura, caja de control, terciario, temperaturas de aceite y bobinas.
Interruptores (aceite, SF6, vacío, aire)	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, indicador de estado, mando, borneras, calefacción, hermeticidad, fugas de aceite, presión de gas (N2), número de operaciones, hermeticidad.
Transformadores de medida (CT's, PT's, CCPD's)	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, visor de aceite, nivel de aceite, calefacción, caja de borneras, nivel de N2, capacitor Seccionadores Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, hermeticidad mando, relé de conexión a tierra.
Pararrayos	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, anillo equipotencial, número de descargas, conexión de potencia.
Banco de capacitores	Fundaciones civiles, estructura soporte, conexión a tierra, malla de seguridad, señalización, aisladores conexiones, fugas.
Banco de baterías	Estructura soporte, conexión a tierra, ventilación, tensión de banco, tensión de cada celda, nivel, temperatura, densidad.
Reconectores	Actuador magnético del tanque del interruptor, sistema de potencia integrado por voltaje DC y AC, banco de baterías de respaldo, conexiones eléctricas de alimentación del control, display de señales de servicio, estado del gabinete y carcasa.

Fuente: El Autor

4.3.2 OPERACIONES DE REVISIÓN

Las operaciones de revisión se realizan para asegurar un correcto funcionamiento de todos los elementos que hacen parte del sistema de transporte. Consiste en examinar un ítem mediante operaciones de desarme, inspección, reparación en caso de ser necesario y armado; a fin de asegurar su correcto estado de funcionamiento.

En dichas visitas si se deduce el tener que corregir defectos que precisen de una actuación inmediata, bien sea por la seguridad propia del sistema por que pueda quedar afectado el correcto funcionamiento del mismo, se deberá proceder a una operación de conservación aunque este fuera de las frecuencias preestablecidas.

Las operaciones mínimas que deben realizarse en las subestaciones son las siguientes:

- ✚ Mantener habilitadas las vías de acceso, esto facilita la entrada de maquinaria y equipos necesarios para realizar labores de mantenimiento.
- ✚ Controlar la limpieza de drenajes, cárcamos exteriores e interiores.
- ✚ Preservar las instalaciones de obra civil y estructuras de patio.
- ✚ Mantener visibles la identificación tanto de equipos de patio como interiores.
- ✚ Cumplir con las políticas del plan de manejo ambiental de residuos sólidos y líquidos como aceites y ácidos de baterías.
- ✚ Comprobar visualmente el estado y funcionamiento normal del sistema.
- ✚ Comprobar el buen funcionamiento de mandos de equipos vía remota o manual.
- ✚ Revisar visualmente el estado de conexiones de conductores y equipos de patio para detectar posibles fugas de corriente.
- ✚ En transformadores de potencia detectar fugas de aceite por los bujes de alta y baja tensión, tanque de expansión, sellos entre el pasa tapas y la cuba, fisuras en la cuba, instrumentos de medida de temperatura de devanados y aceite.
- ✚ En interruptores detectar fugas de aceite o gas SF₆, estado de la parte activa.
- ✚ En sistemas de medida comprobar niveles de corrientes y tensiones de entrada y salida del sistema.
- ✚ Sistemas de puesta a tierra debidamente aterrados para evitar accidentes en personas y equipos.

4.3.3 OPERACIONES DE CONSERVACION

Se realizan para garantizar, además de los requisitos expuestos en las operaciones de revisión, un funcionamiento continuo e ininterrumpible de los elementos que conforman el sistema intervenido. Dichas operaciones comprenden su estado de conservación como el grado de fatiga o desgaste de las piezas y elementos susceptibles de fallos, por estar sometidos a un continuo trabajo mecánico y de temperatura.

En dichas visitas solo se deberán corregir defectos que precisen una actuación inmediata, bien sea por la seguridad propia de la instalación o por que pueda quedar afectado el correcto funcionamiento de ésta.

4.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La permanente revisión y el estudio de las variables internas o externas asociadas (directa o indirectamente) al proceso de operación de un equipo, permite diagnosticar el comportamiento futuro en tiempo real de la posible aparición de fallas o situaciones fuera de las condiciones estándares, con el fin de evitarlas a toda costa y alargar los periodos de funcionalidad del equipo y por consiguiente la vida útil total.

El mantenimiento predictivo estudia la evolución temporal de ciertos parámetros, para asociarlos a la ocurrencia de fallas, con el fin de determinar en qué periodo de tiempo esa situación va a generar escenarios fuera de los estándares, para así poder planificar todas las tareas proactivas con tiempo suficiente para que esa avería nunca tenga consecuencias graves ni genere paradas imprevistas de equipos.

El predictivo basa sus principios en el conocimiento permanente del estado y la operatividad de los equipos, mediante la medición de diferentes variables. El control que se tiene de estas variables determina la utilización del predictivo. La principal ventaja radica en la velocidad de detección de la avería (en forma anticipada y temprana al hecho), mientras que en otros casos solo es posible establecer una frecuencia. A su vez, las acciones predictivas incorpora algunas variables que aumentan la información del estado de los equipos.

4.4.1 Ventajas del mantenimiento predictivo

- ✚ Reduce el tiempo de parada al conocerse exactamente que elemento es el que falla.
- ✚ Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- ✚ Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- ✚ Realiza la verificación de la condición de estado y monitoreo en tiempo real de la maquinaria, tanto la que se realiza en forma periódica como la que se hace de carácter eventual.
- ✚ Maneja y analiza un registro de información histórica vital, a la hora de la toma de decisiones técnica en los equipos.
- ✚ Define los límites de tendencia relativos a los tiempos de falla o de apariciones de condiciones no estándares.
- ✚ Posibilita la toma de decisiones sobre la parada de una planta en momentos críticos.
- ✚ Facilita la confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- ✚ Provee el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.
- ✚ Facilita el análisis de las averías.
- ✚ Aplica el análisis estadístico del sistema.

4.4.2 Desventajas del mantenimiento predictivo

- ✚ Altos costos en inversión inicial de equipos.

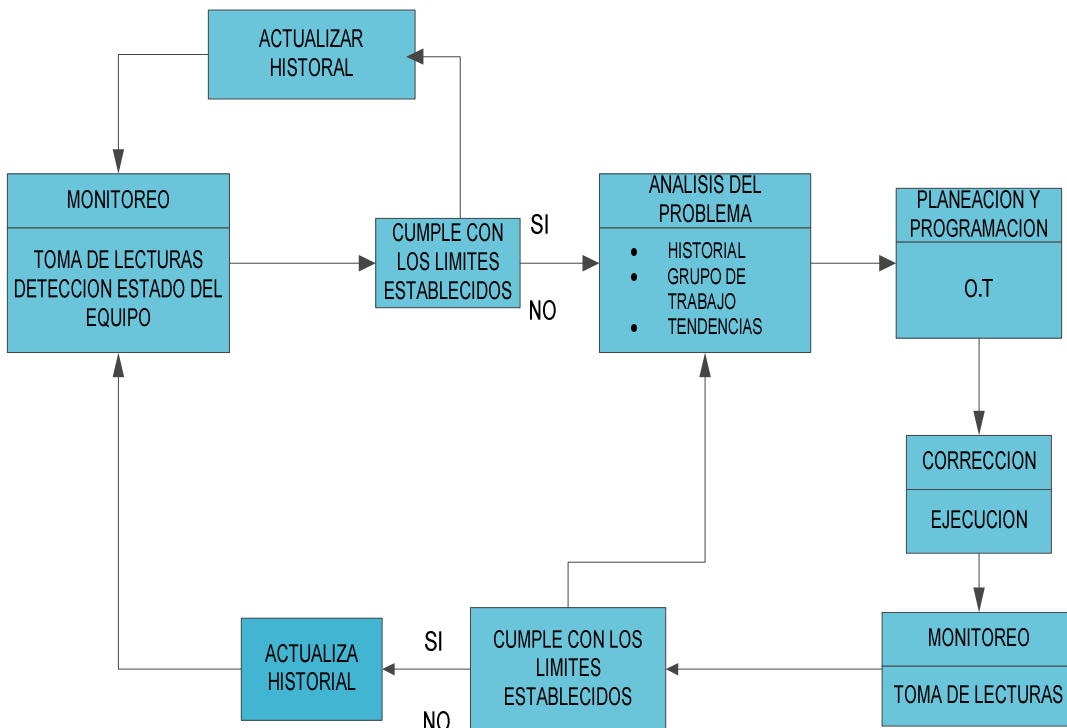
✚ Personal altamente calificado.

4.4.3 Etapas que implementa el mantenimiento predictivo

- ✚ **Detección:** A través de equipos y tecnología se detecta la existencia de problemas o de la condición operativa de la máquina.
- ✚ **Análisis:** Se generan reportes de la medición identificando cual es el problema que ocurre y en donde.
- ✚ **Corrección:** Se genera el reporte de reparación correspondiente y la programación de la parada.
- ✚ **Verificación:** Se realiza una detección post mantenimiento, para corroborar el éxito del mismo y determinar la confiabilidad de la operación.

La secuencia de actividades a realizar en el mantenimiento predictivo se describen en la figura No. 30.

Figura 30. Diagrama del mantenimiento predictivo



El mantenimiento predictivo interviene cuando al efectuar las pruebas al equipo, se llega a conocer su estado actual y es posible entonces, conocer el estado futuro o anticiparse a

las posibles fallas. El mantenimiento preventivo sistemático se realiza generalmente con línea desenergizada, pero existen algunas técnicas que se pueden aplicar sin necesidad de desenergizar la línea. En la mayoría de las industrias el mantenimiento programado se efectúa en días en los que la producción puede ser interrumpida, pero en el caso del servicio eléctrico, ya que su continuidad no puede ser interrumpida, estos trabajos se programan en días en los que el consumo de energía eléctrica es menor que los demás, lo que ocurre generalmente los fines de semana. También existen disposiciones de subestaciones que permiten que algunos equipos puedan ser desenergizados para trabajos de mantenimiento, sin que esto implique la interrupción del servicio eléctrico, pero de todos modos requerirá de una coordinación con los responsables de operación.

5. PLAN PROPUESTO

5.1 ANALISIS DE LA CONDICION ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

A partir del año 2005 con la reestructuración de la empresa en sus niveles jerárquicos y la distribución de sus procesos, se creó dentro del proceso operativo la Dirección de Operación y Mantenimiento, tiene como objetivo principal operar y mantener la infraestructura eléctrica en óptimas condiciones con el fin de prestar un servicio de energía de forma continua.

En este proceso se gestionan las solicitudes y quejas técnicas, además de realizar el mantenimiento programado de la infraestructura eléctrica y las subestaciones instaladas en las zonas donde la EEC ESP es operador de red.

Dentro de la organización de desarrollo empresarial en expansión y ampliación de la capacidad instalada en MVA de la EEC-ESP en Cundinamarca, la entrada en servicio de las nuevas subestaciones está a cargo del Proceso de Planeación de la Red, quien a través de la Coordinación de Obras se encarga de su construcción y energización. Posteriormente, la Dirección de Operación y Mantenimiento es el encargado de Operar y Mantener el activo en cumplimiento con los estándares de la regulación y las políticas de calidad fijadas por la empresa.

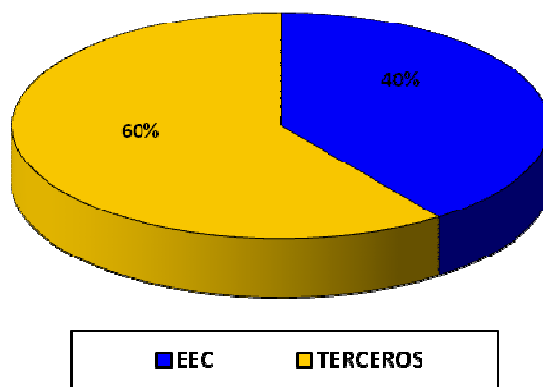
La condición actual del mantenimiento de los activos en las subestaciones es realizado a través de un programa anual de mantenimiento en el que participan ingenieros y personal técnico de la empresa en un nivel de ejecución de alrededor del 40%, el 60% de los mantenimientos es realizado por terceros a través de contratación, supervisados por los ingenieros del proceso operativo.

Las labores de mantenimiento ejecutadas por terceros en las subestaciones se distribuyen de acuerdo a cada especialidad de los equipos y herramientas tecnológicas.

Los recursos económicos para tal fin fijados anualmente mediante la aprobación del presupuesto de inversión y mantenimiento de los equipos seleccionados para dichas labores.

La empresa, con personal de mantenimiento y contratistas realiza rutinas de mantenimiento preventivo y algunos de mantenimiento predictivo basándose en un programa anual diseñado por el proceso operativo, los indicadores que miden el cumplimiento del programa normalmente se cumplen con alguna deficiencia, esto no garantiza el nivel de confiabilidad de los activos. A pesar de lo anterior, se observan algunas deficiencias que pueden ser remediadas aplicando herramientas de tipo medible contenidas en el mantenimiento de clase mundial.

Figura 31. Distribucion del Mantenimiento.



Fuente: El Autor

Las deficiencias más relevantes en la gestión del mantenimiento actual son:

- ✚ La estructura organizacional obedece a lineamientos que no se cumplen en su totalidad y satisfacción, relacionadas con las necesidades reales de un mantenimiento que garantice la máxima confiabilidad en la operación de las subestaciones. adicionalmente no son claras o no están definidas algunas funciones del personal encargado de planear, ejecutar y controlar las rutinas del mantenimiento.
- ✚ Las frecuencias en las actividades de mantenimiento no se ajustan a las necesidades reales de los sistemas que conforman la infraestructura de las subestaciones. Algunas de ellas hacen que se intervengan equipos innecesariamente y otras se quedan cortas en el tiempo, lo que genera altos índices de indisponibilidad por mantenimientos correctivos.
- ✚ El sistema operativo ha tenido avances en la implantación de nuevas tecnologías pero esta actualización no se ha llevado a diagramas de proceso, lo que hace que no se tenga un control detallados de los componentes de las subestaciones. algunas de las fallas presentan índices mayores de criticidad que otras.
- ✚ La codificación actual de los elementos que conforman el sistema de las subestaciones no está definido lo que impide contar con hojas de vida actualizadas de cada sub sistema, igualmente impide trazabilidad a las actividades ejecutadas. Esto conlleva en algunos casos a reprocesas en las actividades del mantenimiento.
- ✚ Las actividades de mantenimiento predictivo son una simple verificación de una variable a la cual no se le realiza una trazabilidad. Además, se aplican técnicas que no aportan en predecir fallas en los equipos principales.
- ✚ Algunas actividades de diagnostico especializado se emplean únicamente para corregir fallas puntuales mas no para realizar análisis de las tendencias al mejoramiento.

✚ No existe en la empresa indicadores actuales de mantenimiento, la gestión de mantenimiento y la confiabilidad de los equipos son anónimos.

✚ No existe índices de los costos de mantenimiento y costos operativos de las subestaciones.

La Empresa de Energía de Cundinamarca S.A. tiene por objeto la prestación del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica en el departamento de Cundinamarca posee aproximadamente 230.000 clientes, extiende sus redes en 16.000 Km, tiene una potencia instalada de 398 MVA y 45 Subestaciones

La cantidad de los elementos más importantes correspondientes a los distintos equipos a operar y mantener en el área de Subestaciones son:

Tabla 8. Lista de Equipos de Subestaciones de la EEC

EQUIPOS	CANTIDAD
Transformadores de AT/MT	68
Interruptores de AT y MT	35
Transformadores de medición de AT	18
Transformadores de medición de MT	72
Descargadores de AT	18
Descargadores de MT	96
Seccionadores de AT	15
Seccionadores de MT	36
Seccionadores de PAT	72
Transformadores de S.I.	3
Rectificadores	12
Baterías	720
Reconectores	130

Fuente: El Autor

5.2 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

La gestión de un modelo de mantenimiento preventivo y predictivo es el tema de investigación que se ha desarrollado en el presente proyecto, basado en los métodos más utilizados actualmente por la industria del sector industrial, el sector eléctrico y las recomendaciones de sus fabricantes. Haciendo uso de las herramientas modernas del mantenimiento. La necesidad de alcanzar índices de eficiencia y eficacia en el

funcionamiento de los activos y en la gestión de recursos, ponen en desafío la participación del proceso de Operación y Mantenimiento de la empresa.

Uno de los requisitos de la empresa es la generación de valor. En otras palabras, la capacidad de generar valor es el rendimiento de una inversión. Las medidas del retorno incluyen flujo de caja e ingresos, mientras que la inversión incluye los activos y su adecuada ganancia por usarlos y mantenerlos en óptimas condiciones de eficiencia. Todas las estrategias para mejorar el mantenimiento pueden ser clasificadas empleando uno o más de estos mecanismos fundamentales:

- ✚ Evolucionar permanentemente
- ✚ Eliminar el desperdicio
- ✚ Cambiar hábitos y costumbre del mantenimiento obsoleto
- ✚ Mejorar la confiabilidad
- ✚ Reducir el riesgo
- ✚ Satisfacer a los clientes y usuarios

Para emprender el camino correcto hacia la gestión del mantenimiento propuesto, se deben seguir las siguientes prácticas:

1. Obtención de una iniciativa corporativa: los objetivos y métodos de optimización deben ser dirigidos y totalmente soportados por la dirección de la compañía.
2. Formulación de metas alineadas con las necesidades del negocio: es necesario que las metas sean abordadas con una conexión frontal al negocio.
3. Definición de un horizonte: aunque las estrategias y actividades para lograr el mejoramiento pueden ser muy claras es importante trazar un horizonte en el tiempo (meses ó años), esto permitirá el correcto desarrollo de la estrategia la cual debe identificar claramente la posición actual de la gestión del mantenimiento.
4. Definición de la estructura organizacional adecuada: debe establecerse un equipo de trabajo para orientar la confiabilidad que satisfaga las necesidades prioritarias del mantenimiento y no debe existir como una iniciativa particular. Hay que buscar apoyos de alto nivel, amigables, con una curva de aprendizaje corta, que sean fácilmente extensibles.

Los indicadores de claves de desempeño del mantenimiento son establecidos para realizar seguimiento o mostrar todos los aspectos críticos de un proceso de mantenimiento en la empresa. Si son exactos, proporcionaran una base firme, para tomar de decisiones de expansión y eficiencia del proceso operativo, la eficacia y el éxito.

Todo lo anterior significa que para, que para poder mostrar que se es competitivo y exitoso, es necesario usar mediciones de factores clave como son: la calidad, la productividad, la rentabilidad, la imagen, la seguridad y la integridad ambiental, que en conjunto expresan el desempeño.

Esta visión pretende ser lograda mediante a un modelo a seguir que permite:

- ✚ La orientación hacia la confiabilidad como concepto global en vez de disminución de costos o la reducción de tiempo de paradas.

- ✚ La realización de diagnósticos, auditorías y evaluación de las prácticas del mantenimiento.
- ✚ La definición y uso de un plan estratégico de desarrollo que describe y establece una visión corporativa relacionada con la confiabilidad y buen desempeño de los activos.
- ✚ La utilización extensiva de mediciones de desempeño, con metas apropiadas.
- ✚ La adopción de estrategias de reducción de fallas y reducción del tiempo perdido.
- ✚ El énfasis en las funciones de los activos en lugar de su estructura.
- ✚ La certeza de que el equipo es operado dentro de los límites de operación especificados.
- ✚ La optimización de las estrategias del equipo de mantenimiento.
- ✚ El mejoramiento de la administración de sistemas de materiales y almacenes.
- ✚ El mejoramiento de la administración de sistemas de materiales y almacén.
- ✚ El mejoramiento de los procesos de planeación y programación.
- ✚ La implementación de estrategias efectivas de contratistas externos.
- ✚ El uso de benchmarking, para identificar las oportunidades y barreras para el mejoramiento.

Una vez expuestas las expectativas del mantenimiento preventivo y predictivo, propuesto a la empresa, se describe la organización del plan, estructura organizacional del proceso, Ingeniería de mantenimiento, apoyo, concepción de activos.

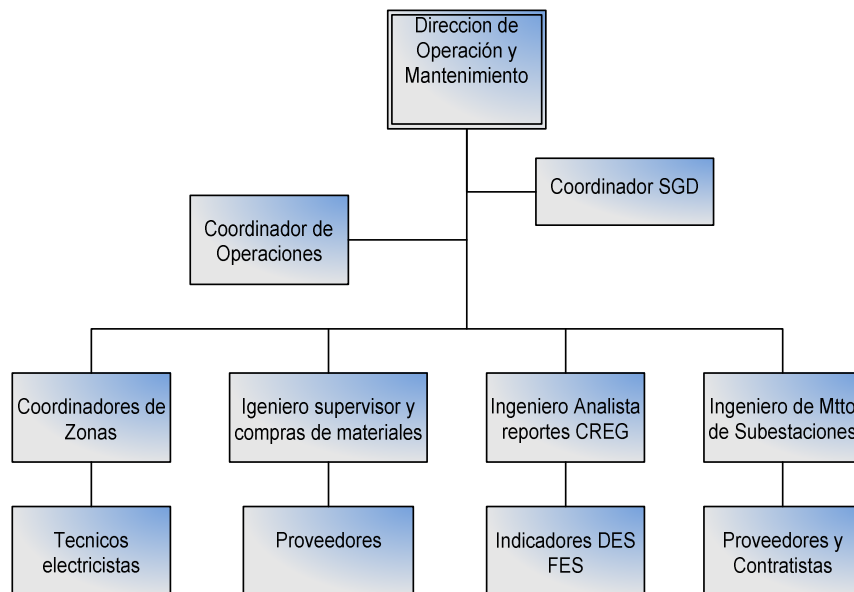
5.3 DESARROLLO DEL PLAN PROPUESTO

5.3.1 Estructura organizacional del proceso de Operación y Mantenimiento.

El propósito de cumplir con los programas y métodos de mantenimiento requiere de una estructura organizacional de profesionales y técnicos de la empresa y contratistas que garanticen la efectiva gestión del mantenimiento. Es importante resaltar el grado de comunicación que debe existir entre el personal que interviene en la operación y mantenimiento de manera que la programación de rutinas, las ordenes de trabajo, los reportes, informes y sistemas de información sea lo más claro y confiable.

La figura 32, representa el organigrama del proceso de operación y mantenimiento en la empresa en el cual el personal de las zonas (Operativo) está interrelacionado en el mismo nivel con el personal de mantenimiento, como soporte están los profesionales encargados de las compras de materiales y encargados de la consolidación de los informes y reportes a los entes reguladores del sector.

