UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA DETERMINAR LA REPOTENCIACIÓN O SUSTITUCIÓN DE LOS PROTECTORES DE RED DEL SISTEMA MALLADO DE UNA EMPRESA QUE PRESTA SERVICIO ELÉCTRICO

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: Mente (20) ptos.

JURADO EXAMINADOR

FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:
NOMBRE: Buenaventura Alcoa	NOMBRE: Miguel Ereu	NOMBRE: Francisco Marchena

REALIZADO POR	**Rodrigues Pereira, José Antonio**
PROFESOR GUÍA	**Ereu, Miguel**
FECHA	**04 de Junio de 2001**

DEDICATORIA

A MI MADRE POR SU APOYO Y POR PERMITIR QUE ESTE SUEÑO SE HAGA REALIDAD .....

A LA VIDA POR ESTE MOMENTO .....

AGRADECIMIENTOS

AL INGENIERO MIGUEL EREÚ POR DARME LA OPORTUNIDAD DE REALIZAR MI TRABAJO ESPECIAL DE GRADO EN ESTA ORGANIZACIÓN .....

A MARCO GÓMEZ QUIEN ME APOYÓ EN TODO MOMENTO DURANTE LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO Y POR SU AMISTAD .....

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE UNIVERSIDAD POR TODO SU APOYO Y POR CREER EN MI: SOLEDAD ARRÚE, JOSÉ FELIX URBINA, EFRAÍN FREITES, YLIA CASANOVA Y JAVIER SUÁREZ .....

A THAYS TORRES POR SIEMPRE ESTAR ALLÍ EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS, POR EXISTIR Y SOBRE TODO POR CREER MI .....

Y A TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA FORMA COLABORARON EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO ESPECIAL DE GRADO .....

ÍNDICE GENERAL

PROLOGO..... x

SINOPSIS..... xi

CAPITULO I. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA..... 1

1.1.- Descripción de la Empresa..... 1

1.2.- Reseña Histórica..... 1

1.3.- Visión..... 3

1.4.- Misión..... 3

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO..... 5

2.1.- Sistema Eléctrico de Distribución..... 5

2.