Figura 32. Organigrama de la Dirección de Operación y Mantenimiento

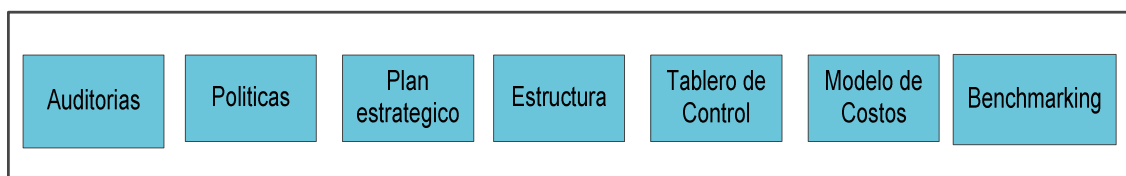


Fuente: El Autor

5.3.2 Funciones del Proceso de Mantenimiento.

Desde la dirección de mantenimiento se debe establecer las funciones y directrices con un enfoque gerencial, la gestión de mantenimiento debe: proyectar, dirigir, evaluar y crear definiciones para mejorar la organización de mantenimiento. Ver Figura 33.

Figura 33. Funciones Propias del proceso de mantenimiento.

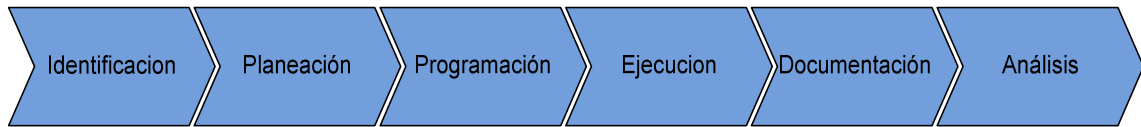


Fuente: El Autor

5.3.3 Administración de intervenciones

Tiene como funciones la de realizar actividades específicas planeadas y no planeadas para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos activos e instalaciones de las subestaciones. La figura 34 ilustra la cadena de valor de organización de las intervenciones.

Figura 34. Cadena de Valor de la Organización del mantenimiento

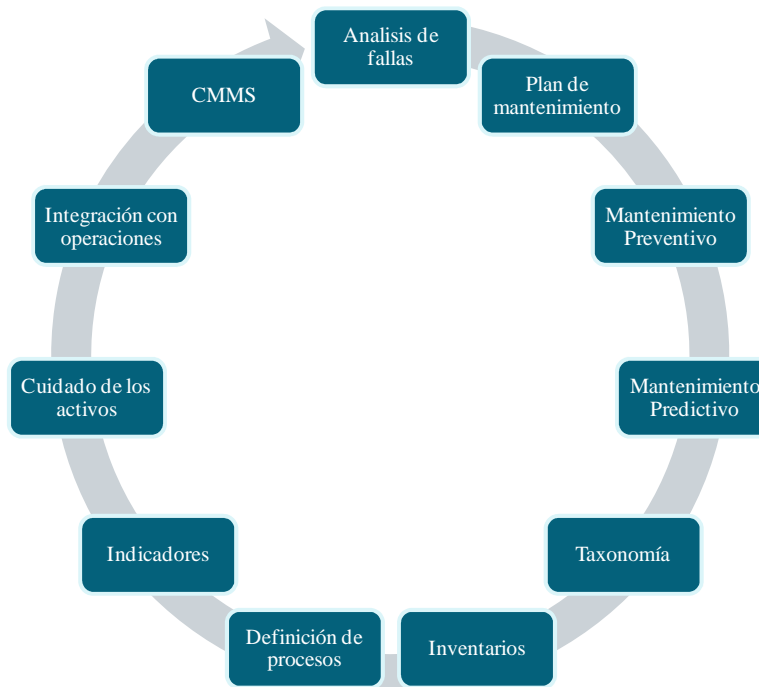


Fuente: El Autor

5.3.4 Ingeniería del Mantenimiento

Se establece las actividades del mantenimiento que, a partir de las necesidades de la gestión, van a definir el curso de las acciones a implementar, los métodos y las oportunidades más apropiadas para satisfacerlas, ver Figura 35.

Figura 35. Actividades de la Ingeniería del Mantenimiento



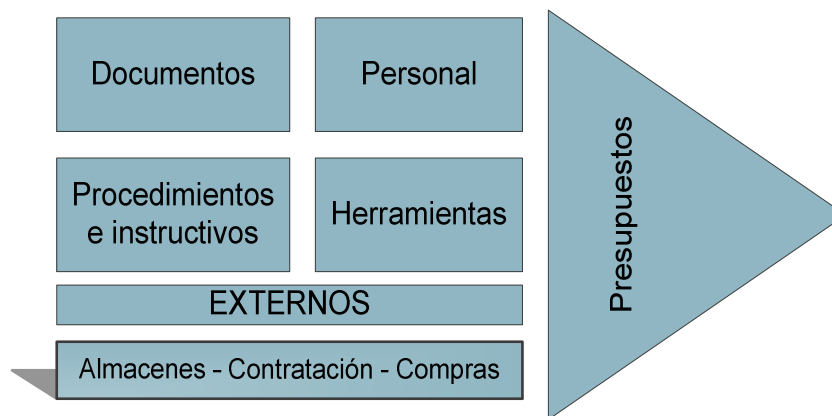
Fuente: El Autor

5.3.5 Apoyo del Mantenimiento

Los elementos de apoyo utilizados en la gestión del mantenimiento son indispensables para satisfacer las necesidades requeridas para el desarrollo del proceso de operación y mantenimiento de las subestaciones, y para hacer frente a los nuevos retos que exige el

cumplimiento de los objetivos y planes propuestos en el modelo de mantenimiento. Ver Figura 36.

Figura 36. Elementos de Apoyo en el Mantenimiento



Fuente: El Autor

5.4 PLAN ESTRATEGICO DEL DESARROLLO

La aplicación de un modelo de gestión de mantenimiento exige una planeación adecuada y sustentable; por esto se debe desarrollar e implementar un plan de desarrollo.

El plan estratégico documenta la posición propuesta, proporciona una visión futura de las operaciones e identifica un conjunto de estrategias y proyectos detallados para lograr una visión futura.

Pretende establecer indicadores de eficacia, eficiencia y resultados relacionados con las metas; esto reflejará claramente la adopción de nuevas conductas y facilita logro de los objetivos indicados que resultan de estos cambios.

El adecuado plan de desarrollo permitirá establecer estrategias orientadas a definir planes de mejoramiento en el área de mantenimiento, de acuerdo con los resultados obtenidos para cada una de las variables identificadas en el diagnostico y el desarrollo de la aplicación del modelo de gestión.

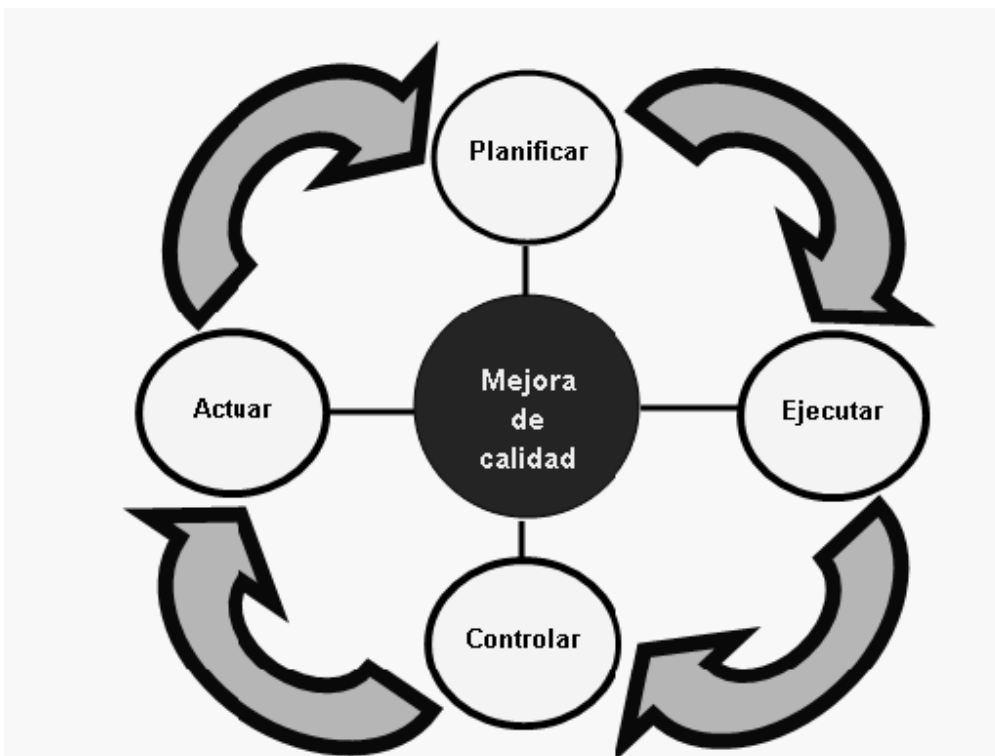
El seguimiento al desarrollo del modelo es el proceso continuo de revisión de la implementación de las prácticas del mantenimiento preventivo y predictivo; este permitirá asegurar que el plan estratégico puede ser aplicado correctamente, también, busca asegurar que ha sido recolectada la información y conclusiones correctas acerca del logro de las mejores prácticas en la parte del proceso del que forma parte.

El programa de mantenimiento propuesto para las subestaciones significa la planificación de tareas, la correcta ejecución Controlar o verificar (*Check*), la implementación está ligada a la acción directa, el monitoreo significa control de la marcha y, finalmente, los cambios o modificaciones detectados por los controles, con la acción directa, es decir, la

acción y así sucesivamente. Este ciclo de tareas, fue mejorado y llevado a la práctica por el Dr. Deming como una estrategia básica de los procesos de mejora continua en las empresas.

Nótese que se dijo correcta ejecución y no ejecutarlas correctamente, un control adecuado de la marcha de las tareas y los resultados El ciclo PDCA o rueda de Deming, de las siglas en inglés Planificar (*Plan*), Hacer (*Do*), aplicarse sin inconvenientes en la estrategia de mantenimiento. En la figura 37 se ilustra este conocido esquema.

Figura 37. Ciclo de tareas del Plan Estratégico de Mantenimiento



Fuente: Deming, 1998.

La aplicación de este modo de planeación de mantenimiento obedece una estrategia de mantenimiento. La implementación del plan de mantenimiento, está alineada con la misión, visión y objetivos estratégicos de la empresa.

Los elementos propuestos para el sistema de gestión de mantenimiento se basan en los niveles de control Estratégico, Táctico y Operativo. En la tabla 9, se ilustran los 4 pasos del ciclo de desarrollo del plan estratégico.

Tabla 9. Ciclos del Modelo de Gestión de Mantenimiento

Planificar	Objetivos del modelo de gestión
	Tareas propuestas
	Cronograma de aplicación
	Recursos necesarios
	Costos
	Indicadores de gestión
Ejecutar	Implementación de tareas
	Disposición de los recursos
Controlar	Verificar el desarrollo del modelo de gestión
	Verificar los resultados
Actuar	Implementar el modelo de gestión
	Reforzar los procedimientos y manuales de operación.

Fuente: El Autor

El plan de desarrollo estratégico comprende:

- ✚ Selección de las acciones de acuerdo a los resultados de un diagnóstico al estado arte del mantenimiento preventivo y predictivo.
- ✚ La codificación de los equipos involucrados en los activos de las subestaciones.
- ✚ La codificación de los equipos.
- ✚ La selección de los equipos críticos.
- ✚ Programación de las rutinas de mantenimiento preventivo y predictivo.
- ✚ El desarrollo técnico del plan de mantenimiento a los equipos.
- ✚ La propuesta de tableros de mando e indicadores de las acciones seleccionadas las cuales tienen como objetivo incrementar el grado de madurez de una forma homogénea, en la función mantenimiento dentro del proceso y la empresa.
- ✚ Plan de trabajo para llevar a cabo todas las acciones seleccionadas en un periodo determinado.

Entre las actividades del plan estratégico se encuentran:

- ✚ visar la función de mantenimiento de la empresa y proporcionar sugerencias sobre los sistemas de mantenimiento prácticas y procedimientos puestos en marcha.
- ✚ Establecer lineamientos orientados a definir un plan estratégico de desarrollo del mantenimiento, en el proceso operativo de la empresa.

- ✚ Desarrollar el camino para ir logrando y mejorando una madurez organizacional de la función de mantenimiento, con el fin de obtener una verdadera gestión de mantenimiento y un desarrollo permanente del personal.

Una vez que la fase propuesta en el modelo de gestión, la empresa mejorará adaptando otros enfoques de mantenimiento en un ambiente medido y controlado. La clave del éxito está en conocer todos los factores involucrados y hacer corporativo el proceso de cambio.

Beneficios de la aplicación del modelo de gestión de mantenimiento:

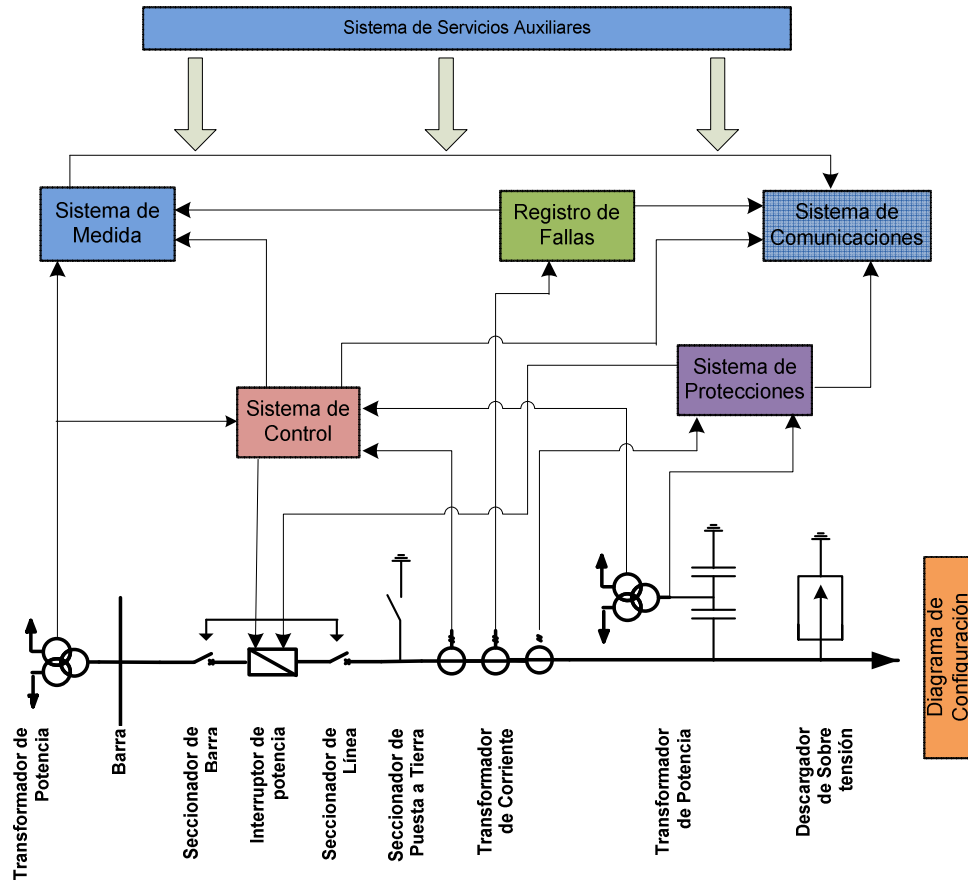
El modelo diseñado pretende vencer las deficiencias y mejorar de forma significativa y sostenible los procesos corporativos del negocio y el desempeño financiero y social. Los beneficios de una estrategia exitosa del mantenimiento incluyen:

- ✚ Organización de la función del mantenimiento enfocada en equipos de trabajo.
- ✚ Acciones de mejoramiento orientadas a una mejor eficacia y eficiencia de las áreas operativas y mantenimiento.
- ✚ Una visión del horizonte del mantenimiento al interior de la empresa, con apoyo y visión de la gerencia.
- ✚ Incrementos de los índices de efectividad en el manejo de los recursos, el uso apropiado del tiempo, administración correcta de las actividades y control adecuado de los presupuestos y los costos de mantenimiento.
- ✚ Procesos de administración de las intervenciones mejorados, incluyendo los procedimientos, mediciones, reportes, entrenamientos y guías.
- ✚ Integración con proveedores de materiales y servicios.
- ✚ Planeación y programación efectiva.
- ✚ Contratistas orientados a la productividad.
- ✚ Gestión disciplinada de repuestos
- ✚ Dirección del proceso disciplinada de paros ó salidas de servicio en subestaciones.
- ✚ Integración de sistemas de información.
- ✚ Análisis exacto de los registros de los activos.
- ✚ Reducción de averías.
- ✚ Calidad del servicio de energía entregado a los usuarios finales.
- ✚ Costos óptimos del mantenimiento de sistemas y activos, inventario de reparaciones y partes y capital de reemplazo.
- ✚ Inventario óptimo.
- ✚ Mejor ambiente laboral.
- ✚ Utilidades más altas del efecto compuesto de costos reducidos de conversión y niveles de aumento en la operación.

5.5 PROCESO DE MANTENIMIENTO

El punto de partida para la programación de las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo es conocer cuáles son los equipos de las subestaciones que se deben intervenir para garantizar la normal y eficiente operación del sistema de distribución de subsistemas de las subestaciones.

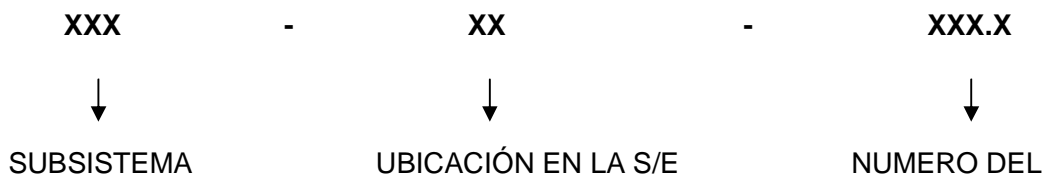
Figura 38. Diagrama de Sistemas y Subsistemas.



Fuente: El Autor

5.6 CODIFICACION DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS

Para efectos de aplicar un mejor control y seguimiento a las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo en cada uno de los sistemas y subsistemas descritos en el primer capítulo, al igual que para ser más prácticos y dinámicos de los formatos de ordenes de trabajo y hojas de vida de cada elemento, se establece la siguiente codificación de las subestaciones.



(Carácter alfabético)

(Carácter numérico)

SUBSISTEMA
(Carácter numérico)

5.6.1 Subsistema. Cada uno de ellos está referido según la nomenclatura dada en la tabla 10.

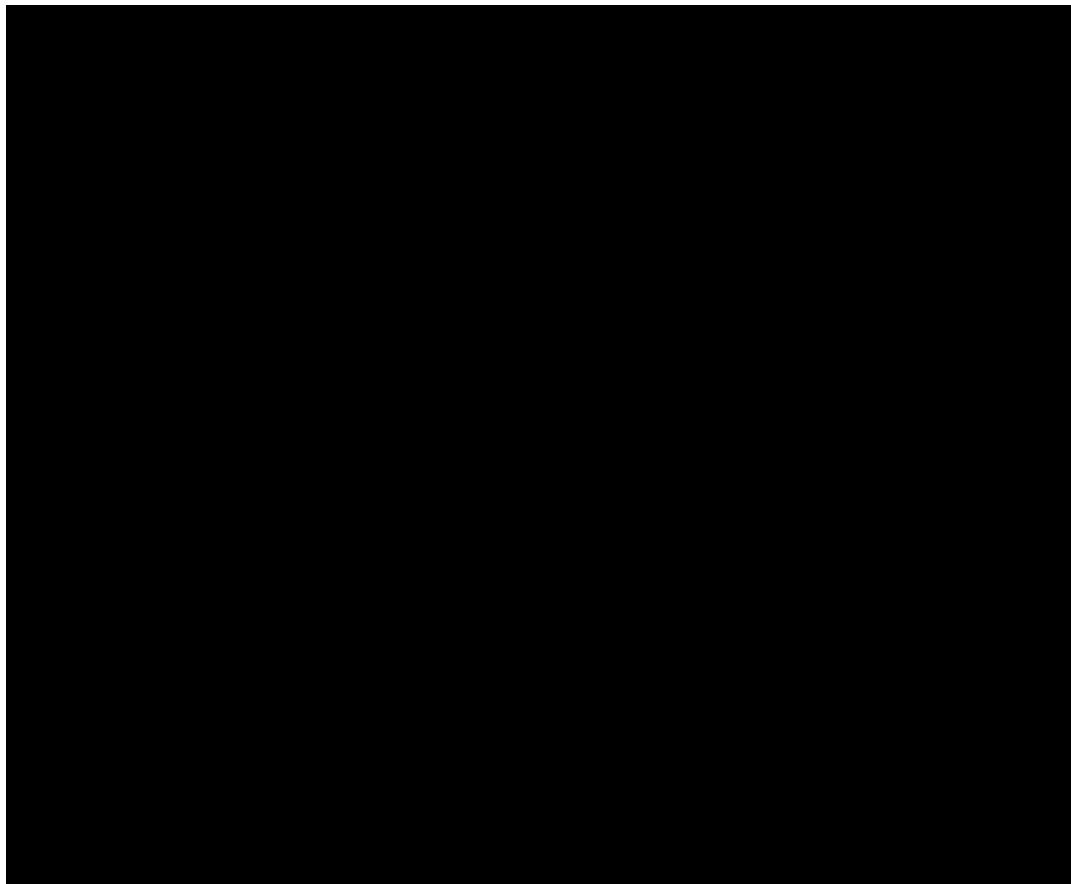
Tabla 10. Nomenclatura de acuerdo al sub-sistema a intervenir

SUBSISTEMA	NOMENCLATURA
Pararrayos	PRY
Interruptor de Línea	I.L
Interruptor de Tierra	I.SPAT
Interruptor de Potencia	INTP
Barraje primario	B.P
Barraje secundario	B.S
Transformador de tensión	PT
Transformador de Corriente	TC
Transformador de potencia	TF
Medidas	MMXU
Relés electrónicos	RDP
Celdas de protección	CPI
Protecciones I>>	PTOC
Interface remota	ITCI
Interface hombre maquina	IHMI
Reconectador	RC
Banco de baterías	BBDC
Servicios auxiliares	SAUX
Sistema de puesta a tierra	SPAT
Iluminación	ILM
Sistema de comunicaciones	COM

Fuente: El Autor

5.6.2 Ubicación de las subestaciones, según la ubicación geográfica del sistema de las subestaciones se tiene asignada la convención numérica ilustrada en la tabla 11.

Tabla 11. Código de las Subestaciones



Fuente: El Autor 1

5.6.3 Código del subsistema. Su identificación se establece según se encuentre localizada la subestación ó centro operacional

Tabla 12. Numeración del subsistema.

SUBSISTEMA	NOMENCLATURA
Pararrayos	00 a 99
Interruptor de Línea	100 a 199
Interruptor de Tierra	200 a 299
Interruptor de Potencia	300 a 399
Barraje primario	00 a 99
Barraje secundario	100 a 199
Transformador de tensión	200 a 299

Transformador de Corriente	300 a 399
Transformador de potencia	400 a 499
Medidas	00 a 99
Relés electrónicos	100 a 199
Celdas de protección	200 a 299
Protecciones I>>	300 a 399
Interface remota	400 a 499
Interface hombre maquina	500 a 599
Reconectador	00 a 99
Banco de baterías	100 a 199
Servicios auxiliares	200 a 299
Sistema de puesta a tierra	300 a 399
Iluminación	400 a 499
Sistema de comunicaciones	500 a 599

Fuente: El Autor

Ejemplo 1. Si se desea referenciar el primer transformador de corriente de la subestación Diamante, se da la siguiente ilustración.

TC – 303 -300

5.7 SELECCIÓN DE EQUIPOS CRITICOS

Los equipos críticos se seleccionan aplicando el modelo de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo, el cual considera para el análisis los siguientes aspectos:

- ✚ Equipos problema, que reinciden constantemente o poseen una alta probabilidad de falla.
- ✚ Aquellos que poseen un alto riesgo en la operación.
- ✚ Aquellos que en su estado de falla generan riesgo en el sistema, el medio ambiente y las personas.
- ✚ Los que requieren un manejo especial, ya sea técnico o físico.
- ✚ Los que se le puede clasificar según la rapidez de la evolución de la falla, es decir aquellos que la falla aumenta rápidamente.
- ✚ Equipos cuya reparación posee un costo elevado.

5.7.1 Definición de Sistemas y Subsistemas.

Para determinar la estructura del mantenimiento se definen los sistemas que contienen a su vez los componentes esenciales de las subestaciones y a los cuales se debe practicar las actividades de mantenimiento tanto preventivo como predictivo, para garantizar la eficiencia de las subestaciones se agrupan los siguientes sistemas:

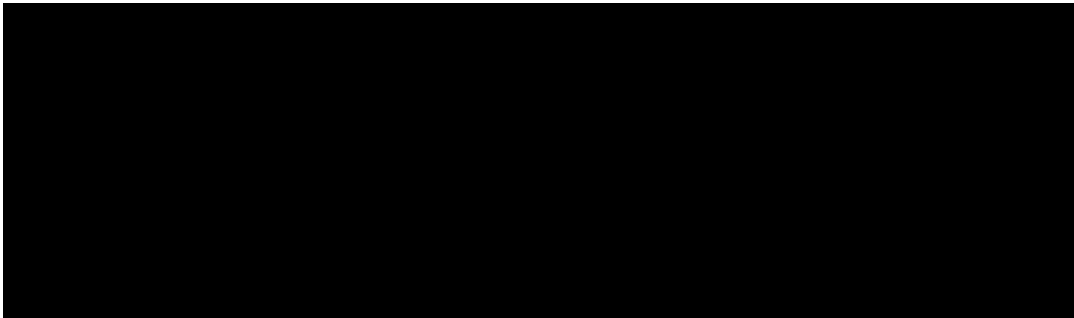
Tabla 13. Sistemas y subsistemas a intervenir.

SISTEMA	SUBSISTEMA
SISTEMA DE POTENCIA CODIGO 01	Seccionador de Línea
	Interruptor de Potencia
	Barraje primario
	Barraje secundario
	Reconectador
	Transformador de potencia
SISTEMA DE CONTROL CODIGO 02	Relés electrónicos
	Software
	Mando remoto
	Conexiones de señales
SISTEMA DE PROTECCIONES CODIGO 03	Protecciones I>>
	Celdas de protección
	Transformador de Corriente
	Transformador de tensión
SISTEMA DE COMUNICACIONES CODIGO 04	Interface remota
	Interface hombre maquina
	Conexiones por GPRS, Microondas, etc.
SISTEMA DE MEDIDA CODIGO 05	Medidores de energía activa y reactiva
	Transformador de Corriente
	Transformador de potencia
	Puntos e empalme y conexionado
SISTEMA DE PUESTA A TIERRA CODIGO 06	Seccionador de puesta a tierra
	Malla de puesta a tierra
	Puntos de empalme y conexionado firme y continuo
	Pararrayos
SERVICIOS AUXILIARES CODIGO 07	Banco de baterías
	Transformador de distribución
	Rectificador AC - DC
	Iluminación de emergencia

Fuente: El Autor

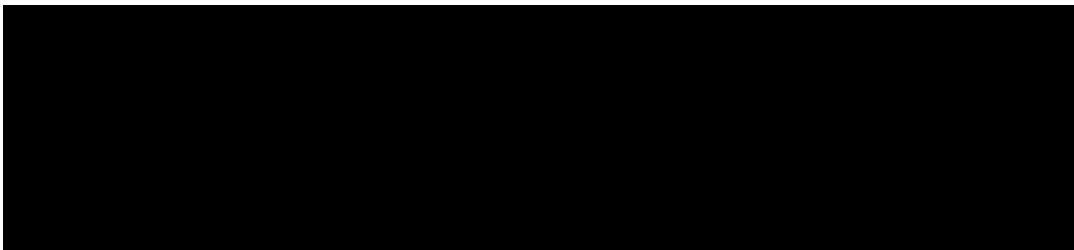
5.7.2 Criticidad en Sistemas de Potencia.

Tabla 14. Factor de criticidad en Sistemas de potencia.



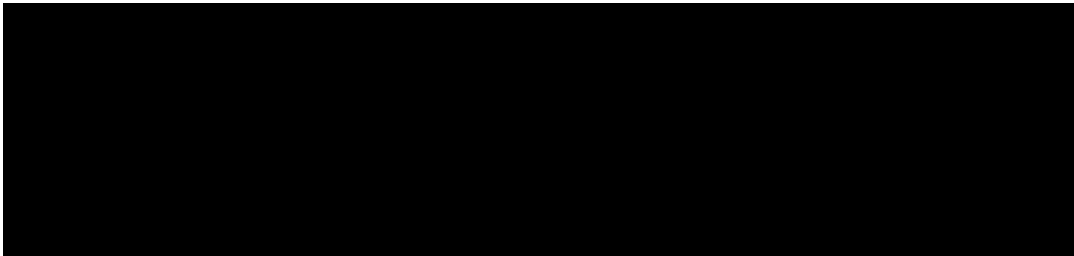
5.7.3 Criticidad en sistemas de control

Tabla 15. Factor de criticidad en Sistemas de control.



5.7.4 Criticidad en sistemas de protecciones

Tabla 16. Factor de criticidad en Sistemas de protección



5.7.5 Criticidad en sistemas de Comunicaciones

Tabla 17. Factor de criticidad en Sistemas de comunicaciones.

SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD AMBIENTAL	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL
Interface remota	3	1	4	2	1	7	21
Interface hombre maquina	1	1	4	2	5	11	11
Conexiones por GPRS, Microondas, etc.	3	4	2	1	1	10	30

5.7.6 Criticidad en sistemas de medida

Tabla 18. Factor de criticidad en Sistemas de medida.

SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD AMBIENTAL	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL
Medidores de energía activa y reactiva	2	1	1	1	1	3	6
Transformador de Corriente	2	7	1	2	3	12	24
Transformador de potencia	2	7	1	2	3	12	24
Puntos de empalme y conexonado	2	4	2	1	3	12	24

5.7.7 Criticidad en sistemas de puesta a tierra

Tabla 19. Factor de criticidad en Sistemas de puesta a tierra.




SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD AMBIENTAL	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL
Seccionador de puesta a tierra	3	10	2	2	3	25	75
Malla de puesta a tierra	2	7	1	2	5	14	28
Puntos de empalme y conexonado firme y continuo	2	4	2	2	5	15	30
Pararrayos	4	10	1	1	5	16	64

6.7.8 Criticidad en sistemas de servicios auxiliares

Tabla 20. Factor de criticidad en Sistemas de servicios auxiliares.

SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD AMBIENTAL	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL
Banco de baterías	1	7	2	1	3	18	18
Transformador de distribución	3	1	2	1	3	6	18
Rectificador AC - DC	2	7	1	2	1	10	20
Iluminación de emergencia	3	1	1	1	1	3	9

Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema se tuvieron en cuenta los valores totales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias se ubican en la matriz de criticidad – valor de frecuencia en el eje Y, valor de de consecuencias en el eje X. La matriz de criticidad mostrada en los ejercicios permite jerarquizar los sistemas en las tablas ilustradas.

-  Áreas de sistemas No Críticos (NC)
-  Áreas de sistemas de Media Criticidad (MC)
-  Áreas de sistemas Críticos (C)

A continuación se presenta la metodología de análisis de criticidad para los equipos de las subestaciones:

5.7.9 Estado de criticidad en los sistemas de potencia.

Tabla 21. Cálculo y estado de criticidad en Sistemas de Potencia.

5.7.10 Estado de criticidad en los sistemas de control

Tabla 22. Cálculo y estado de criticidad en Sistemas de control.

SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA DE CRITICIDAD
Relés electrónicos	4	10	40	MC
Software	2	19	38	NC
Mando remoto	3	10	30	MC
Esquemas mimicos	4	4	16	MC
Conexiones de señales	3	10	30	MC

5.7.11 Estado de criticidad en los sistemas de Protección

Tabla 23. Cálculo y estado de criticidad en Sistemas de protecciones.

SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA DE CRITICIDAD
Protecciones I>>	4	21	84	C
Celdas de protección	2	38	76	C
Transformador de Corriente	2	12	24	MC
Transformador de tensión	2	12	24	MC

5.7.12 Estado de criticidad en los sistemas de Comunicaciones

Tabla 24. Cálculo y estado de criticidad en Sistemas de Comunicaciones

SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA DE CRITICIDAD
Interface remota	3	7	21	MC
Interface hombre maquina	1	11	11	NC
Conexiones por GPRS, Microondas, etc.	3	10	30	MC

5.7.13 Estado de criticidad en los sistemas de medida

Tabla 25. Cálculo y estado de criticidad en Sistemas de Medida.

SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA DE CRITICIDAD
Medidores de energia activa y reactiva	2	3	6	NC
Transformador de Corriente	2	12	24	NC
Transformador de potencia	2	12	24	NC
Puntos de empalme y conexionado	2	12	24	NC

5.7.14 Estado de criticidad en los sistemas de Puesta a Tierra

Tabla 26. Cálculo y estado de criticidad en Sistemas de puesta a tierra.

SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA DE CRITICIDAD
Seccionador de puesta a tierra	3	25	75	C
Malla de puesta a tierra	2	14	28	NC
Puntos de empalme y conexionado firme y continuo	2	15	30	NC
Pararrayos	4	16	64	MC

5.7.15 Estado de criticidad en los sistemas de Servicios Auxiliares

Tabla 27. Cálculo y estado de criticidad en Sistemas de servicios auxiliares

SUBSISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA DE CRITICIDAD
Banco de baterias	1	18	18	NC
Transformador de distribucion	3	6	18	NC
Rectificador AC - DC	2	10	20	NC
luminacion de emergencia	3	3	9	NC

5.8 PROGRAMACION DE MANTENIMIENTO

La planificación y programación del modelo de mantenimiento se ha elaborado con base a las características técnicas de los equipos, la información técnica de algunos equipos, recomendaciones de los fabricantes y los datos históricos del funcionamiento de los equipos con falta, además de los siguientes parámetros:

- ✚ Selección de equipos críticos
- ✚ Inspecciones visuales
- ✚ Estado de funcionamiento
- ✚ Pruebas y mediciones de equipos
- ✚ Evaluación de los históricos del mantenimiento

Para ésta planificación se basó en las pruebas y mediciones de equipos eléctricos establecidos en las normas IEC¹³ y ANSI¹⁴. De igual manera dentro la definición de las frecuencias de las rutinas en el mantenimiento preventivo y predictivo están las reparaciones e instalaciones de dispositivos faltantes con base al diagnostico realizado: compra de repuestos, equipos, herramientas e instrumentos de medición faltantes entrenamiento de personal. Se definen las rutinas de mantenimiento para cada uno de los sistemas que componen las subestaciones, ellas son:

¹³ **IEC**, por sus siglas del idioma inglés International Electrotechnical Commission.

¹⁴ **ANSI**, por su siglas del idioma ingles American National Standards Institute - Instituto Nacional Americano de Estándares.

5.8.1 PROGRAMACION DE RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Tabla 28. Actividades de Inspección.

SUBSISTEMA	PERIODICIDAD	DURACION	RESPONSABLE
SISTEMA DE POTENCIA			
Seccionador de Linea	Anual	1 día	Electromecanico
Interruptor de Potencia	Anual	1 día	Medición
Barraje primario	Cada 6 meses	1 día	Electricista
Barraje secundario	Cada 6 meses	1 día	Electricista
Reconectador	Cada 3 meses	4 horas	Medición
Transformador de potencia	Anual	2 días	Electromecanico
SISTEMA DE CONTROL			
Relés electrónicos	Cada 6 meses	4 horas	Instrumentista
Software	Cada 6 meses	4 horas	Tecnología
Mando remoto	Cada 6 meses	4 horas	Tecnología
Esquemas mimicos	Cada 6 meses	1 día	Instrumentista
Conexiones de señales	Anual	1 día	Instrumentista
SISTEMA DE PROTECCIONES			
Protecciones I>>	Cada 6 meses	1 día	Operaciones
Celdas de protección	Cada 6 meses	1 día	Electromecanico
Transformador de Corriente	Anual	4 horas	Electromecanico
Transformador de tensión	Anual	4 horas	Electromecanico
SISTEMA DE COMUNICACIONES			
Interface remota	Cada 6 meses	4 horas	Instrumentista
Interface hombre maquina	Cada 6 meses	4 horas	Instrumentista
Conexiones por GPRS, Microondas, etc.	Cada 6 meses	1 día	Tecnología y comunicaciones
SISTEMA DE MEDIDA			
Medidores de energia activa y reactiva	Cada 6 meses	1 día	Equipos y medidas
Transformador de Corriente	Anual	6 horas	Electromecanico
Transformador de potencia	Anual	6 horas	Electromecanico
Puntos de empalme y conexionado	Anual	4 horas	Instrumentista
SISTEMA DE PUESTA A TIERRA			
Seccionador de puesta a tierra	Anual	1 día	Electromecanico
Malla de puesta a tierra	Anual	1 día	Instrumentista
Puntos de empalme y conexionado firme y continuo	Anual	1 día	Electricista
Pararrayos	Anual	4 horas	Electricista
SERVICIOS AUXILIARES			
Banco de baterias	Cada 6 meses	1 día	Electricista
Transformador de distribucion	Anual	1 día	Electricista
Rectificador AC - DC	Cada 6 meses	1 día	Electricista
Iluminacion de emergencia	Cada 6 meses	1 día	Electricista

Fuente: El Autor

Tabla 29. Actividades de Control.

SUBSISTEMA	PERIODICIDAD	DURACION	RESPONSABLE
SISTEMA DE POTENCIA			
Seccionador de Linea	Cada 6 meses	3 dias	Electromecanico
Interruptor de Potencia	Cada 6 meses	2 dias	Medición
Barraje primario	Anual	1 dia	Electricista
Barraje secundario	Anual	1 dia	Electricista
Reconectador	Cada 6 meses	1 dia	Medición
Transformador de potencia	Anual	1 dia	Electromecanico
SISTEMA DE CONTROL			
Relés electrónicos	Cada 8 meses	1 dia	Instrumentista
Software	Cada 8 meses	1 dia	Tecnología
Mando remoto	Cada 8 meses	1 dia	Tecnología
Esquemas mimicos	Cada 8 meses	1 dia	Instrumentista
Conexiones de señales	Anual	1 dia	Instrumentista
SISTEMA DE PROTECCIONES			
Protecciones I>>	Anual	2 dias	Operaciones
Celdas de protección	Anual	2 dias	Electromecanico
Transformador de Corriente	Anual	2 dias	Electromecanico
Transformador de tensión	Anual	2 dias	Electromecanico
SISTEMA DE COMUNICACIONES			
Interface remota	Cada 9 meses	1 dia	Instrumentista
Interface hombre maquina	Cada 9 meses	1 dia	Instrumentista
Conexiones por GPRS, Microondas, etc.	Cada 9 meses	1 dia	Tecnología y comunicaciones
SISTEMA DE MEDIDA			
Medidores de energia activa y reactiva	Cada 18 meses	1 dia	Equipos y medidas
Transformador de Corriente	Cada 18 meses	1 dia	Electromecanico
Transformador de potencia	Cada 18 meses	1 dia	Electromecanico
Puntos de empalme y conexionado	Cada 24 meses	1 dia	Instrumentista
SISTEMA DE PUESTA A TIERRA			
Seccionador de puesta a tierra	Cada 6 meses	1 dia	Electromecanico
Malla de puesta a tierra	Cada 6 meses	1 dia	Instrumentista
Puntos de empalme y conexionado firme y continuo	Cada 18 meses	2 dias	Electricista
Pararrayos	Cada 24 meses	1 dia	Electricista
SERVICIOS AUXILIARES			
Banco de baterias	Anual	4 horas	Electricista
Transformador de distribucion	Anual	4 horas	Electricista
Rectificador AC - DC	Anual	4 horas	Electricista
luminacion de emergencia	Cada 3 meses	1 dia	Electricista

Fuente: El Autor

Tabla 30. Actividades de Conservación.

SUBSISTEMA	PERIODICIDAD	DURACION	RESPONSABLE
SISTEMA DE POTENCIA			
Seccionador de Linea	Cada 24 meses	4 dias	Electromecanico
Interruptor de Potencia	Cada 18 meses	3 dias	Medición
Barraje primario	Cada 24 meses	1 dia	Electricista
Barraje secundario	Cada 24 meses	1 dia	Electricista
Reconectador	Anual	1 dia	Medición
Transformador de potencia	Cada 60 meses	3 dias	Electromecanico
SISTEMA DE CONTROL			
Relés electrónicos	Cada 12 meses	4 dias	Instrumentista
Software	Cada 12 meses	4 dias	Tecnología
Mando remoto	Cada 12 meses	6 dias	Tecnología
Esquemas mimicos	Cada 18 meses	6 dias	Instrumentista
Conexiones de señales	Cada 18 meses	3 dias	Instrumentista
SISTEMA DE PROTECCIONES			
Protecciones I>>	Cada 18 meses	3 dias	Operaciones
Celdas de protección	Cada 18 meses	3 dias	Electromecanico
Transformador de Corriente	Cada 36 meses	4 dias	Electromecanico
Transformador de tensión	Cada 36 meses	4 dias	Electromecanico
SISTEMA DE COMUNICACIONES			
Interface remota	Cada 18 meses	2 dias	Instrumentista
Interface hombre maquina	Cada 18 meses	2 dias	Instrumentista
Conexiones por GPRS, Microondas, etc.	Cada 12 meses	1 dia	Tecnología y comunicaciones
SISTEMA DE MEDIDA			
Medidores de energia activa y reactiva	Cada 36 meses	4 dias	Equipos y medidas
Transformador de Corriente	Cada 36 meses	4 dias	Electromecanico
Transformador de potencia	Cada 36 meses	4 dias	Electromecanico
Puntos de empalme y conexionado	Cada 36 meses	4 dias	Instrumentista
SISTEMA DE PUESTA A TIERRA			
Seccionador de puesta a tierra	Cada 24 meses	3 dias	Electromecanico
Malla de puesta a tierra	Cada 24 meses	3 dias	Instrumentista
Puntos de empalme y conexionado firme y continuo	Cada 24 meses	3 dias	Electricista
Pararrayos	Cada 24 meses	3 dias	Electricista
SERVICIOS AUXILIARES			
Banco de baterías	Cada 18 meses	2 dias	Electricista
Transformador de distribucion	Cada 18 meses	3 dias	Electricista
Rectificador AC - DC	Cada 36 meses	2 dias	Electricista
luminacion de emergencia	Cada 36 meses	6 dias	Electricista

Fuente: El Autor

Las actividades de mantenimiento obedecen a la programación y las ordenes de trabajo generados por la supervisión de mantenimiento y siguiendo los lineamientos propuestos en el modelo de gestión.

5.8.2 DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS A REALIZAR

TRANSFORMADORES DE POTENCIA:

Inspección Visual

- Montaje adecuado y nivelación
- Estado de los aisladores
- Fijación, frenos y anclaje
- Limpieza y pintura
- Signos de corrosión del equipo
- Estanqueidad de las juntas
- Placa característica
- Identificación de todo sus componente
- Chequeo del sistema de aterramiento
- Chequeo de los indicadores de nivel de aceite de la cuba y del conservador
- Daños Físicos del transformador (golpes, abolladuras, etc.)
- Alineación y Separación entre cuernos rompe arcos (según normas)
- Sedimentación o pérdida de aceite
- Obstrucciones exteriores en los radiadores
- Obstrucciones en los ventiladores (si lo tiene)
- Estado del respiradero y elemento des humificador
- Color de la sílice del deshidratador
- Estado de los indicadores de temperatura
- Estado del drenaje del aceite del transformador

Pruebas a realizar:

Relación de Transformación:

- Identificar claramente los conectores del TTR
- Verificar el buen estado del equipo de la siguiente manera
- Las pruebas se deben hacer en todos los taps del cambiador de tomas.
- Se conecta el equipo tal como se muestra en el catálogo del fabricante
- Para comprobar si la polaridad es la correcta giramos un cuarto de vuelta la manivela, si la aguja del "null" deflecta hacia la izquierda la conexión es correcta, pero si deflecta a la derecha se deben intercambiar los terminales H1 y H2
- Comenzar a girar los diales de izquierda a derecha, hasta obtener el valor donde se estabiliza, el voltaje debe ser 8 volts, y la corriente de excitación mínima.
- Si al girar la manivela, se observa que la aguja del voltímetro no se mueve, el amperímetro indica "FULL ESCALA" y la manivela se pone dura, hay razones para sospechar que existe un cortocircuito entre espiras.
- Si al girar la manivela se obtiene: tensión normal, corriente baja y no hay deflexión en el galvanómetro "NULL", es indicativo de un circuito abierto.

- Los valores obtenidos no deben tener un error mayor del 0,5% del valor teórico en el taps. correspondiente.

Medición de Tensiones

- Aplicar tensión trifásica, 208 V en el lado de alta del transformador
- Medir las tensiones tanto en el lado de alta como en el de baja
- Calcular la relación de transformación y compararla con los datos de la placa característica.

Pruebas Funcionales

- Simular que el transformador de potencia está en condiciones de servicio, es decir, con el interruptor cerrado.
- Accionar manualmente cada relé de protección y observar que dispare el interruptor.
- Verificar que aparezcan las señales correspondientes.
- Reponer las señales y normalizar el tramo transformador.

Relé diferencial

- Verificar que los circuitos de corriente tengan una sola puesta tierra y que ésta sea en la borne del armario de repartición y no en los bornes secundarios de los T.C.
- Verificar que la conexión de la protección diferencial sea la más adecuada para el transformador que se va a proteger (en magnitud y fase).
- Verificar que la relación de transformación de los T.C. principales e intermedios es la correcta.
- Comprobar que todo el cableado del circuito de corriente esté de acuerdo con los planos.
- Inyectar corriente secundaria, desde la bornera en el armario de repartición del transformador, simulando condición de falla fuera del transformador (no debe circular corriente por la bobina de operación del relé) el relé no debe operar.
- Inyectar corriente secundaria, simulando condición de falla del transformador (corriente por la bobina de operación del relé) y verificar que el relé actúe. Se chequeará para diferentes valores de ajustes del relé diferencial.
- La inyección de corriente se debe hacer para las tres (03) fases independientemente.

Protecciones propias del transformador

Relé de Buchholz

Activar el relé a fin de verificar el disparo y las señales correspondientes. El relé puede ser activado por medio de las siguientes formas:

- Con una bomba neumática, si el relé tiene una toma para prueba mediante inyección de aire.
- Con los pulsadores de pruebas, que el relé tiene para tal fin.
- Si no se puede hacer ninguna de las anteriores, se cortocircuitan los bornes del relé.

Temperatura de arrollado

En el momento en que se están probando las Termocuplas (calentándose en un recipiente con aceite) se verificará el disparo y señalización correspondiente.

Aislamiento

- Aislar el transformador de barra.
- Se desconectan todos los cables y conexiones de los bushings.
- Desconectar los neutros de sus conexiones.
- Cortocircuitar cada devanado usando los terminales de los bushings incluyendo el neutro correspondiente.
- Dejar la cuba aterrada.
- Conectar el termina “ | ” del megger al devanado de alta y el terminal “ — ” a la cuba. Se acciona el megger previamente ajustado al valor de tensión a inyectar, el cual dependerá del transformador a probar. Con esta medida se determina el valor de resistencia entre alta y masa.
- Para determinar el valor de resistencia entre baja y masa se hace similar al punto anterior.
- El valor de resistencia entre alta y baja se determina colocando los terminales entre dichos devanados.
- El valor de la lectura que se tomará, será el que indique la aguja del equipo luego que ésta se estabilice.
- Los valores obtenidos serán corregidos a 20°C y no se podrán energizar ningún transformador que tenga menos de 1000 MW a 20°C.

🚧 Pruebas de aceite con Chispómetro

- No debe existir ambiente de lluvia.
- Aterrizar la carcasa del Chispómetro.
- Asegurarse que la distancia entre electrodos es de 2,5 mm.
- Cuando se tome la muestra de aceite, se dejará drenar éste hasta que se considere que se ha votado todo el aceite depositado en la válvula.
- Se tomarán muestras de la parte superior o inferior de la cuba y del conservador.
- Lavar el recipiente del Chispómetro con el aceite. Luego llenarlo y dejarlo reposar por un tiempo aproximado de diez (10) minutos para que las burbujas de aire puedan escapar.

- Verificar que la aguja está en la posición “cero”.
- Poner el interruptor “POWER ON” pulsar el interruptor “RESET” y esperar que la aguja este en posición “cero”.
- Pulsar el botón “START” y automáticamente sube la tensión de prueba hasta que se produce la perforación del aceite, momento en el cual se prende la luz roja “FAILURE”.
- El movimiento adicional de la aguja es por inercia.
- Anotar el valor obtenido.
- Para repetir la prueba pulsar el botón “RESET” y esperar que la aguja regrese a cero.
- Se tomarán cinco (05) lecturas esperando un tiempo de tres (03) minutos entre pruebas.
- Se determinará el promedio de las cinco lecturas y deberá ser mayor o igual a 30 Kv., en caso contrario será indicativo de que el aceite necesita tratamiento con bomba de secado al vacío.

INTERRUPTORES:

Inspección Visual

- Montaje adecuado y nivelación
- Estado físico de los bushings
- Fijación y anclaje
- Limpieza y pintura
- Signos de corrosión
- Placa característica
- Sistema de aterramiento
- Daños Físicos (golpes, abolladuras, etc.)
- Sedimentación o pérdida de aceite (si es de tipo de aceite)

Estado de funcionamiento

- Si existe alimentación de tensión A.C. y D.C.
- Estado de los tomacorrientes
- Sistema de calefacción e iluminación
- Breakers y fusibles
- Que todos los equipos, regletas y conductores estén identificados de manera clara y de acuerdo con los planos
- Nivel de aceite (si es del tipo aceite)
- Los enclavamientos
- El ciclo de operaciones del interruptor
- El contador de operaciones y el indicador de posición
- Las señalizaciones y actuación de los presóstatos, por variación de las presiones de SF6, nitrógeno, aire, etc., según sea el caso

Pruebas a realizar

Resistencia de contacto:

- Aislar completamente el interruptor.
- Limpiar con un cepillo las conexiones de los polos.
- Cerrar el interruptor varias veces y dejarlo cerrado.
- Conectar a los extremos de cada polo, los cables del medidor de resistencia (DUCTER).
- Conectar los cables al equipo.
- Pulsar el botón y tomar la lectura correspondiente.
- El valor obtenido debe ser menor de 100 micro-ohmios

Tiempos de apertura y cierre

- Se dejarán conectados dos (02) polos al impulsógrafo.
- Se tomarán muestra de la tensión de alimentación de alimentación de las bobinas de disparo y de cierre.
- Las tomas de las pista donde se va a un gráfica la señal de alimentación de las bobinas, será de 100 Kilohmios.
- Esta toma tiene un borne positivo (+) y uno negativo (-) en donde se conectará la tensión de las bobinas de acuerdo a la polaridad. En el caso de la bobina de cierre, que la alimentación es corriente alterna, la fase se conectará al borne positivo y el neutro al negativo.
- Accionar el impulsógrafo y luego operar el interruptor.
- Con una regla milimetrada se medirá el tiempo en que aparece la orden en la bobina y el momento en que se ejecuta la acción. El tiempo máximo de apertura será de 83 mseg.

Inyección primaria de corriente:

- Cerrar el interruptor.
- Quitar el dispositivo de disparo de la protección.
- Conectar los cables del inyector a los extremos de cada polo.
- Accionar el inyector de corriente.
- Se debe medir corriente en la fase que se está inyectando, y en el neutro, tanto en el núcleo de medición como el de protección, de acuerdo con los planos.
- Se verificará la relación de transformación.
- Para conectar la polaridad de los transformadores de corriente se hará inyección entre fases, en cuyo caso no habrá corriente por el neutro.
- A corriente nominal se medirá la tensión en los bornes secundarios del transformador, a cada núcleo, se calcularán los V.A. y se verificará que esté por debajo del valor de la placa.

Resistencia de aislamiento:

- Con el interruptor abierto se medirá la resistencia de aislamiento de los extremos de cada polo con respecto a la cuba del interruptor.
- Se conectará el borne (+) del megger al extremo del polo y el borne (-) a la cuba del interruptor.
- Se tomarán los valores luego de que la aguja del equipo se estabilice.
- Con el interruptor cerrado se tomarán las medidas de resistencia de cada fase.

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Inspección Visual

- Montaje adecuado y nivelación
- Estado de los aisladores
- Limpieza y pintura
- Signos de corrosión del equipo
- Placa característica
- Chequeo del sistema de aterramiento
- Daños Físicos del transformador (golpes, abolladuras, etc.)
- Estanqueidad de la caja de bornes secundarios
- Cortocircuito y aterramiento de los secundarios de reservas

Pruebas de Relación de Transformación:

- Conectar los cables del inyector primario de corriente a los extremos del transformador de corriente.
- Inyectar, si es posible corriente nominal primaria y medir la corriente secundaria
- Calcular la relación de transformación y compararla con los datos de la placa

Polaridad

- Para verificar que la polaridad de los T.C. y la conexión de los secundarios a los equipos es la correcta, se hace inyección entre fases.
- Se conectarán los cables del inyector en los bornes "P1" de los T.C. de la fase "R" y "S" y se puentean los bornes "P2".
- Se inyecta el 50% de corriente nominal.
- Se debe constatar que no haya corriente por el neutro

Correspondencia de cada secundario con su carga:

- Inyectar corriente primaria (50%).
- Cortocircuitar cada núcleo (medición y protección) independientemente.
- Verificar que la corriente se anule, en los equipos correspondientes al núcleo que se está cortocircuitando.

TRANSFORMADORES DE TENSIÓN:

Inspección Visual

- Montaje adecuado y nivelación
- Estado de los aisladores
- Limpieza y pintura
- Signos de corrosión del equipo
- Placa característica
- Chequeo del sistema de aterramiento
- Daños Físicos del transformador (golpes, abolladuras, etc.)
- Estanqueidad de la caja de bornes secundarios
- Cortocircuito y aterramiento de los secundarios de reservas
- Compatibilidad de las conexiones primarias con los planos

Pruebas de Relación de Transformación:

- Conectar los bornes primarios del transformador patrón a los bornes primarios del transformador a probar
- Conectar los bornes secundarios del transformador patrón a una fuente variable de A.C.
- Verificar que el cableado secundario de los transformadores a probar no tienen ningún cortocircuito.
- Comenzar a aplicar lentamente tensión en los bornes del transformador patrón. Se aplica hasta la tensión nominal secundaria.
- Medir la tensión secundaria de los transformadores a verificar, calcular la relación de transformación y compararlo con los datos de la placa.

RECONECTADORES:

Inspección Visual

- Montaje adecuado y nivelación
- Estado físico de los bushings
- Fijación y anclaje
- Limpieza y pintura
- Signos de corrosión
- Placa característica
- Sistema de aterramiento
- Daños Físicos (golpes, abolladuras, etc.)
- Pérdida de aceite (si es de tipo de aceite)

Pruebas de Resistencia de aislamiento

- Cerrar el reconectador.
- Conectar el borne (+) del megger al extremo de un polo, el borne (-) conectarlo a la cuba.
- Accionar el megger y tomar el valor cuando la aguja del aparato se estabilice.
- Se debe medir la resistencia de aislamiento en cada polo independientemente

Corriente mínima de disparo

- Cerrar manualmente el reconectador.
- Bloquear el disparo de falla a tierra.
- Conectar los cables del inyector primario de corriente en los extremos del polo a probar.
- Incrementar la corriente desde cero (0) y tomar el valor de la corriente máxima antes de que ésta disminuya y/o dispare el reconectador.
- Se hará esto en todas las fases

Secuencia de disparo rápidos, lentos y apertura definitiva:

- Mueva la manilla de operación manual a la posición “cerrado” y cierre manualmente el reconectador.
- Ajustar el inyector de corriente a tres (03) veces la corriente nominal de la bobina de disparo.
- Actuar el inyector y el reconectador debe disparar.
- Inmediatamente después de escucharse los dos sonidos “CLICKS” cierre el reconectador manualmente, para la próxima operación de disparo.
- Medir el tiempo de cierre
- Obsérvese el número de operaciones de disparo rápido y/o lento hasta la apertura definitiva. Debe coincidir con las especificaciones de la placa y con el ajuste que se tenga.
- Cuando se alcance la apertura definitiva, la manilla de operación manual caerá y el mecanismo de cierre se volverá inoperante.

SECCIONADORES:

A estos accesorios están dentro del mantenimiento preventivo, pero será revisado cada vez que se realicen las inspecciones visuales y estado de funcionamiento, garantizando así un mejor funcionamiento de la sub-estación

Inspección Visual

- Montaje adecuado y nivelación
- Limpieza y pintura
- Sistema de aterramiento y parrillas de maniobras
- Daños Físicos (golpes, abolladuras, etc.)
- Estado de los contactos
- Conexión con los conductores

Estado de funcionamiento

- En los seccionadores tripolares verificar la simultaneidad de los contactos en las maniobras de apertura y cierre.
- En los seccionadores monopolares verificar las operaciones de apertura y cierre.
- Verificar el estado de los contactos.

5.8.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Las técnicas sistemáticas de Mantenimiento Predictivo que se aplican en subestaciones, con base a recomendaciones de normas internacionales (IEC-76, IEC-72), se detallan a continuación.

Inspección termográfica:

Se utiliza, mediante el empleo de cámaras de termovisión infrarroja, para localizar defectos por calentamiento, particularmente en piezas de contacto de seccionadores, bornas y grapas de conexión de los equipos, tomando como referencia la temperatura ambiente y la de otra fase sana.

Los sistemas y equipos de las subestaciones están diseñados para ofrecer un funcionamiento confiable y continuo. No obstante, una falla puede ocurrir en cualquier instante y en cualquier punto, lo cual puede provocar averías en el funcionamiento normal de toda la subestación o de uno de sus sistemas o equipos.

Las empresas que operan las subestaciones deben tener todos los controles, las funciones y los dispositivos para evitar estas fallas, pero en caso de que ocurra, debe contar con procedimientos que permitan restaurar los equipos y los sistemas en el menor tiempo posible y con las mínimas consecuencias. En el caso de las subestaciones, aunque las fallas en equipos no son tan frecuentes, deben contar con procedimientos de atención de fallas, en los cuales están las estrategias, procedimientos e información para reanudar la operación del sistema o del equipo que ha fallado.

Una falla en cualquiera de las partes componentes de un sistema de producción, lleva consigo implícita una pérdida de tiempo y dinero, además del riesgo en la seguridad del personal cercano a ella. Una inspección termográfica evita interrupciones en el proceso de producción ya que para llevarla a cabo es fundamental que los equipos estén funcionando, si es posible a su máxima carga, ya que su filosofía es determinar la normalidad de su funcionamiento a través de la energía, en forma de calor, que se genera por el trabajo realizado. Por lo tanto el objetivo de un programa de inspección termográfica será el de reducir el riesgo de paradas no programadas, aumentar la productividad, mejorar la seguridad y catalogar y definir tendencias de historias térmicas.

Usualmente una falla tiene un tiempo de deterioro lento, debido al esfuerzo a los que se ve sometido el material y las curvas de carga, no uniformes, que debe llevar a cabo en un proceso. Esto nos da pie para una identificación y clasificación de componentes

defectuosos por comparación de las temperaturas de operación de estos y las del medio ambiente ó un objeto similar en su composición y condiciones de trabajo. Dentro de los sistemas candidatos para una inspección con termografía tenemos : equipos para distribución de potencia, subestaciones, closets eléctricos, centros de control de motores, barrajes encapsulados, estaciones generadoras, cojinetes, pérdidas por energía de fricción y desgastes, calor excesivo, distribución de calor, hornos, etc.

El éxito de una inspección termográfica se fundamenta en decidir qué equipo se va inspeccionar, estableciendo las prioridades y frecuencias de inspección, trazar la ruta a seguir, programando inteligentemente, y hacer seguimiento de los resultados obtenidos, analizando las tendencias térmicas en el ciclo de vida de los equipos y componentes.

Se aplica mediante un barrido de todas las conexiones eléctricas en un parque y permite registrar la distribución de temperaturas en un equipo que se encuentre en las condiciones de régimen normal de servicio.

Diagnostico en interruptores.

Debido al diseño de los contactos en algunos interruptores, que disponen de contactos principales y de arco, se aprovecha durante la realización de la curva de desplazamiento de los mismos, para registrar de forma continua la caída de tensión en la cámara de corte al inicio y fin de las maniobras de apertura y cierre.

Tabla 31. Rutina del mantenimiento predictivo en interruptores.

Interruptores		
Técnica de diagnóstico o actividad	Estado del equipo	Frecuencia
Resistencia circuito principal y conexiones	Desenergizado	Anual
Resistencia dinámica	Desenergizado	Tres años
Resistencia de aislamiento en corriente continua	Desenergizado	Anual
Tiempos de maniobra y sincronismo entre contactos	d / e	Anual
Análisis gráfico movimiento interruptor		
Recorrido de contactos	Desenergizado	Anual
Penetración de contactos	Desenergizado	Anual
Velocidad de apertura y cierre	Desenergizado	Anual
Amortiguación, sobrerrecorridos y rebotes	Desenergizado	Anual
Análisis gráfico consumo de bobinas	Desenergizado	Anual
Control sistema de acumulación de energía		
Tiempo de reposición	Desenergizado	Anual
Intensidad motor de carga resortes	Desenergizado Desenergizado	Anual
Consumo energía maniobras		Anual
Control medio de extinción		
Rigidez dieléctrica, niveles (PVA)	d / e	Tres años
Presión, consumo, humedad (aire)	d / e	Tres años
Humedad, acidez, calidad gas (SF6)	d / e	Tres años
Comprobación fugas de aislante (SF6)	Desenergizado	Anual
Limpieza de porcelanas	Desenergizado	Anual
Limpieza del mando	Desenergizada	Anual
Engrase y/o lubricación del mecanismo de accionamiento	Desenergizado	Anual
Ajustes y/o reemplazo en el cableado del mando	Desenergizado	Anual
Revisión del varillaje del mecanismo de accionamiento	Desenergizado	Anual

Fuente: El Autor

Sincronismo entre cámaras del interruptor. La medida del tiempo de maniobra en cada una de las cámaras del interruptor permite conocer el nivel de sincronismo alcanzado por los contactos, tanto linealmente (entre cámaras de corte de cada fase) como transversalmente (entre fases) facilitando una información complementaria del balance de energías en la maniobra.

Tiempo de reposición de energía del mando de accionamiento del interruptor. En interruptores con mando a resortes se mide el tiempo de carga de resortes para poder asegurar que las maniobras son realizadas en condiciones óptimas. En mandos neumáticos es necesario verificar la actuación de los presóstatos. Cuando los tiempos

obtenidos difieran o presenten desviaciones significativas con respecto a los valores de referencia, se procederá a la revisión de los sistemas de carga: motores, compresores, conducciones, conexiones eléctricas, tensión, etc.

Análisis del gráfico de desplazamiento de contactos en interruptores. El método de diagnóstico más utilizado para conocer el estado mecánico de un interruptor se basa en la obtención gráfica de las curvas de desplazamiento de sus contactos principales durante las maniobras de cierre, apertura y cierre sobre falta. Del análisis del gráfico realizado en la propia instalación y cuya interpretación se ve ampliamente apoyada mediante el uso de la tele diagnosis, se obtienen los siguientes parámetros de control:

- **Carrera total (recorrido).**- Valor definido entre la diferencia desde la posición inicial, antes del comienzo de la maniobra, hasta la posición final alcanzada al término de dicha maniobra.
- **Penetración de contactos.**- Distancia que recorre en la apertura del contacto principal entre la posición de cerrado y la separación eléctrica de contactos.
- **Velocidad de apertura y cierre.**
Se miden en los intervalos del gráfico de desplazamiento indicados por el fabricante: zona de arco en la apertura y de pre arco en el cierre.
- **Amortiguación, sobre recorridos y rebotes.**
Se analizan en las zonas de referencia del gráfico, observado si la amortiguación es correcta y no se producen sobre recorridos, ni rebotes en número y amplitud excesivos.
- **Gráficos de consumo de bobinas y motores.**
El control del consumo en las bobinas de apertura contribuye al conocimiento del estado de los sistemas eléctricos y mecánicos del interruptor, obteniéndose normalmente del registro gráfico de la intensidad realizada simultáneamente con el registro de desplazamiento de contactos, tiempos de maniobra, y tensión de alimentación en bornas del armario de mando. El registro del consumo del motor facilita una información complementaria a la del tiempo de reposición de energía del mando en interruptores y sirve igualmente para controlar el comportamiento del mando de los seccionadores durante las maniobras.

Transformadores de potencia

Una parte importante de los fallos en los transformadores de potencia son causados por el envejecimiento de los contactos del cambiador de tomas en carga (CTC). La inspección del estado de los contactos del selector resulta laboriosa por su ubicación.

Actualmente se está aplicando un nuevo método para diagnosticar el estado de los contactos deslizantes durante el proceso de conmutación evitando el desmontaje para la inspección, basado en la obtención del oscilograma correspondiente al cambio de intensidad debido a la influencia del valor de las resistencias que interviene durante la conmutación en cada toma de regulación de tensión (resistencias de conmutación, contacto y del arrollamiento correspondiente).

Tabla 32. Rutina del mantenimiento predictivo de transformadores de potencia

Transformadores de potencia		
Técnica de diagnóstico o actividad	Estado del equipo	Frecuencia
Análisis del aceite aislante		
Físico – químico de calificación	Desenergizado	Anual
Gases disueltos	Desenergizado	Anual
Concentración derivados furfulaldehído	Desenergizado	Anual
Medidas dieléctricas		
Capacidad entre devanados y a tierra	Desenergizado	Anual
Factor de potencia	Desenergizado	Anual
Resistencia de aislamiento en corriente continua	Desenergizado	Anual
Tensión resorción papel – aceite	Desenergizado	Anual
Medidas eléctricas		
Relación de transformación	Desenergizado	Anual
Resistencia de devanados	Desenergizado	Anual
Corriente de excitación	Desenergizado	Anual
Reactancia de dispersión	Desenergizado	Anual
Análisis de respuesta a diferentes frecuencias	Desenergizado	Anual
Respuesta dinámica del cambiador de tomas	Desenergizado	Anual
Medida de ruido y vibraciones	Energizado	Tres años
Limpieza de bushings	Desenergizado	Anual
Limpieza de tanque	Desenergizado	Anual
Limpieza y revisión de válvulas	Desenergizado	Anual
Limpieza del sistema de refrigeración	Desenergizado	Anual
Consumo motores de ventilación	Desenergizado	Anual
Limpieza del sistema de protección y control	Desenergizado	Anual

Fuente: El Autor

Medida de resistencia de devanados. La resistencia eléctrica del arrollamiento de los devanados en los transformadores se altera por la existencia de cortocircuitos entre espiras, defectos térmicos en su aislamiento por deficiencias en los contactos del regulador en carga del transformador. El control del valor de esta resistencia facilita la toma de decisiones de mantenimiento, especialmente en intervenciones por avería.

Medida en clase de precisión en transformadores de potencial. Si bien con el tiempo, la precisión en los transformadores de medida puede verse alterada, en los transformadores de potencial capacitivos se producen con mayor frecuencia variaciones en la relación de transformación debido a la modificación del valor de la capacidad de los

condensadores que constituyen el divisor de tensión. La determinación del error de relación de transformación y de ángulo se realiza por comparación de las medidas de tensión registradas, con otro transformador usado como patrón.

Medida de la corriente de excitación en transformadores de potencia. La medida de la corriente de excitación a tensión reducida puede utilizarse en campo para localizar ciertos defectos relacionados con el aislamiento de la estructura del núcleo y chapas magnéticas, fallos en el aislamiento entre espiras del devanado y deficiencias en los dispositivos de conmutación del regulador de tensión.

Medida de la reactancia de dispersión en transformadores de potencia.

El valor de la reactancia de pérdidas a menudo referida al ensayo de impedancia de cortocircuito en laboratorio, es sensible al cambio de la geometría configurada por las líneas de flujo, y su medida en campo, utilizando baja tensión, puede revelar movimientos y deformaciones de los devanados, circuitos abiertos o cortocircuitos entre espiras.

Respuesta de los devanados a diferentes frecuencias.

El devanado de los transformadores está formado por una distribución de resistencia, inductancia y capacitancia que presenta una respuesta muy definida en amplitud y fase, a los cambios de frecuencia en baja tensión. El registro y comparación de dichas respuestas para diferentes bancos de frecuencia permite la detección de variaciones en la distancia entre espiras y deformaciones en el devanado.

Medidas de tiempos de maniobra en seccionadores.

Una de las principales medidas que se realizan en el mantenimiento de seccionadores con mando eléctrico o neumático y especialmente en interruptores, consiste en el control de los tiempos propios requeridos en la realización de maniobra de cierre y apertura. El control de estos valores posibilita los ajustes precisos para garantizar la correcta operación de los equipos y permite programar adecuadamente la revisión necesaria para sustituir piezas y componentes.

Tabla 33. Rutina del mantenimiento predictivo en seccionadores

Seccionadores		
Técnica de diagnosis o actividad	Estado del equipo	Frecuencia
Resistencia circuito principal y conexiones	Desenergizado	Anual
Tiempos de maniobra	Desenergizado	Anual
Consumo energía por maniobra (motores)	d / e	Anual
Limpieza del mando	Desenergizado	Anual
Ajustes en el cableado del mando	Desenergizado	Anual

Fuente: El Autor

Medida de contaminación depositada en aisladores.

Estas medidas tratan de determinar el momento en que la contaminación depositada en el aislador puede alcanzar un valor peligroso, teniendo en cuenta no sólo el tipo de contaminante sino la incidencia atmosférica y geográfica de la subestación. Para ello, se pueden tomar muestras sucesivas de la contaminación depositada y prever su evolución, lo que no siempre es fácil, o medir el número y amplitud de las descargas superficiales mediante un equipo apropiado, cuya información se procesa y registra de forma continua mediante PC.

Medida de corriente de fuga en pararrayos de ZnO.

Los pararrayos se encuentran sometidos durante el servicio a la influencia de diferentes sobretensiones, tanto temporales como de maniobra y atmosféricas, que envejecen sus componentes y pueden causar su avería. La evaluación de los pararrayos de ZnO, puede hacerse a partir de la medida y control de la componente resistiva de la corriente de fuga que les atraviesa de forma permanente durante el servicio normal.

Tabla 34. Rutina del mantenimiento predictivo en pararrayos

Pararrayos		
Técnica de diagnóstico o actividad	Estado del equipo	Frecuencia
Medidas dieléctricas		
Factor de potencia	Desenergizado	Anual
Medida de corriente de fuga (ZnO)	Energizado	Tres años
Medida descargas parciales	Energizado	Tres años
Limpieza porcelanas	Desenergizado	Anual

Fuente: El Autor

Análisis del aceite aislante.

Los aceites aislantes son componentes esenciales de un gran número de equipos eléctricos, en particular para transformadores de potencia y de medida. La evaluación del estado del aceite aislante en servicio se efectúa atendiendo a los siguientes índices de control: aspecto y color, contenido en agua, índice de neutralización, factor de pérdidas dieléctricas y tensión de ruptura, así como, cantidad de partículas que por tamaño son contabilizadas.

Análisis de gases disueltos en aceite. Uno de los métodos de diagnóstico que proporciona una indicación anticipada de anomalías en su comportamiento funcional y permite determinar las medidas que conviene adoptar antes de que el equipo sufra daños más importantes se basa en el análisis cromatográfico de los gases de descomposición del aceite aislante por calentamiento excesivo de ciertos puntos del transformador o por descargas eléctricas en su interior. Según sea la temperatura del

punto caliente la energía de las descargas, las proporciones en que se producen los diferentes gases de descomposición son distintas. Por efecto de las sollicitaciones térmicas o eléctricas, los aceites aislantes dan lugar a los siguientes gases de descomposición: hidrógeno, metano, etano, etileno, acetileno, monóxido y dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno. Determinando el contenido de cada gas, la valoración global y la relación entre las concentraciones de los diferentes gases y su evolución, se puede conocer no solamente la existencia de un defecto, sino también el tipo del mismo y su importancia.

Medidas del ruido y vibraciones

Estas medidas son útiles para la detección de fallos incipientes en equipos que contengan piezas mecánicas en movimiento o sometidas a vibración por rozamiento con fluidos, campos magnéticos alternos, etc.

Medidas de aislamiento eléctrico.

Los aislamientos eléctricos de los equipos de AT constituidos por aceite, porcelana, papel, resinas, gas SF₆, etc., son susceptibles de envejecimiento por el paso del tiempo y las condiciones de servicio, dando lugar a una pérdida progresiva de sus características dieléctricas, que requiere el control de su evolución. Este control se lleva a cabo por medio de las técnicas relacionadas a continuación.

- **Medida de resistencia de aislamiento en corriente continua.** Corresponde principalmente a la medida de la conductividad superficial del aislamiento y se utiliza en la detección de un fallo inminente. Facilita la decisión de intervención inmediata, así como el conocimiento de la tendencia a largo plazo de un deterioro progresivo y la estimación global del nivel de aislamiento realmente existente.
- **Medida de la tensión de resorción del aislamiento papel-aceite.** El efecto de polarización de un dieléctrico cuando es sometido a tensión y la medida de la tensión de descarga del aislamiento determina en función del tiempo previo de carga, la curva del espectro de polarización. Este ensayo se utiliza para conocer el grado de envejecimiento del aislamiento de papel impregnado en aceite, influenciado por el contenido de humedad, la temperatura y por la absorción de productos de descomposición.
- **Medida de pérdidas dieléctricas y capacidad.** Con la medida del factor de potencia o tangente del ángulo de pérdidas en aislantes sólidos y líquidos se puede detectar la presencia de un efecto, aunque existan capas de aislante en buen estado en serie con el defectuoso, permitiendo aislar en la medición el efecto del aislamiento externo. La variación de la capacidad de un aislamiento prueba la existencia de condiciones anormales, como presencia de humedad, secciones de condensador cortocircuitadas o interrumpidas. Defectos a tierra del blindaje, deformación de bobinados en transformadores de potencia y deficiencias en condensadores de reparto de tensión entre otras.

Medida de descargas parciales.

El envejecimiento de los aislamientos se manifiesta, en ocasiones, por la presencia de descargas de alta frecuencia cuyo trayecto puentea, sólo parcialmente, el aislamiento entre conductores. A ello contribuye de manera importante, además de las sobretensiones, el incremento de temperatura del equipo. La medida de descargas parciales, que desde hace tiempo es una parte esencial de los ensayos de calificación eléctricos y por ello se encuentra muy desarrollada a nivel de laboratorio, puede incurrir en errores de medida en su adaptación a campo, si no se eliminan las señales de interferencia. Esta técnica se utiliza en la actualidad principalmente en el mantenimiento de transformadores, cables de potencia y en subestaciones encapsuladas de SF6. Las técnicas existentes pueden clasificarse de acuerdo con las magnitudes a medir y la unidad de capacitación utilizada, tales como: medida de la intensidad aparente de descarga a tierra en la banda de frecuencia dominante (disponiendo de sensor inductivo para su detección), medida de energía de arco (instalando sensores térmicos en aislamientos de SF6) y detecciones acústicas.

Medida de la resistencia de puesta a tierra

La inspección consiste básicamente en una revisión general del estado de las instalaciones, prestando especial atención a sus condiciones de seguridad y a su conformidad con lo indicado en la legislación vigente aplicable en cada caso; centrales y subestaciones.

En el caso de Colombia se aplicarán las reglamentaciones existentes:

RETIE : Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas de Colombia.

NTC-2050 : Código de Instalaciones Eléctricas de Colombia.

RAT : Reglamento Europeo de Alta Tensión.

NEC : National Electrical Code.

ANSI : American National Standards Institute

Método Tradicional: Este método consiste en realizar la medida de tierras con un equipo de inyección de Corrientes Débiles. Generalmente se utiliza un TELUROMETRO.

Método de PEI LTDA

Características principales:

1. Se realizarán tres medidas en cada punto; una inyectando intensidad en un sentido (V+), otra invirtiendo el sentido de la intensidad (V-) y una tercera sin inyección (V0). Con los valores obtenidos y aplicando la siguiente fórmula se elimina el error introducido por la perturbación :

$$V = \sqrt{\frac{(V_+)^2 + (V_-)^2}{2} - (V_0)^2}$$

Altas corrientes de Inyección (1 % la intensidad para la cual ha sido diseñada la instalación y nunca menos 50 A). Para evitar medidas falseadas.

La medida se realiza en dirección contraria a la malla auxiliar, lo que facilita la localización del Punto de Potencial Cero.

La medida de la resistencia de puesta a tierra de la instalación se realiza por el método de caída de potencial con corrientes fuertes, por ser el más indicado para grandes superficies.

✚ Método :

- ✚ Se realiza una inyección de corriente de unos 50A, entre una tierra auxiliar, de referencia y la que se quiere medir.
- ✚ Se busca el punto de potencial “cero”, en dirección opuesta a la de inyección y se van tomando medidas alejándolo progresivamente de la red de tierra hasta que se estabilizan los valores obtenidos.
- ✚ La lectura que se obtiene cuando se estabilizan las medidas, dará las resistencias de tierra del electrodo bajo prueba.

Medida de tensión de paso y contacto. En las instalaciones eléctricas se producen de forma circunstancial, corrientes de defecto a tierra que generan elevaciones del potencial del terreno, que pueden llegar a ser peligrosas para las personas que trabajen en ellas. Para garantizar que estos potenciales no sean peligrosos, las normas, definen los valores máximos admisibles de tensión y el método de medida de la tensión de paso y contacto, mediante inyección de corriente en la red de puesta a tierra. Asimismo, se establece la necesidad de medir las tensiones que se puedan transferir fuera de la subestación y la determinación de la resistencia de difusión a tierra de una subestación, recién construida o en funcionamiento, para verificar su estado de conservación con el paso del tiempo.



Las medidas se realizarán en:

- Las zonas próximas al vallado, especialmente en las esquinas.
- El interior de los patios.
- Los puntos conflictivos como pueden ser los cambios del tipo de piso del terreno (tapas de hierro, césped, falta de grava, etc.).

La diferencia de tensión (Voltaje) entre dos puntos de la superficie del terreno separados un (1) metro.

Medida de resistencia de contacto. Las características eléctricas de un contacto, en elementos de maniobra, dependen del número de interrupciones y de la energía del arco acumulada, ya que provocan el desgaste de sus componentes, pérdida de presión de contacto y presencia de impurezas al depositarse una película particularmente aislante en la superficie. Asimismo, los esfuerzos que se producen durante las fallas, la acción del viento y las vibraciones transmitidas durante las maniobras, empeoran las características mecánicas de los puntos de conexión de los equipos.

Es la diferencia de tensión entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie, separados un (1) metro.



Se medirá la U_c (pie-mano) de todos los vallados de la subestación.

Método:

Se medirá la U_c (pie-mano) en los elementos metálicos independientes existentes, especialmente el suelo este próximo a los equipos, estructuras, etc.

6. ESTRATEGIAS

6.1 TERCERIZACION DEL MANTENIMIENTO (OUTSOURCING)

Ferry de Kraker, director general de la internacional Federation of Purchasing and materials Management define el outsourcing: "Outsourcing significa realmente encontrar nuevos proveedores y nuevas formas de asegurar la entrega de materia primas, artículos, componentes y servicios. Significa utilizar el conocimiento, la experiencia y la creatividad de nuevos proveedores a lo que anteriormente no recurría".

Paule Neale, director de negocios de la compañía I.S.L. de I.B.M. define el outsourcing como la práctica de transferir la planeación, administración y operación de ciertas funciones a una terceras independientes o lo que comúnmente se ha llamado la "tercerización"

Vale aclarar que el outsourcing podría definirse como la acción de recurrir a una agencia externa para operar una función que anteriormente se realizaba dentro de una compañía y surge otro termino outsource que es un servicio externo a la compañía y que es una extensión de los negocios de la misma pero con su propia administración que en realidad son proveedores del outsourcing.

Es el outsourcing una estrategia gerencial que cada día se está desarrollando más en los países industriales como el Reino Unido (Inglaterra, Irlanda), Estados Unidos, Japón, y esta abarcando diferentes áreas o funciones que anteriormente se realizaban dentro de las compañías. El outsourcing en sus inicios simplemente consistía en administrar instalaciones o prestar un servicio único como el procesamiento de datos, comedor, que anteriormente realizaba internamente la misma compañía. En el caso del mantenimiento este concepto aparece en el año 1952 en Canadá, donde se plantea la filosofía del quien construye puede hacer mantenimiento y a la vez outsourcing entre un complejo petrolero de la compañía constructora Catalytic Construction Of Canada y un comité de representantes internacionales de los sindicatos de la construcción elegidos por los presidentes generales de sus organizaciones y cuatro años más tarde este acuerdo opera en Estados Unidos denominado Libro Azul o acuerdo de los presidentes generales sobre el proyecto de mantenimientos.

Las condiciones cambiantes del mercado, de la tecnología, y las necesidades de ser cada vez más competitivo de simplificar las organizaciones, evitar los desperdicios, de reducidos tiempos de entrega, de ser más eficiente han llevado a las direcciones generales de las empresas a preguntarse si su organización tiene ¿el tamaño adecuado?, ¿El personal adecuado?, y como encontrar ese número mágico? si es mejor ¿comprar o fabricar? Y las repuestas a estas preguntas es el outsourcing porque presentan ventajas competitivas donde reducen conflictos internos entre departamentos y permiten fusionar el tamaño de la organización y dedicarse a la razón de ser de la empresa y contratar los procesos rutinarios y repetitivos que no generan valor. Pero este outsourcing ha tenido un desarrollo que ha pasado de prestar un servicio único, a contratar procesos completos en

donde el concepto primordial es el de Sociedad donde prevalece la cooperación, asociación y la relación cliente-proveedor comparten riesgos y metas comunes. Para entender este concepto cito al señor Jhon C. Henderson de la Universidad de Boston quien ha realizado investigaciones sobre sociedades y la define “Una estrategia para alcanzar un mayor desempeño y/o menor costo a través de una acción conjunta y mutuamente dependiente de organizaciones o individuos independientes”.

Pero también el outsourcing se ha encontrado con muchas creencias y mitos que no le han permitido desarrollarse en algunas empresas especialmente en el área de mantenimiento. Entre estas creencias se encuentran las siguientes:

6.1.2 Pérdida del control de costos y de los procesos.

Sostienen quienes piensan así que se pierde la “confidencialidad” de los procesos y que se le da manejo y poder a un tercero, ya que esto crea dependencia poniendo en peligro la empresa. Lo que realmente no se debe contratar de los procesos es el Know How o sea el conocimiento y la razón de ser de la empresa para no caer en la dependencia. Por ejemplo en la hotelería no se podrá contratarse los servicios de alimentación, hospedaje y atención personal del cliente. Pero en cambio si podría hacerse outsourcing en el proceso de mantenimiento de las habitaciones tales como pintura, albañilería, plomería, etc. En el mantenimiento lo único que no deberíamos contratar es la estrategia o la gestión del tipo de mantenimiento, además lo que realmente se busca es la flexibilización de los costos fijos en variables.

6.1.3 Que se busca rebajar la mano de obra.

Sostienen que solo piensan en cómo reducir el personal propio para contratar otros con salarios bajos pero se olvidan que la mano de obra es solo un componente de los costos unitarios y que la verdadera solución se logra conjugando las habilidades gerenciales de los recursos humanos y la parte financiera. Desafortunadamente en nuestro país es lo que ha pretendido el mantenimiento.

6.1.4 Que es costoso.

Los que sostienen esta tesis no ven la calidad de servicios que un buen contratista les puede brindar y que esta es la base del éxito de las empresas, solo ven que es costoso. Además existen unos peligros latentes del outsourcing que tenemos que considerar, y se mencionan a continuación:

- Pérdida de control.
- Riesgo de seguridad.
- Amenaza a la confiabilidad.
- Calidad/experiencia del subcontratista.
- Pérdida del talento experto de la compañía.
- Cambios de compromisos/estabilidad financiera del subcontratista.
- Cambio en el negocio y la tecnología durante la vida de un contrato.
- Cambio del entorno.
- Retorno del servicio de la compañía original.

- Incompatibilidad de las motivaciones/ habilidades cliente-proveedor.
- Escalada de costos.
- Posibilidades de eliminación por parte del cliente final es decir, romper el contacto del quien hace el desarrollo.

En resumen, el mayor riesgo que puede ocurrir en las compañías que hace el outsourcing es perder el personal calificado y experiencia que controla las funciones vitales de la compañía y así evitar la pérdida de las ventajas competitivas para poder permanecer en el negocio. Las siguientes son las ventajas del outsourcing en el mantenimiento

Reducción de niveles jerárquicos o aplanamiento del departamento: Donde el proveedor del outsourcing sabe de antemano a quien dirigirse acabando con la tramitología por tener instrucciones claras en su contrato evitando burocracia y pérdida de tiempo y el gerente de mantenimiento se dedica a la planeación y control de su departamento. Por ejemplo cuando se tiene un outsourcing en pintura de tuberías y equipos por un año o más dentro de la compañía donde se especifica el valor por metro cuadrado y procedimientos no hay necesidad de hacer invitación a otras firmas, simplemente basta con dar la orden de ejecución, hacer su respectiva orden de trabajo para la ejecución de la misma.

Flexibilización de los cargos: El personal que quede dentro del departamento debe ser el más experimentado y versátil con el fin de hacer las interventorías a los proveedores del outsourcing y por cualquier circunstancia retomar el control de la parte que se está contratando.

Mejoran las relaciones del cliente con el proveedor: Por no tener este un sindicato que pueda presionar las parálisis de las actividades del mantenimiento teniendo disponibilidad de las horas hombre cuando sea necesaria.

Reevaluar los conceptos o procedimientos internos: Cuando el proveedor del outsourcing trae conocimientos y tecnología especializadas para hacer las cosas más eficientes y mejor.

Elimina las existencias de inventarios de repuestos en los almacenes de mantenimiento y los transfiere a los del proveedor elimina también equipos y las herramientas del departamento responsabilizando por el manejo, cuidado y reposición al proveedor y se puede llegar a un acuerdo de pago como parte de sus servicios; Esto conlleva a eliminar activos fijos que se deprecian y se reflejan en los estados financieros de la empresa y por ende en el departamento de mantenimiento. Como ejemplo se puede citar prácticas de disponibilidad y suministros de elementos como: Aceites, Rodamientos, Bandas y correas, Refractarios Soldaduras, elementos de seguridad etc.

El outsourcing en el mantenimiento se puede implantar en las actividades, funciones y área específicas que se vayan transferir a los proveedores por disposición de la alta gerencia; dentro de estos procesos del mantenimiento tenemos los siguientes:

- ✓ Mantenimiento eléctrico, mantenimiento de tableros de control.
- ✓ Mantenimiento mecánico, montajes de maquinarias.
- ✓ Mantenimiento de edificios, carpintería, pintura, plomería.

- ✓ Equipos, herramientas.
- ✓ Programas de mantenimiento preventivos y predictivos.
- ✓ Control de repuestos y materiales.
- ✓ Control sobre utilización de mano de obra.
- ✓ Métodos de medición del trabajo.
- ✓ Asesorías.
- ✓ Mano de obra.
- ✓ Mantenimiento de refrigeración y aire acondicionado.
- ✓ Mantenimiento de obras civiles/ reparaciones locativas.

O sea a todas las tareas de mantenimiento se le puede hacer outsourcing.

Dentro de este proceso de outsourcing se involucran actividades desde la definición del pliego de condiciones o términos de referencia hasta la evaluación del proveedor, resumiendo estas actividades son:

- Definición de términos de referencia: Define claramente lo que se quiere contratar, objeto de la obra, alcances.
- Aprobación de la licitación o invitación: Es decir que el trabajo se va a realizar si hay los recursos necesarios y que firmas se van a invitar.
- Análisis y evaluación de las ofertas: Se hacen los cuadros comparativos de las empresas invitadas y si se ajustan a los términos de referencia.
- Adjudicación y perfeccionamiento del contrato: Se decide a que empresa se adjudica y hace la redacción y detalles legales del contrato como pólizas, multas.
- Preparativos para la ejecución del contrato: Consiste en fijar la fecha de inicio, verificación de materiales, permiso de entrada del personal y equipos, seguridad social, industrial.
- Ejecución del contrato: Consiste en desarrollar todas las labores de acuerdo al cronograma de actividades, respetando todos los procedimientos técnicos y de seguridad, sobretodo cumplir con las fechas de entrega.
- Evaluación de la gestión del proveedor: Se evalúa la calidad del trabajo y el tiempo de entrega del mismo.

6.1.5 Proceso de selección de proveedores del outsourcing.

Normalmente se crea un comité de selección entre usuarios que trabajan a diario con el personal del proveedor del outsourcing como mantenimiento, producción, ingeniería, seguridad, compras. Se deben hacer un examen a los proveedores del outsourcing posibles; la evaluación incluye análisis de las referencias que le dan los clientes actuales y anteriores, referencias de crédito, En la evaluación del proveedor del outsourcing debe tenerse en cuenta los siguientes criterios: experiencia, capacidad, prestigio, disponibilidad, organización para tomar decisiones

Capacidad: Son los recursos que posee el proveedor para la ejecución del trabajo. Entre los recursos se debe evaluar y cuantificar equipos necesarios, personal capacitado e idóneo, capital, experiencia técnica, y administrativa. También deben considerarse como parte de sus capacidades sus grupos de apoyos y alianzas para proyectos especiales.

En Colombia las empresas estatales se apoyan en el registro único de proponentes RUP donde toman diferentes aspectos y se da una calificación sobre la base de salarios mínimos vigentes.

Prestigio: Recomendable hacer outsourcing con firmas que tengan un reconocimiento y que estén posesionadas en el medio; porque da certeza de un buen cumplimiento de sus labores; pero si se trata de tomar decisiones con firmas de proveedores nuevas se recomienda asumir el riesgo siempre y cuando el outsourcing sea de menor envergadura o su posibilidad de riesgo es menor; esto traerá como consecuencias posibilidades futuras de un excelente servicio.

Disponibilidad: Es la capacidad del proveedor de ejecutar sus trabajos dentro del límite pactado. Su disponibilidad o tiempo de repuesta es un factor importante a la hora de selección pero debido a sus compromisos podrá estar ocupado para realizar los trabajos en el período requerido de tiempo. Para determinar esta disponibilidad en los contratos, licitación, Orden de servicio, etc. se estipula el tiempo de inicio y de finalización de la obra anexando cronograma de trabajo con sus actividades requeridas. En el servicio de mantenimiento se puede estipular un tiempo de respuesta después de una llamada de recibo de emergencia.

Tabla 35. Clasificación de los proveedores

ATRIBUTOS	EMPRESA X	EMPRESA Y	EMPRESA Z
	%	%	%
<i>Reputación</i>			
<i>Capacidad</i>			
<i>Experiencia</i>			
<i>Prestigio</i>			
<i>Disponibilidad</i>			
<i>Organización</i>			
<i>Estado Financiero</i>			

Experiencia: Si un proveedor muestra que anteriormente ejecuto el mismo trabajo de que se trata y no puede demostrar referencia adecuada de satisfacción total del trabajo realizado presenta dudas para adjudicación del mismo. Si él es nuevo en ese campo y se trata de un trabajo menor tal vez valga la pena de la adjudicación. Un buen proveedor frecuentemente recordara sus primeros trabajos y clientes que le ayudaron en sus comienzos y por gratitud siempre dará referencias y un excelente servicio.

Una vez determinado cada criterio por proveedor; se debe hacer una matriz evaluativa para su selección y clasificación por porcentaje estableciéndose unas categorías.

6.1.6 Metodología para Implementar el Outsourcing

El primer paso para implementar el outsourcing en una empresa es realizar una selección de los procesos que se puedan transferir en responsabilidad a los proveedores de outsourcing y el ejercicio se basa en escoger o hacer la lista de área probables para intervenir en él, una vez seleccionada el área piloto se nombra el director del proyecto pero antes se debe haber logrado el compromiso de la alta dirección. El paso siguiente es diseñar la metodología que consiste en cinco fases que se muestran en la tabla 3.

Tabla 36. Fases Para La Implementación Del Outsourcing

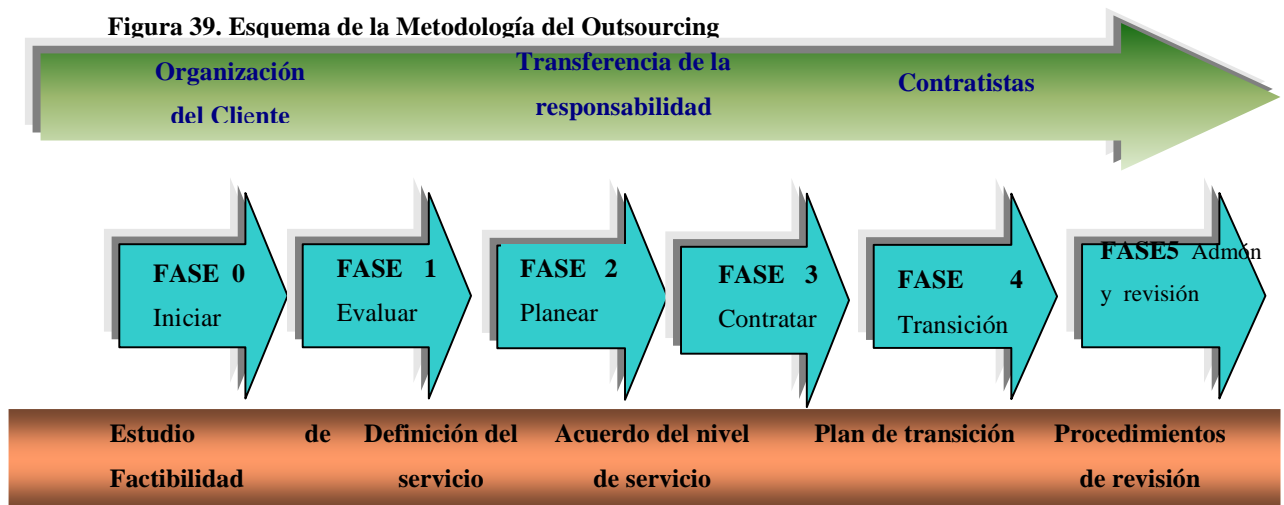
<i>FASE 0</i>	INICIO
<i>FASE 1</i>	EVALUACIÓN
<i>FASE 2</i>	PLANEACIÓN
<i>FASE 3</i>	CONSTRUCCIÓN
<i>FASE 4</i>	TRANSICIÓN
<i>FASE 5</i>	ADMINISTRACIÓN Y REVISIÓN

En cada una de las fases se debe constatar los pasos siguientes:

- Que hace la fase.
- Cuanto tiempo demora.
- Quienes participan.
- Que se entrega.
- Que se decide.

En resumen la fase de inicio entrega un documento que establece el alcance del proyecto y las cuestiones administrativas, decide los beneficios estratégicos y se demora de dos a cuatro semanas. La fase de evaluación entrega un estudio de factibilidad y una decisión.

acerca si se debe o no continuar a la etapa de planeación se demora de cuatro a seis semanas. La fase de planeación entrega un plan para el proceso de licitación incluyendo documentación, descripción de los servicios y una estrategia para negociación para los proveedores y decide a quien se invita a concursar. La fase de contratación entrega invitación a concursar y los encabezados de los contratos, demora de tres a cuatro meses. La fase de transición entrega documentación de los procesos administrativos y la responsabilidad al proveedor y decide la fecha de inicio del contrato. La última fase revisiones regulares y decide la verificación anual del contrato. Ver figura 39.



✚ **Estrategias para lograr mejor utilización de contratación en la función del mantenimiento.**

A pesar de tener mano de obra calificada en el mantenimiento a veces es necesario utilizar firmas de afuera para ciertas labores. Para determinar el grado de necesidad de contratación en el mantenimiento y para establecer que contratistas seleccionamos desde el punto de vista de costo como de ejecución; hay que aplicar estrategias dentro del mantenimiento para determinar el contratista a emplear, considerando las siguientes:

- **Tipo de trabajo de que se trate:** Si el tipo de trabajo no requiere un alto grado de especialización o no requiere de equipos tecnológicos modernos; entonces se recomienda hacer con el personal de base pero si es lo contrario si son de trabajo con alto grado de especialización y manejo de tecnología de punta y requiere de equipos costosos se justificaría la contratación externa.
- **La cantidad de trabajo requerido:** Al decidir si cierta labor se debe ejecutar dentro de la empresa, una consideración primordial es también la cantidad de trabajo. Un objetivo del departamento de mantenimiento en las empresas es evitar el tiempo ocioso del recurso humano propio. Cuando no haya suficiente trabajo calificado para mantener ocupado a los empleados propios; Probablemente es mejor contratar el trabajo completo, particularmente si la empresa requiere equipos especiales que serán Después de poca utilización; ejemplo jardinería, mantenimiento. de edificios, labores de aseo no se recomienda utilizar sus empleados
- **La fecha de ejecución:** Hay que tener en cuenta 2 factores:

- ✓ Idealmente el departamento de mantenimiento debe tener el personal necesario para realizar sus tareas o labores normalmente pero cuando hay demandas (paradas de planta, emergencias) Idealmente deben emplearse contratistas para el exceso de trabajo.
 - ✓ La especialización disponible de los recursos humanos en el mantenimiento pueda que no sea del más alto grado pero por sus costos adicionales con respecto a paros y la calidad del trabajo aconseja la contratación del trabajo.
- **Aplicación de la cifra costos:** Evaluar los trabajos para determinar los costos con recursos propios se deben considerar todos los factores de los costos de mantenimiento (salarios, supervisión, administración) y también donde aplique el costo por paro de producción.

Se debe tener en cuenta el costo de calidad en la ejecución aunque este costo es subjetivo, lo que se trata es de medir y cuantificar en términos de costos es que el recurso humano propio puede hacer el trabajo más lentamente y de menor calidad que un contratista con mano de obra calificada en ese trabajo.

Al hacer el análisis de precio del contratista debe reconocerse que él debe añadir el elemento de ganancia a sus costos de salarios, gastos generales, equipos. Este margen de ganancia normalmente se le añade a la mano de obra y a los materiales.

✚ TEMAS DE INFORMACION CMMS

La gestión de mantenimiento ha evolucionado en forma dinámica y permanente, hacer mantenimiento implica estar acorde con nuevos desarrollos tecnológicos y nuevos retos para el sector eléctrico, los entes reguladores del servicio de energía eléctrica constantemente verificar la calidad de la energía suministrada a los usuarios finales. Por tal razón, los nuevos retos están asociados con la necesidad de optimizar la eficiencia y eficacia en la prestación del servicio de energía eléctrica como un bien considerado de uso masivo en la prestación de los servicios públicos y el mejoramiento de la calidad.

Estas tendencias tienen directas repercusiones sobre la gestión del mantenimiento y han generado procesos evolutivos en torno a la producción de técnicas y estrategias de mantenimiento, centradas no sólo en las intervenciones a los equipos, sino también en una verdadera gestión que aborde, desde una perspectiva gerencial y sistémica, una acertada relación con el trabajo administrativo, técnico y operativo del área de mantenimiento.

El proceso de operación y mantenimiento debe como baluarte en el cuidado y conservación de los activos de la empresa debe tener herramientas que permitan que los procesos estandarizados, (escritos, sistematizados, o no escritos), estar integrados, agrupados a procesos para suministrar información confiable y oportuna para el desarrollo de la gestión y la toma de decisiones acertadas

Un sistema de información de mantenimiento CMMS¹⁵ más que un software, es una metodología de gestión y administración de mantenimiento, que permite a las empresas obtener resultados en cuanto a:

- ✚ Definición de procesos óptimos
- ✚ Normalización de procedimientos.
- ✚ Análisis de eventos.
- ✚ Conocimiento de los costos.
- ✚ Obtención de indicadores de gestión.

Los software de mantenimiento CMMS de alto nivel son aparentemente similares en contenido, siendo su diferencia la profundidad de la información de algunos registros y funciones, la capacidad de apoyo e innovación.

El componente principal de un software para la gestión de mantenimiento es que sea aplicable a cualquier tipo de empresa. Contar con módulos integrados para el manejo de almacenes, compras, facturas, y algunas aplicaciones para el manejo de proyectos, herramientas, presupuestos, catálogos, planos, indicadores de gestión, emisión de reportes y control de autorizaciones.

La función principal de dicho software es permitir la planeación y control del mantenimiento, pues debe servir como herramienta para llevar a cabo dichos procesos. El sistema debe trabajar con datos compartidos e interrelacionados, lo que permite que la información fluya entre distintas dependencias en tiempo real.

Los datos ingresados y almacenados en la base de datos una sola vez deben estar disponibles para cualquier usuario que tenga acceso al sistema. Por eso la gestión de mantenimiento implica al personal que labora en el área, no sólo conocer las técnicas y aprenderlas, sino también aprender a decidir cuáles son útiles en consideración las necesidades específicas de la empresa y a sus características particulares. La elección adecuada permitirá mejoras en la práctica del mantenimiento y la optimización de costos. Por el contrario, si la elección de la técnica no corresponde a las necesidades y problemas determinados, se contribuirá a agudizar las dificultades y al aumento de los costos, y en última instancia, afectará la producción del bien o la prestación del servicio (Perez, 2003).

6.2.1 BENEFICIOS DEL USO DE LOS CMMS EN MANTENIMIENTO

Todo el esfuerzo desplegado en estos desarrollos es retribuido con los siguientes beneficios:

¹⁵ CMMS, *Por si sigla en ingles, Computerized Maintenance Management Systems.*

✚ Optimización de uso de mano de obra (productividad) manifestado en:

- Mejor planeación, programación y ejecución de las actividades.
- Aplicación de planes de mantenimiento
- Mejor control de los recursos, debido a su conocimiento y dominio.
- Mayor cobertura con los mismos recursos.
- Mejor utilización de la mano de obra.

✚ Mejor uso de los materiales

Los criterios y estrategias para manejo de partes mejoran en calidad y cantidad de repuestos por la mayor aplicación de actividades; aumentándose su ciclo de vida, incremento del diagnóstico de condición; también se estandarizan las descripciones y referencias facilitando su administración.

✚ Reducción de lucro cesante por interrupciones:

La efectividad de las áreas de programación y la aplicación del diagnóstico de condición revierten en una disminución del tiempo de paro y el incremento en y la mayor aplicación de mantenimiento "fuera de línea", menos problemas de calidad y mejor y más seguro funcionamiento.

✚ El CMMS brinda información actualizada, oportuna y de uso corporativo sobre los activos registrados en él. De esta forma es posible obtener toda la información técnica, características de funcionamiento, ubicación, prioridad del equipo, estado actual, planes de mantenimiento, ordenes de trabajo ejecutadas y por ejecutar, costos de mano de obra, materiales y repuestos, en diferentes períodos, personas que han intervenido el equipo, componente y repuestos asociados al mismo, notas relevantes sobre el equipo, ubicación dentro del sistema (jerarquía), tiempos de paro, tiempos de funcionamiento, señales de alarma, valor de compra, proveedor, fecha de adquisición del bien y en general toda la información requerida para gestionar su mantenimiento, así como también para uso de otras áreas: almacén, operación, comercial, montajes, entre otros.

6.3 PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

Introducción

El programa de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial es uno de los componentes fundamentales de la gestión de mantenimiento, dicho programa debe ser acatado por el personal de la empresa y personal contratista.

La EEC S.A, normalizará el cumplimiento de lo señalado en el presente programa. Deberá realizarse charlas informativas a todos los trabajadores, con la finalidad que conozcan y se familiaricen con todas y cada una de las reglas básicas para la prevención de accidentes ahí contenidas.

Objetivo

Proteger a los trabajadores de la EEC, de accidentes y enfermedades ocupacionales, dándoles a conocer los procedimientos básicos para su prevención durante la realización de los trabajos.

Determinar todas las actividades que se desarrollaran, con el fin, de asegurar la salud y seguridad de los trabajadores.

Alcance

En lo que respecta al Programa de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial se tomaran en cuenta todos los aspectos tendientes a proteger la integridad de los operarios durante la ejecución de las labores de mantenimiento. Además, se incluirá:

6.3.1 Equipo de protección personal (EPP)

Las actividades relacionadas con la construcción y operación de la Línea implican riesgos al personal, que deben ser minimizados.

b) Objetivo

Prevenir accidentes de trabajo, a través, de la correcta utilización de los Equipos de Protección Personal.

c) Actividades a desarrollar

- ✚ Suministrar cada año o cada vez que las circunstancias lo requieran, ropa adecuada para el trabajo.
- ✚ Proporcionar elementos de protección personal para realizar las actividades que constituyan riesgos a la salud como son el manejo de productos químicos peligrosos, aceites dieléctricos, equipos, entre otras. Las características de los elementos de protección de personal se describen en los Requisitos de los Equipos de Protección Personal.
- ✚ Renovará periódicamente cada tres meses y cada vez que lo requieran, los equipos de protección personal y demás dispositivos utilizados en la realización de las tareas. Todos los equipos de protección personal deben estar en perfecto estado de funcionamiento.
- ✚ d) Requisitos de los equipos de protección personal

- ✚ Cuando en el lugar de trabajo exista riesgo de caída de altura, será obligatoria la utilización de casco de seguridad. Los cascos de seguridad deberán estar constituidos por materiales incombustibles o de combustión lenta y no deberán afectar la piel del usuario en condiciones normales de empleo.
- ✚ Se debe tener presente que las mascarillas con filtro no protegen contra todos los productos tóxicos, sobre todo para la manipulación de banco de baterías de Plomo Ácido, son específicos para determinados grupos de sustancias. Los cartuchos filtrantes deben cambiarse de acuerdo a la recomendación del fabricante. Debe utilizarse una hoja de control. Las mascarillas son de uso personal.
- ✚ Para la protección de los ojos cuando no se utilice la mascarilla facial total, se debe utilizar anteojos herméticos, con estructura de goma que se ajusta perfectamente alrededor de los ojos, o los visores faciales que son los indicados para evitar salpicaduras de líquidos sobre la cara. Deberán ser ópticamente neutros, que no tengan defectos superficiales o estructurales que alteren la visión normal del que los use. Las gafas de seguridad deberán ser sometidas a cuidados y mantenimiento (desinfección), para que no se alteren sus características técnicas y funcionales. Las gafas de seguridad, serán de uso personal.
- ✚ Cuando el nivel de ruido no cumpla con los criterios establecidos, será obligatorio el uso de elementos de protección auditiva, los mismos que serán de materiales que no causen molestias y afecciones a la salud y deberán ser mantenidos en estado higiénico. Los protectores auditivos serán de uso personal e intransferible.
- ✚ La protección de las manos es muy importante, ya que ellas se encuentran directamente expuestas, lo más indicado es el uso de los guantes de caucho o resinas sintéticas que no permiten el paso de los productos ni la pérdida de sensibilidad al tacto.
- ✚ El mejor calzado para la protección de los pies, son las botas de caucho con suela antideslizante. Se debe utilizar la caña de la bota debajo del pantalón para evitar derrames o salpicaduras de líquidos a los pies.

6.3.2 Señalización y rotulación de subestaciones y barraje de líneas

a) Introducción

La señalización de seguridad de los locales de trabajo se encuentra contenidos en Reglamento de Salud y Seguridad de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. Implementado por el departamento de Sauid Ocupacional y por el COPASO¹⁶.

¹⁶ *Comité Paritario de Salud Ocupacional*

La señalización de seguridad se utilizará para indicar la existencia de riesgos y medidas a adoptar ante los mismos, las mismas que no podrán reemplazar a las medidas preventivas colectivas o personales necesarias para la eliminación de los riesgos, sino que serán complementarias.

Las instalaciones de las subestaciones cuentan con señalización de ubicación en determinadas áreas, pero incompleta y no adecuada. También es importante indicar que en general no existe señalización de seguridad en los lugares donde hay peligro y riesgos.

b) Objetivo

Prevenir los riesgos de accidentes debido a la falta de información sobre los riesgos que presentan los lugares o los materiales que se utilizan en los procesos productivos ya sea en términos de: prevención, obligación, prohibición e información.

c) Actividades a Desarrollar

- ✚ Instalar señales de seguridad en todos los lugares donde existen peligros y riesgos.
- ✚ Capacitar al personal, acerca de la existencia, situación y significado de la señalización de seguridad.

d) Descripción de las Normas de Señalización

- ✚ La señalización de seguridad se utilizará solamente cuando sea necesario, en sitios adecuados y en forma visible.
- ✚ Los materiales utilizados en la señalización serán resistentes en las condiciones normales de uso, preferentemente metálicos, pintados con pintura anticorrosiva lavable y resistente al desgaste.

La señalización óptica se utilizará con iluminación externa o incorporada de modo que combinen formas geométricas y colores. El nivel de iluminación será al menos de 50 lux. Este tipo de señales deberá colocarse en la zona de descarga, debido a que los vehículos que transportan el asfalto pueden descargar en horario nocturno. A falta de señalización óptica se deberá utilizar señales de seguridad reflectantes.

Las Señales de Prohibición serán de forma circular y el color base de las mismas será el rojo. En un círculo central, sobre fondo blanco se dibujará en negro, el símbolo de lo que se prohíbe. Se colocarán en transformadores, instalaciones para almacenamiento de combustible, bodegas de productos químicos peligrosos (ácidos utilizados en el banco de baterías), entre otros.

Figura 40. Señales de Prohibición



Las Señales de Obligación serán de forma circular con fondo azul oscuro y un reborde en color blanco. Sobre el fondo azul, en blanco, el símbolo que exprese la obligación de cumplir. Se colocarán en el área de transformadores, almacenamiento de combustibles, bodegas de productos químicos peligrosos (ácidos utilizados en el banco de baterías).

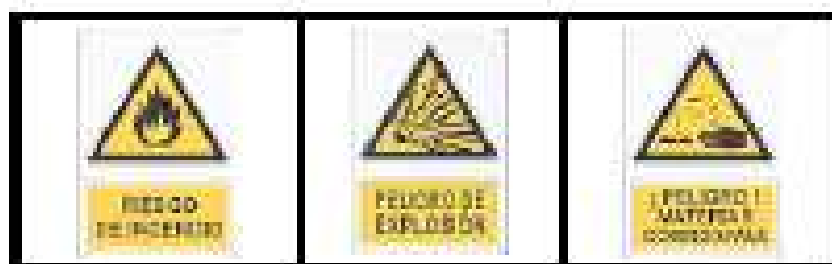
Figura 41. Señales de Obligación



Las Señales de Advertencia estarán constituidas por un triángulo equilátero y llevarán un borde exterior en color negro. El fondo del triángulo será de color amarillo, sobre el que se dibujará, en negro el símbolo del riesgo que se avisa. Se empleará como advertencia de accidente. Se colocarán en sala de control, bodega de productos químicos.

Las Señales de Advertencia estarán constituidas por un triángulo equilátero y llevarán un borde exterior en color negro. El fondo del triángulo será de color amarillo, sobre el que se dibujará, en negro el símbolo del riesgo que se avisa. Se empleará como advertencia de accidente. Se colocarán en sala de control, bodega de productos químicos.

Figura 42. Señales de Advertencia



Las Señales de Información serán de forma cuadrada o rectangular. El color del fondo será verde llevando de forma especial un reborde blanco a todo lo largo del perímetro. El símbolo se inscribe en blanco y colocado en el centro de la señal. Se colocarán para indicar la ubicación de todas las instalaciones en general: bodega, servicios higiénicos, guardianía, entre otras.

6.3.3 Equipo para protección contra incendios

El fuego es un proceso de combustión que surge de la combinación de tres elementos: calor, aire y combustible. La ausencia de uno de estos tres elementos apaga el fuego.

Clases de incendios

Se clasifican generalmente de acuerdo con el material que los provocan:

Clase A: Madera, Papel, Goma, entre otras.

Clase B: Naftas, Pinturas, entre otras.

Clase C: Equipos eléctricos.

Clase D: Metales inflamables: Magnesio, Titanio, Potasio, entre otras.

b) Medidas de Prevención

Clase A

- ✚ Las áreas de trabajo deberán estar libres de basura.
- ✚ Separe los trapos con grasa y desechos similares de cualquier fuente productora de fuego.

Clase B

Utilizar productos combustibles sólo en lugares ventilados.

Mantener los líquidos inflamables guardados en recipientes cerrados alejados de fuentes productoras de fuego o calor.

Clase C

Revisar cables dañados o viejos.

Nunca sobrecargar un tomacorriente con más de dos enchufes. Mantener limpios los motores de equipos para evitar recalentamientos.

Clase D

Seguir los procedimientos específicos de la empresa cuando se utilizan metales como magnesio, potasio, titanio, entre otras.

c) Tipos de Extintores

De acuerdo con la clasificación anterior, se puede distinguir los siguientes tipos de extintores:

- ✚ Extintor de Agua. Apto para fuegos de clase A, no utilizable en fuegos de las clases B y C.
- ✚ Extintor de Espuma. Apto para fuegos de clases A y B. No utilizable en fuegos de clase C.
- ✚ Extintor de Polvo (PQS). Apto para los tipos de fuego que marca su etiqueta, pudiendo emplearse en fuegos de clases ABC.

6.3.4 PROGRAMA DE CONTINGENCIAS Y RIESGOS

Introducción

Un Plan de Contingencia del proyecto es una herramienta de prevención para contrarrestar los efectos que se puedan generar por la ocurrencia de emergencias debido a accidentes, incendios, fenómenos naturales o sabotaje. El evento debe ser controlado a través de todos los elementos componentes de la Subestación y en su área de distribución

El presente Plan de Contingencias establece criterios generales sobre la organización y funciones del personal que efectuará el control de emergencias que permitan adoptar medidas para reducir daños potenciales al personal propio, personal de terceros, público en general e instalaciones. También establece un lineamiento para las comunicaciones a las Autoridades competentes y la coordinación de la ayuda exterior en caso se requiera. La EEC-S.A. es la responsable de la ejecución de este programa, a través de cada uno de sus técnicos, personal administrativo y trabajadores de campo, vinculados en forma directa con la empresa o como contratistas. Además, de las correspondientes Autoridades Locales.

Objetivo

Establecer lineamientos generales para las acciones de combate de incendios, explosión, emergencias, accidentes o derrames/ fugas de productos químicos propios del proceso, desastres naturales y acciones de sabotaje con el objeto de minimizar sus efectos y consecuencias para salvaguardar la integridad del medio físico, biótico y social que se encuentran dentro del área de influencia.

Alcance

El presente programa de contingencias y riesgo describe detalladamente todas las situaciones de riesgo que podrían producirse durante la operación y mantenimiento de las subestaciones.

Análisis de las Situaciones de Riesgo

Las subestaciones presentan los siguientes escenarios de riesgos:

a) Riesgos internos

Riesgos debido a condiciones operacionales o error humano en la operación, que pueden derivar en accidentes personales, derrames o incendios como:

- ✚ Incendios/explosiones.
- ✚ Derrames de aceite de los transformadores
- ✚ Accidentes de trabajo (grave o fatal), debido a contaminación de productos, incumplimiento de normas y procedimientos operativos, negligencia del personal, caídas, accidentes de tránsito internos, quemaduras, caso fortuito, mal uso de equipos y prendas de protección personal.
- ✚ Contaminación ambiental (por derrame de productos en tierra)
- ✚ Daños a la salud por escape de PCB's en el caso de que existiesen.
- ✚ Caídas de estructuras
- ✚ Roturas de conductores
- ✚ Incendio de transformadores de distribución
- ✚ Derrames de aceites dieléctricos en subestaciones

El nivel de vulnerabilidad ha sido calificado como media, razón por lo cual, estos eventos pueden ser controlados por la misma empresa, a través de los Programas de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional y el Programa de Contingencias.

6.4 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ESTANDARIZADOS PARA MANTENIMIENTO

Dentro del modelo de gestión de mantenimiento desarrollado para las subestaciones de la EEC-ESP, se debe estandarizar los pasos y procedimientos para llevar a cabo las tareas operativas y administrativas relacionadas con la conservación y mantenimiento de la infraestructura y los equipos de las subestaciones de distribución.

Con este objetivo se analizaron los procedimientos de mantenimiento que se debe utilizar en cada uno de los sistemas de las subestaciones llegando a la conclusión de que existe la necesidad de uniformizar los principales procedimientos para las subestaciones de distribución. Para ello se llegó a la conclusión de estandarizar 9 de los procedimientos más importantes utilizados en mantenimiento, los cuales se describen a continuación:

1. **Hojas de vida:** En este documento debe estar consignada toda la información necesaria de los equipos, al diseñar el formato se han tenido en cuenta:
 - ✚ Formato general para todos los equipos.
 - ✚ De fácil consulta.
 - ✚ Contiene información del fabricante y del proveedor.
 - ✚ Detalla fecha de vencimiento y garantías.
2. **Inventario Técnico:** Es un registro descriptivo permanente de los equipos de la subestación, sobre el cual se basa la planeación, programación, adquisición de

artes y la ejecución de otras acciones operativas propias del servicio de mantenimiento. El profesional de mantenimiento es el responsable de la actualización periódica del inventario técnico, los contratistas y técnicos de mantenimiento son los encargados de realizar todas las tareas necesarias para la recopilación de la información requerida.

3. **Rutinas de MPP¹⁷:** Es la guía para la ejecución de acciones técnicas de los procedimientos propios del mantenimiento preventivo sobre equipos e instalaciones de la subestación, con el objeto de obtener la máxima eficiencia y producción del equipamiento existente. Estas son programadas por la coordinación de mantenimiento a través del programa anual de MPP. Además es el responsable de supervisar la calidad de ejecución, así como de la información registrada en el formato. El técnico y contratista de mantenimiento, es el encargado de ejecutarla y de registrar la información necesaria en el formato.
4. **Programa Anual de MPP:** Es la planificación y registro de las actividades del mantenimiento preventivo en la que se detallan frecuencia y tiempos para su ejecución. El coordinador de mantenimiento es el encargado de elaborarlo. Este puede ser desglosado en programas mensuales de MPP.
5. **Solicitud de Mantenimiento:** Es un documento básico diseñado para el control y programación de las actividades de la Dirección de Mantenimiento, así como para su manejo técnico y administrativo. El personal operativo en las subestaciones hace llegar al coordinador de mantenimiento, el cual la revisa y decide si amerita una orden de trabajo. La solicitud de trabajo puede ser Oral, Escrita ó Sistematizada.
La solicitud puede ser diligenciada dentro del mismo formato de la orden de trabajo o el reporte.
6. **Orden de Trabajo:** Es el documento a través del cual se lleva control del trabajo de mantenimiento y se contabiliza los costos ocasionados por el mismo. El coordinador de mantenimiento la elabora a partir de una solicitud de trabajo recibida, o de las planificaciones realizadas. El encargado de ejecutarla es el técnico o contratista designado, quien es responsable de registrar toda información que sea requerida en dicha orden (Ver anexo 7).
7. **Reporte:** Este documento debe detallar lo realizado durante el mantenimiento al equipo.
 - ✚ Fecha, datos del equipo, solicitante.
 - ✚ Como se encontró el equipo inicialmente.
 - ✚ Pruebas iniciales realizadas.
 - ✚ Descripción de la reparación o mantenimiento.
 - ✚ Pruebas de funcionamiento.
 - ✚ Repuestos utilizados.
 - ✚ Costo

¹⁷ MPP, Mantenimiento Preventivo, Predictivo.

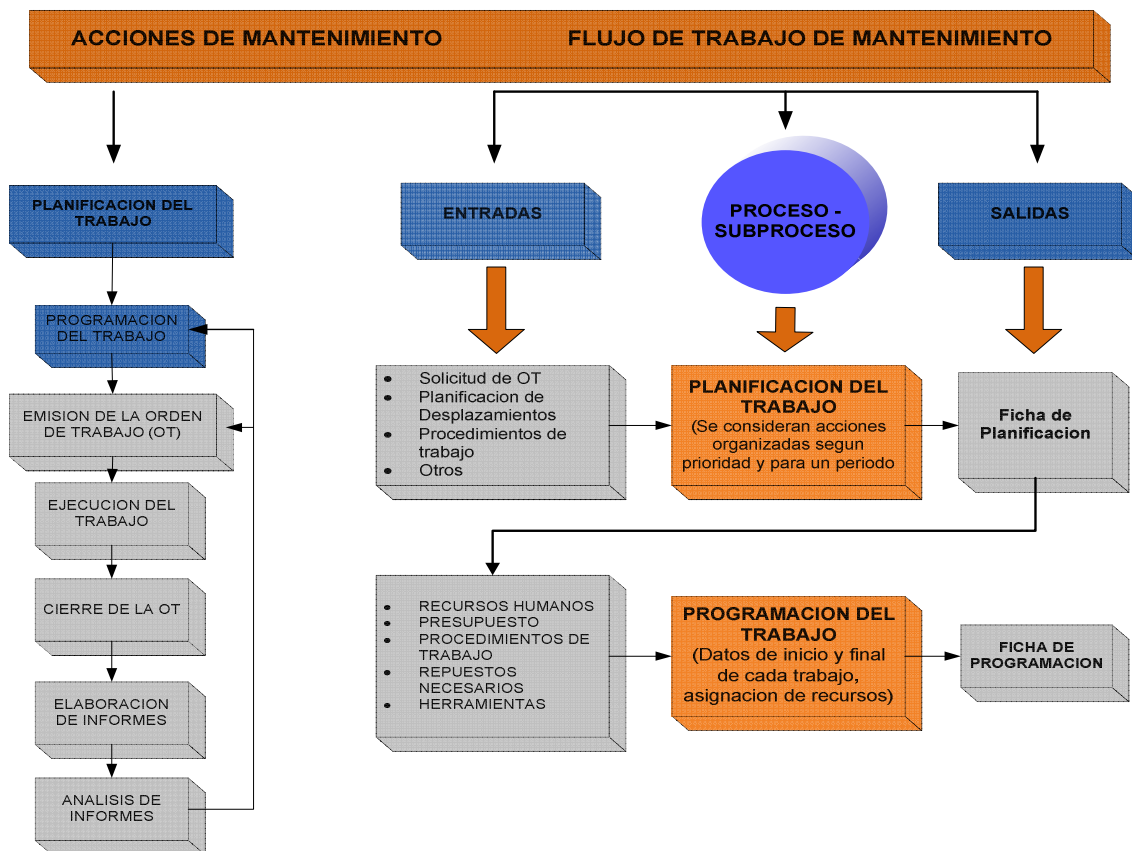
En algunos casos se puede unificar la solicitud y el reporte en un solo formato de acuerdo a las necesidades, es útil para el archivo y posterior control, al mismo tiempo que mejora el manejo de la información y trazabilidad.

8. **Informe de Actividades de Mantenimiento:** Es el documento que proporciona información suficiente que permite a la jefatura del departamento de mantenimiento y a las autoridades del establecimiento, evaluar los esfuerzos realizados por la Dirección Mantenimiento para el cumplimiento de su gestión y la utilización de los recursos disponibles. El coordinador de mantenimiento es el encargado de elaborar el informe, basándose en los registros y reportes de las distintas secciones.
9. **Ficha de Vida:** Es el registro de la recopilación, en forma permanente, de la información básica y específica de cada acción de mantenimiento y/o reparación realizada sobre los equipos. Mediante este registro se puede determinar y/o decidir con el transcurso del tiempo, el estado físico-funcional del equipo, necesidad de descarte o reemplazo, análisis de costo/beneficio, etc. El coordinador de mantenimiento es el encargado de iniciar y actualizar el formato, cada vez que así se requiera.

El responsable de la implementación de estos procedimientos es el coordinador de Mantenimiento, con el apoyo de la Dirección de Operaciones y Mantenimiento.

En el diagrama de flujo de mantenimiento, las entradas del proceso de planificación y programación están simplificadas y hace referencia a la documentación básica del mantenimiento, diseñado en el modelo. Así mismo, se demuestra como el subproceso **programación** depende de la salida del anterior (**planificación**) para poder cumplir su objetivo. La propia dinámica del proceso exige el enfoque de sistema.

Figura 43. Flujo del trabajo de Mantenimiento



Fuente: El Autor

En el resumen de anexos se encuentra la descripción del procedimiento para diligenciar los documentos del manual de mantenimiento propuesto.

CONCLUSIONES

El modelo de gestión de mantenimiento propuesto ha permitido identificar los factores técnicos que componen el sistema integral de las subestaciones, llevar a cabo el estudio de ingeniería y gestión del mantenimiento a los equipos más relevantes dentro de la operación del sistema de distribución como son las subestaciones de energía eléctrica.

De los resultados de selección y análisis de equipos críticos, se observó que en la práctica actual de la empresa, la mayoría de equipos se encuentran en permanente riesgo de falla por falta de un mantenimiento oportuno y adecuado. Dicho resultado de criticidad permite la clasificación de los sistemas y subsistemas pertenecientes al proceso general de las subestaciones.

El conocimiento obtenido del estudio de las subestaciones, en lo concerniente a su funcionamiento, su estructura operativa y la importancia que tienen en el sistema de distribución, resalta el impacto que pueda tener el desarrollo de este proyecto y confirma la importancia para su pronta implementación.

La empresa no cuenta con personal técnico con idoneidad para la ejecución del mantenimiento en los equipos de las subestaciones, solo se limita al mantenimiento de tareas simples como inspección y limpieza. En cuanto a personal profesional si existe pero las múltiples tareas no les permite ejecutar en forma ordenada y cumplido el mantenimiento programado.

El estudio teórico, recopilación de información, análisis de la condición actual del mantenimiento en la empresa ha permitido durante la investigación, que el profesional asignado al mantenimiento de las subestaciones realizara un modelo que permitirá el inicio de la cultura del mantenimiento en proceso operativo ya que en la actualidad no le es dada la importancia que merece.

Dentro de la ejecución del proyecto ha quedado definida la metodología de Gestión de Mantenimiento y como herramienta fundamenta el manual de procedimientos de mantenimiento preventivo y predictivo con las tareas, rutinas y programación de los equipos a intervenir, basados en la información de fabricantes, empresas de servicios de ingeniería del mantenimiento de subestaciones, las normas internacionales para equipos operación y pruebas eléctricas IEC, IEEE, las normas Colombianas RETIE, ICONTEC, la reglamentación de los entes de control del sector como la CREG.

El modelo de gestión de mantenimiento se ofrece al proceso Operación y Mantenimiento de la Empresa de Energía de Cundinamarca como una herramienta indispensable en la conservación de las subestaciones, considerados los activos más relevantes de un sistema de distribución de energía, su implementación y ejecución será analizado por los

directivos a cargo del proceso, quienes valoraran el contenido del proyecto y la efectividad de su aplicación. Posteriormente se avanzara hacia las técnicas y filosofías más modernas del mantenimiento de clase mundial.

El proyecto adelantado como requisito al título de estudios superiores en la Gerencia de Mantenimiento ha permitido al autor el enriquecimiento técnico, teórico, filosófico de los muchos conceptos, estudios, métodos, literaturas y practicas existentes en la actualidad del mundo moderno del mantenimiento, lo cual ha sido un valioso aporte a su formación profesional, fortaleciendo aspectos tan importantes como los procesos de organización, el trabajo de interdisciplinario, la trazabilidad de las metas dentro del área en el cual aporta sus conocimientos y contribuye en la búsqueda de la excelencia organizacional.

RECOMENDACIONES

Someter a criterio de evaluación por parte de la subgerencia técnica de la empresa la implementación del Modelo de Gestión de Mantenimiento preventivo y predictivo para las subestaciones.

Crear un sistema de información de los activos con fichas técnicas y hojas de vida de los activos que hacen parte de las subestación lo cual permitirá el exitoso cumplimiento de la gestión de mantenimiento.

Establecer políticas proactivas en la empresa, que permitan la implantación de los planes de contingencia y herramientas de efectividad y confiabilidad de las subestaciones para que garantice no solo la disminución del impacto negativo frente a situaciones de fallas, en términos de remuneración económica y pérdidas de producción, sino también en la mejora del desempeño de los trabajadores en su ámbito operacional.

Extender el modelo y la representación del conocimiento a los procesos de operación y mantenimiento, y desarrollar un sistema para la administración de las normas de competencia y de la formación, que permita su administración y representación con los sistemas desarrollados.

Plantear una revisión periódica de los procedimientos operativos que utilicen los parámetros establecidos en la práctica del mantenimiento para su actualización.

Acudir a la tercerización del mantenimiento como método efectivo en el cumplimiento del modelo de mantenimiento ya que dentro de la programación actual quedan tareas sin cumplir lo cual genera demoras en las rutinas del mantenimiento. Además, la falta de personal profesional y herramientas tecnológicas son un agravante para el conocimiento del estado en que los equipos operan. Por lo tanto se desconoce cuáles son los índices de disponibilidad y confiabilidad.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. ABB Network Parther AB. Sistema de control coordinado. Especificaciones Funcionales. XR 321-160-MAA. 1994.
- [2]. ABB Asea Brown Bobery Ltda. Manual de Operación y Mantenimiento, Equipos de Patio. Subestacion Sauces 115 kV. Folder A-100.
- [3]. Eugenio Hernández Cruz & Enrique Navarrete Pérez: "Sistema de Cálculo de Indicadores para el Mantenimiento" Conferencia Internacional de Ciencias Empresariales. La Habana Cuba.
- [4]. Hyland, Richard P. PhD "Saliendo del laberinto: repensando el rol y propósito del sistemas logísticos en el mejoramiento de empresas a fines del milenio" Phoenix EDH, incorporated Houston, Texas USA. 1998.
- [5]. Heintzelman, John E.: Manual de la Administración del Mantenimiento, Prentice Hall, Estados Unidos, 1987
- [6]. John Mourbay: "Reliability Centered Maintenance", Butterworth Heinemann Ltd. Oxford, England, 1991.
- [7]. Ken Blanchard & Sheldon Bowles, "Raving fans. A Revolutionary Approach to Customer Service". William Morrow and Company, New York, USA. 1993.
- [8]. Luís Améndola: "Modelos mixtos de confiabilidad", Valencia, España, 2002.
- [9]. Lourival Augusto Tavares, "Administración moderna del mantenimiento". Novo Polo Publicações, 1999, Río de Janeiro, Brasil.
- [10]. Mora, Gutierrez Alberto. "Mantenimiento estrategico para empresas industrials ode servicios" Primera edición, Editorial AMG, Medellin Colombia 2005.
- [11]. Mohamed Zairi: "Administración de la calidad total para ingenieros" Primera edición en español, Editorial Panorama, México 1993.
- [12]. Raúl Tizio: "Filosofía del Mantenimiento Preventivo". Sociedad Argentina de Organización Industrial; Buenos Aires 1970.
- [13]. Norma Batlori : Planeamiento estratégico. Mendoza 2007.

- [14]. Pérez, Carlos Mario. "Gerencia de Mantenimiento y Sistemas de Información". 1 ed. Medellín, Soporte y CIA LTDA. 1992
- [15]. Pérez, Carlos Mario. "Inversión y gestión presupuestal en mantenimiento" Directores, 1992.
- [16]. Pérez, Carlos Mario. "Evolución del Mantenimiento ". Soporte y Cía Ltda., 2003 all, Roberth, The RightCMMS. Maintenance Solutions, Noviembre 2003.
- [17]. Pérez, Carlos Mario. "La Importancia de un Modelo de Gestion Integral de Activos ". Revista Mundo Electrico. Septiembre 2008.
- [18]. Ramirez, Felipe Carlos, "Subestaciones de alta y extra alta tensión" Primera edición. Septiembre 1991.
- [19]. Rubén Klimasauskas: "Introducción a los conceptos básicos del Mantenimiento Programado". 2005 Salta Argentina.
- [20]. Universidad Austral: Apuntes del módulo 6 clase 4 Programa de ingeniería y gestión de mantenimiento. Buenos aires junio de 2004.
- [21]. Peter Drucker: "Las Nuevas Realidades" Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1990.

Disponibles en línea y páginas Web.

- [1]. Rubén Klimasauskas: "Mantenimiento en Minería" Primera y Segunda parte. www.mantenimientomundial.com Mendoza 2007.
- [2]. Perez, Carlos. "Tendencias en el desarrollo de los CMMS. Soporte y Cía. Disponible en internet: <http://www.sistemascmms.com/soporte/perez/tendenciascmms>.
- [3]. http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_electrica_y_electronica/mantenimiento_subestacion_electrica/default.asp.
- [4]. www.plant-maintenance.com

- [5]. www.tpm-online.com
- [6]. www.mantenimientomundial.com
- [7]. www.cogz.com
- [8]. www.mtoline

ANEXOS

ANEXO A

A.1 HOJAS DE VIDA


A.1.1 Objetivos

- ✚ Registrar el mayor número de datos posibles de los equipos.
- ✚ Generar la posibilidad de acceso rápido a cualquier información técnica necesaria.
- ✚ Comparar y analizar condiciones operativas, sin necesidad de recurrir a fuentes diversas de consulta.

A.1.2 Procedimiento de uso del formato:

Identificar el equipo, sistema y subsistema al que pertenece el equipo, un vez realizada esta labor, deberá reunir para cada equipo:

- ✚ Datos de construcción (manuales, catálogos y diseños).
- ✚ De compra (adquisición, solicitudes, presupuesto, fechas y costos).
- ✚ De origen (fabricante, proveedor, tipo y modelo).
- ✚ De transporte y almacenamiento (dimensiones, peso y recomendaciones).
- ✚ De operación (características normales y límites operativos).
- ✚ De mantenimiento (insumos, repuestos generales y específicos, curvas características, recomendación de los fabricantes, límites, tolerancias y ajustes).

 <small>EMPRESA DE ENERGÍA DE CUNDINAMARCA S.A. E.S.P.</small>	HOJA DE VIDA DE EQUIPOS	CODIGO: F/OM/HV-01 VERSION: 001 PAGINA 1 DE 1	
	Equipo: FAMILIA: Fabricante: TIPO/MODELO: Referencias: Proveedor: Planos: Cod Equipo: Ubicación: No. De Serie: Sist Operacional Inicio de operación: Costo: Año de Fab:		
	DATOS TECNICOS		
Tensión Nominal: Uw: Corriente Nominal Imax interrup: Medio Aislante: Norma de Fab: Automata de operación: Sec oper F-F:			
No. Serie: Uw: Tensión Nominal: Isc Corriente Nominal Norma de Fab: Medio Aislante: Sec oper F-F: Bobina Cierre y Apertura:			

ANEXO B

B.1 INVENTARIO TECNICO

B.1.1 Objetivos


- a) Conocer el universo de acción del Departamento de Mantenimiento.
- b) Tener una base de datos con información técnica y administrativa de los equipos.
- c) Disponer de información para fines de planificación y toma de decisiones.
- d) Conocer el estado y la ubicación del equipo.

B.1.2 Procedimiento de uso del formato:

1. Identificar grupo y subgrupo a que pertenece el equipo, para así identificar el formato a utilizar. (Ver cuadro de clasificación de grupos y sub-grupos de equipos en manual para elaboración de inventario técnico).
2. Completar, en el encabezado, el nombre del Hospital.
3. Para la identificación y ubicación del equipo detallar:

- ✚ Nombre del Equipo
- ✚ Marca
- ✚ Modelo
- ✚ Serie
- ✚ Código Financiero
- ✚ Año de fabricación
- ✚ **Año de instalación:** Si hubiere problema para identificar el año de instalación, las acciones que se podrían realizar para su asignación son:
 - Investigar en el Departamento de Financiero Contable si existe un registro del año en que entró el equipo.
 - Por medio de los operarios con mayor tiempo de servicio en el hospital, para hacer una estimación del año en que se instaló el equipo.
- ✚ **Precio:** Debe ser el precio de adquisición, si se desconoce, las acciones que se podrían realizar para su asignación son:
 - Investigar en el Departamento de Financiero Contable.
 - Consultar al distribuidor.
 - Hacer la consulta a Nivel Central
- ✚ **Servicio:** es un departamento o una subdivisión de éste, al cual está asignado el equipo, que realiza funciones específicas en uno o más ambientes.

Para las actualizaciones completar con el nombre y la firma del encargado de realizar dicha actualización y la fecha en que se realizó.

	INVENTARIO TECNICO DE EQUIPOS DE SUBESTACIONES	DIRECCION DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO			CODIGO: F/OM/XXX																																						
					VERSION: 001																																						
					PAGINA 1 DE 1																																						
EQUIPO: _____				Código Financiero: _____		SERVICIO/SISTEMA																																					
MARCA: _____				Año de fabricacion: _____																																							
MODELO: _____						UBICACIÓN/COD SE																																					
SERIE: _____				Año de instalacion: _____																																							
No. INV. TECNICO		ID:		Valor Comercial: _____																																							
DATOS TECNICOS (Registrar donde aplique)																																											
Voltaje: _____ [V] Corriente: _____ [A] Potencia: _____ [W] Frecuencia: _____ [Hz] Otros: _____ [] Otros: _____ []				Parametros medidos/Transmitidos Voltaje <input type="checkbox"/> Temperatura <input type="checkbox"/> Corriente <input type="checkbox"/> Presion SF6 <input type="checkbox"/> Potencia <input type="checkbox"/> Nivel Aceite <input type="checkbox"/> Frecuencia <input type="checkbox"/> Factor de Potencia <input type="checkbox"/>																																							
ACCESORIOS: 1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____		Completar con clave <table border="1" style="width: 100px; height: 40px;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9																												CLAVE Completos _____ C Incompletos _____ I Buenos _____ B Reparables _____ R Descartables _____ D		OTROS DATOS _____ _____ _____	
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																			
FABRICANTE: _____ DIRECCION: _____ TEL/FAX: _____ PROVEEDOR: _____ DIRECCION: _____ TEL/FAX: _____ REPRESENTANTE EN EL PAIS: _____ DIRECCION: _____ TEL/FAX: _____ NOMBRE DE CONTACTO: _____				EXISTENCIA DE INFORMACION TECNICA Manual de operacion <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Manual de instalacion <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Manual de Servicio <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Manual de partes <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Otra literatura <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> No existe informacion tecnica <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																							
				ESTADO DEL EQUIPO Actualizacion <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Reparable <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Descartable <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Observaciones: _____																																							
REGISTRO DE ELABORACION Y ACTUALIZACION																																											
1. ELABORADO POR (Primera vez) NOMBRE: _____ CARGO: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____		NOMBRE Y FIRMA		FECHA																																							
		2. _____		6. _____																																							
		3. _____		7. _____																																							
Vo. Bo. Coordinacion de Mantenimiento		4. _____		8. _____																																							
		5. _____		9. _____																																							

ANEXO C

C.1 RUTINAS DE MANTENIMIENTO

C.1.1 Objetivos

- ✚ Lograr que se alargue la vida útil del equipo
- ✚ Disminuir costos operacionales del equipo
- ✚ Mantener la confiabilidad y continuidad de los equipos
- ✚ Disminuir riesgos para operadores y usuarios
- ✚ Racionalizar el uso de los recursos para mantenimiento
- ✚ Mejorar el rendimiento o efectividad del personal

C.1.2 Descripción del formato:

El cuidado para llenar el formulario de cada rutina es muy importante, pues así no se descuidan detalles que hacen al MPP más efectivo. Por esta razón se ha estimado conveniente describir cada una de las partes que constituyen el formato de las rutinas, para luego determinar los pasos a seguir.

Cada parte del formato debe ser completado por el personal encargado de ejecutar la rutina. Las partes que componen el formato son:

A. Encabezado

El diseño del formato se ha establecido para equipos, aunque se puede adoptar para las instalaciones fijas de planta.

- Nombre de la Subestación
- Marca
- Modelo
- Número de serie
- Sistema en el que se encuentra en servicio
- Ambiente
- N° de inventario técnico
- Número de Identificación (ID).

B. Registro de pasos de rutina

Este contiene lo siguiente:

- ✚ Frecuencia con que se ejecuta la rutina.
- ✚ Pasos de la operación de MPP.
- ✚ Casillas, que deben ser marcadas con un cheque, cada vez que se ejecutan los pasos del MPP. Cada paso contiene varias casillas, es decir que cada formato está diseñado para utilizarse varias veces (generalmente un año).

C. Registro de datos

Se deberá detallar la siguiente información:

- ✚ Fecha de realización
- ✚ Código del técnico
- ✚ Firma del técnico
- ✚ Tiempo de ejecución, el cual comprende desde el momento en que se inicia la ejecución de la rutina, hasta que se termina de ejecutar la misma (incluyendo la prueba de seguridad eléctrica). Para efectos de programación, se deben considerar también los tiempos de preparación de material, herramienta y repuestos necesarios para la ejecución de la rutina.

D. Material

Cada rutina tiene incorporado una lista de materiales gastables, repuestos, herramientas y equipos, mínimos que un técnico necesita para realizarla. Esto no limita que para casos especiales se necesiten otros materiales.

E. Observaciones


En el reverso del formato de cada rutina se incluye un espacio para que cada vez que sea ejecutada la rutina, se escriben las observaciones pertinentes sobre el estado y funcionamiento del equipo.

F. Prueba de seguridad eléctrica

La mayoría de equipos incluyen en la rutina una serie de pruebas de seguridad eléctrica. Algunas pruebas de seguridad eléctrica, que están separadas de las rutinas de MPP correspondientes, tienen un encabezado que solicita la misma información que el de la rutina. Este también debe ser completado.

G. Procedimiento de uso del formato:

- ✚ Buscar la hoja para ejecutar la rutina correspondiente.
- ✚ Preparar el material, las herramientas, el equipo y los repuestos necesarios para ejecutar la rutina.
- ✚ Dirigirse hacia el lugar donde se encuentra el equipo.
- ✚ Llenar el encabezado del formato.
- ✚ Hablar con el operador para detectar fallas en el funcionamiento del equipo.
- ✚ Ejecutar paso por paso las instrucciones indicadas en el formato.

	RUTINA DE MANTENIMIENTO		DIRECCION DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO				CODIGO: F/OM/XXX			
							VERSION: 001			
							PAGINA 1 DE 1			
EQUIPO:		Reconectores				NOMBRE Y CODIGO DE LA SUBESTACION:				
MARCA:										
MODELO:										
SERIE:						M. preventivo <input type="checkbox"/>		M. Correctivo <input type="checkbox"/>		
No. INV. TECNICO						M. Predictivo <input type="checkbox"/>		Otro <input type="checkbox"/>		
ID										
Trimestral						1	2	3	4	
Efectuar limpieza general del gabinete del control										
Efectuar limpieza general del gabinete del control										
Revisar accesorios como fuente del cargador, cable umbilical entre control y tanque										
Revisar conexionado en AC y DC										
Realizar pruebas de ciclado de baterías										
Revisar sistema de comunicaciones con el Software del rele										
Descargas datos de perfil de carga acumulado										
Revisar presion de SF6										
Inspeccionar sistema de puesta a tierra										
PRUEBAS ELECTRICAS										
No.	Paso de Medicion				Norma	Unidad	1	2	3	4
1	Tensio de red AC				115±10%	Voltios AC				
2	Corriente de carga del sistema				A				
3	Potencia				W				
4	Tension de cargador				115±10%	Voltios DC				
5	Tension de Banco de baterías				115±10%	Voltios DC				
6	Resistencia de tierra				≤ 0.2	Ω				
INFORME Y OBSERVACIONES DEL RESPONSABLE DE LA INTERVENCION:										
Material de insumos			Repuestos Minimios				Herramientas y equipos			
Limpiador de superficies Limpiador electronico de contactos			Baterias Terminales Cable				Multimetro Pinza amperimetrica Cronorr Equipo de inyeccion de corriente Megger Destonilladores Alicates			
FECHA DE LA INTERVENCION										
RESPONSABLE DE LA INTERVENCION										
Vo. Bo. COORDINACION DE MANTENIMIENTO										
TIEMPO DE EJCUCION ESTANDAR 1 H.										

ANEXO D

D.1 PROGRAMA ANUAL DE MANTENIMIENTO

D.1.1 Objetivos

- ✚ Administrar de manera racional el mantenimiento de los equipos
- ✚ Controlar los recursos del Departamento de Mantenimiento
- ✚ Disponer de datos para elaboración del presupuesto
- ✚ Planificar el empleo de recursos humano

D.1.2 Procedimiento de uso del formato:

Se deberá hacer un Programa Anual de MPP para las subestaciones de la empresa
En el formato, se deberá detallar:

- ✚ Año en el que se ejecutará el programa anual (casilla superior izquierda).
- ✚ En la columna correspondiente a N^o, se colocará un número correlativo a cada Actividad.
- ✚ En la columna correspondiente a Actividad se detallará el nombre del equipo, número de inventario y el tipo de rutina que se programa (semanal, mensual, trimestral, semestral o anual).
- ✚ En el cuerpo central del formato se encuentra un cronograma, sobre él se deberán marcar las casillas de la fila PLAN (Planificado) que intercepten con el número de las semanas para el cual se está programando las diferentes rutinas de MPP. A medida que se van ejecutando las rutinas, se deberán marcar las casillas de la fila REAL (Realizado), donde corresponda registrarla. Registrar suma de horas, tanto planificadas como realizadas.
- ✚ Registrar suma de rutinas, tanto planificadas como realizadas.
- ✚ Registrar el nombre del Técnico responsable de ejecutar cada una de las actividades.
- ✚ En la parte inferior del formato está destinada para escribir el nombre del responsable de que se ejecute el programa y la firma.
- ✚ En el Total se anotará la suma de todas las horas planificadas y abajo de ésta la suma de todas las horas ejecutadas; la suma de las rutinas que se programaron y debajo de ésta la suma de las rutinas realizadas.

ANEXO E

E.1 SOLICITUD DE MANTENIMIENTO

E.1.1 Objetivos

- ✚ Planificar en orden de prioridades el Mantenimiento Preventivo y Correctivo.
- ✚ Respaldo al Departamento de Mantenimiento y servicio solicitante del trabajo a realizar.

E.1.2 Procedimiento de uso:


Los formatos de solicitud deberán ser destinados a atender los servicios de las subestaciones, la solicitud puede ser escrita ó verbal y dirigida a la coordinación de Mantenimiento, deberá completar el formato detallando que fue recibida por teléfono.

El solicitante deberá detallar:

- ✚ Zona donde se encuentra ubicada la subestación y quien solicita el trabajo.
- ✚ Fecha y hora de la solicitud
- ✚ Describir brevemente el trabajo solicitado
- ✚ Si el trabajo solicitado es para un equipo, deberá identificarlo por el número de inventario técnico o por el número de ID.
- ✚ En toda solicitud deberá registrarse el nombre y firma de la persona que solicita.

Cuando la solicitud es recibida por la coordinación de Mantenimiento, se deberá registrar:

- ✚ Nombre y firma de la persona que recibe
- ✚ Fecha y hora de recepción
- ✚ Entregar una contraseña de recibido.
- ✚ Una vez que la solicitud ha sido recibida, deberá analizarse si el trabajo solicitado califica dentro de los servicios de mantenimiento y conservación de los equipos e instalación de la subestación.
- ✚ Si califica deberá priorizarse y asignarle un número de orden de trabajo.
- ✚ Si no califica deberá retornarse la solicitud al servicio que la generó, detallándose en ella la razón por la cual la solicitud no será atendida.
- ✚ Una vez creada la orden de trabajo, la solicitud deberá ser archivada junto con ésta como respaldo de la orden de trabajo.

 SOLICITUD DE MANTENIMIENTO <small>EMPRESA DE ENERGÍA DE CONDUMARCA, S.A. E.S.P.</small>	DIRECCION DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO		CODIGO: F/OM/SM-01				
			VERSION: 001				
			PAGINA 1 DE 1				
SERVICIO:		SUBESTACION/CODIGO:		FECHA Y HORA DE LA SOLICITUD:			
DESCRIPCION DE TRABAJO/FALLA:			Si la falla es en un equipo, identifique:				
			No.Inventario			<input type="text"/>	
			Tecnico:			<input type="text"/>	
			No. de Indentificacion (ID):			<input type="text"/>	
NOMBRE DEL SOLICITANTE:	UBICACION DEL SERVICIO:	USO EXCLUSIVO PARA MANTENIMIENTO					
		REBIDO POR:		No. DE LA ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA:			
		FECHA:		<input type="text"/>			
		HORA:		<input type="text"/>			
		FIRMA :		<input type="text"/>			

 SOLICITUD DE MANTENIMIENTO <small>EMPRESA DE ENERGÍA DE CONDUMARCA, S.A. E.S.P.</small>	DIRECCION DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO		CODIGO: F/OM/SM-01				
			VERSION: 001				
			PAGINA 1 DE 1				
SERVICIO:		SUBESTACION/CODIGO:		FECHA Y HORA DE LA SOLICITUD:			
DESCRIPCION DE TRABAJO/FALLA:			Si la falla es en un equipo, identifique:				
			No.Inventario			<input type="text"/>	
			No. de Indentificacion			<input type="text"/>	
			No. de Indentificacion			<input type="text"/>	
NOMBRE DEL SOLICITANTE:	UBICACION DEL SERVICIO:	USO EXCLUSIVO PARA MANTENIMIENTO					
		REBIDO POR:		No. DE LA ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA:			
		FECHA:		<input type="text"/>			
		HORA:		<input type="text"/>			
		FIRMA :		<input type="text"/>			

 SOLICITUD DE MANTENIMIENTO <small>EMPRESA DE ENERGÍA DE CONDUMARCA, S.A. E.S.P.</small>	DIRECCION DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO		CODIGO: F/OM/SM-01				
			VERSION: 001				
			PAGINA 1 DE 1				
SERVICIO:		SUBESTACION/CODIGO:		FECHA Y HORA DE LA SOLICITUD:			
DESCRIPCION DE TRABAJO/FALLA:			Si la falla es en un equipo, identifique:				
			No.Inventario			<input type="text"/>	
			No. de Indentificacion			<input type="text"/>	
			No. de Indentificacion			<input type="text"/>	
NOMBRE DEL SOLICITANTE:	UBICACION DEL SERVICIO:	USO EXCLUSIVO PARA MANTENIMIENTO					
		REBIDO POR:		No. DE LA ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA:			
		FECHA:		<input type="text"/>			
		HORA:		<input type="text"/>			
		FIRMA :		<input type="text"/>			

ANEXO F

F.1 ORDEN DE TRABAJO

F.1.1 Objetivos

- ✚ Documentar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.
- ✚ Llevar un control de las actividades del Departamento de Mantenimiento
- ✚ Llevar un control de costos
- ✚ Evaluar la eficiencia del departamento de mantenimiento
- ✚ Elaborar informes.

F.1.2 Procedimiento de uso:

- ✚ Número asignado para la Orden de Trabajo.
- ✚ Razón por la que fue generada: MPP, MC u Otros (Capacitaciones, Supervisiones, etc.).
- ✚ Dependencia que solicita el servicio
- ✚ Nombre de la persona que solicita el servicio.
- ✚ Fecha en que se genera la Orden de Trabajo.
- ✚ Tipo de servicio, si es externo identificar el nombre de la empresa.
- ✚ Completar con datos requeridos como modelo, serie, marca y fabricante.
- ✚ Identificar el equipo con su número de inventario y número de identificación (ID).
- ✚ Detallar la última medida aplicada en el equipo y la fecha en que se realizó.

F.1.3 Información Técnica:

- ✚ Marcar dentro de las opciones las fallas detectadas, si no cae dentro de ninguna categoría, especificar en otros.
- ✚ Marcar dentro de las opciones las medidas aplicadas, si no cae dentro de ninguna categoría, especificar en otros.

Materiales:

- ✚ Describir los materiales utilizados, la unidad de medida y el precio unitario.
- ✚ En la columna de Valor, colocar el resultado de multiplicar la cantidad utilizada por el precio unitario. Si necesita agregar una mayor cantidad de materiales, hacerlo en el espacio asignado.
- ✚ Después de completar la información anterior, el Técnico procede a informar y anotar las observaciones hechas durante la ejecución de la Orden de Trabajo (si necesita más espacio, hacerlo en el reverso de la hoja), firma el informe y presenta la Orden para ser revisada y firmada por el Jefe.

- ✚ Una vez revisada la Orden, es presentada al servicio que lo solicitó y para la recepción del trabajo, deberá registrarse con la fecha y hora en que se entrega, nombre y firma del encargado del servicio y el sello del servicio.
- ✚ Una vez recibido el trabajo, la Orden deberá ser archivada según el número

ANEXO G

G.1 INFORME DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

G.1.2 Objetivos

- ✚ Informar a autoridades superiores sobre actividades realizadas por el departamento de mantenimiento en un período determinado.
- ✚ Apoyar la toma de decisiones.
- ✚ Evaluar la eficiencia del Departamento de Mantenimiento.
- ✚ Retroalimentar para un nuevo plan.
- ✚ Conocer la producción de mantenimiento.

G.1.3 Procedimiento de uso del formato:

- ✚ En el formato, se deberá especificar el período para el cual se están informando las actividades.
- ✚ El informe de actividades de mantenimiento se hará a través de dos partes:
 - ✚ Informe de Actividades de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP) y
 - ✚ Mantenimiento Correctivo (MC). Ver formato INFO-01.

En ambos informes se detallará, separadamente para las secciones de equipo médico, equipo básico y planta física.

G.1.4 Informe de Actividades de MPP y MC (Ver formato INFO-01)

Para el MPP detallar:

N° de equipos: este espacio se utilizará para indicar el número de equipos a los cuales se les planificó y ejecutó MPP en el período indicado.

N° de Rutinas: se especificará el total de rutinas de MPP que se planificaron y el total de rutinas ejecutadas durante el período del informe.

N° de Horas: se refiere al número de horas hombre requeridas para realizar las rutinas planificadas, así como el número de horas hombre que se utilizaron en las rutinas ejecutadas.

Costo mano de obra (¢): este espacio se ocupará para anotar el costo total de la mano de obra que se utilizó en la ejecución de rutinas de MPP durante el periodo en mención.

Costo de materiales (¢): en esta columna se especificará el costo de los materiales que se utilizaron en las rutinas ejecutadas.

Subtotal mano de obra y materiales: en este espacio se anotará el siguiente resultado:

Subtotal mano de obra y materiales (\$) = costo mano de obra (\$) + costo materiales

Estas cantidades corresponden a costos de MPP.

Para el MC detallar:

N° de Órdenes: solo se utilizará el espacio para las órdenes de trabajo ejecutadas.

N° de Horas (H): en planificado se anotará el número de horas hombre estimadas para atender las órdenes de MC, en ejecutado el número de horas hombre que se ocuparon para atender el MC.

Costo mano de obra (¢): se anotará el costo de mano de obra de las órdenes de MC ejecutadas durante el período.

Costo de materiales (¢): en el espacio de lo ejecutado se anotará el costo de los materiales utilizados en las órdenes de MC atendidas.

Subtotal mano de obra y materiales: en este espacio se anotará el siguiente resultado:

Subtotal mano de obra y materiales (\$) = costo mano de obra (\$) + costo materiales (\$)

Estas cantidades corresponden a costos de MC.

En el área correspondiente a Subtotal MPP y MC se anotarán los resultados de las Operaciones detalladas a continuación:

Horas (H) = Horas MPP (H) + Horas MC (H)

Mano de obra (\$) = costo mano de obra MPP(\$) + costo mano de obra MC (\$)

Materiales (¢) = costo materiales MPP (\$) + costo materiales MC (\$)

Total Mano de Obra y Materiales (¢): existen dos formas de calcular este resultado:

1. Total M.O y materiales (\$) = Mano de obra MPP + MC (\$) + Materiales MPP + MC (\$)
2. Total M.O mano de obra y materiales (\$) = Subtotal M.O y materiales MPP (\$) + Subtotal mano de obra y materiales MC (\$)

Nota: Para asegurarse que el total mano de obra y materiales sea el correcto, se recomienda verificar que el cálculo hecho por ambas formas dé el mismo resultado.

Desviación. En esta casilla se pondrá la diferencia de lo planificado menos lo ejecutado.
Desviación = Planificado - Ejecutado

Total de lo ejecutado. Se anotará el total de sumar sólo lo ejecutado de cada sección.

Total Ejecutado = Ejecutado

Equipo + Ejecutado

Comentarios. En este espacio incluir las observaciones que se crean convenientes respecto a lo que se está informando. Ver anexo A. modelo de Informe de actividades de Mantenimiento.

H.1 FICHA DE VIDA

H.1.1 Objetivos

- ✚ Registrar la incidencia y frecuencia de fallas
- ✚ Planificar la reinversión en equipos
- ✚ Registrar el expediente técnico del funcionamiento de cada uno de los equipos incluyendo fallas, MPP, MC y análisis de costo.
- ✚ Resumir actividades técnicas en el equipo

H.1.2 Procedimiento de uso del formato:

En el formato, se deberá detallar:

- ✚ Nombre del Equipo.
- ✚ Identificarlo con su número de inventario técnico ó número de identificación (ID).
- ✚ Modelo.
- ✚ Número de serie.
- ✚ Marca o fabricante.
- ✚ Fecha en que fue instalado el equipo.
- ✚ Precio de adquisición.

- ✚ Marcar en las casillas correspondientes con cuando se disponga de manuales. Si no existe ningún manual solamente debe marcar la última opción.
- ✚ Fecha de inicio del registro.
- ✚ Servicio y Ubicación del equipo y la fecha, en caso de que el equipo sea trasladado hacia otro servicio, detallar el nuevo servicio y su ubicación y la fecha en que ha sido trasladado.

En forma sucesiva se procede a detallar en cada intervención al equipo los siguientes parámetros:

- ✚ Actividad ejecutada (por ej. : MPP, MC, etc.).
- ✚ Fecha en que se realizó.
- ✚ Costo de la actividad (Según dato registrado en Orden de Trabajo).
- ✚ Costo acumulado, es decir la suma del costo de la actividad y el costo de actividades anteriores.
- ✚ Porcentaje del costo de acumulado de mantenimiento con respecto al costo del equipo, que es el resultado de dividir el costo acumulado [B] entre el precio de adquisición [A] x 100.

Nota: Si este valor llegara al 50% en un período corto ameritará un análisis especial.

- ✚ Horas de funcionamiento acumuladas por el equipo, cuando se realiza la actividad.
- ✚ (Este dato podrá ser obtenido para aquellos equipos que tengan instalado horómetros).
- ✚ El número de Orden que fue generada por la actividad.

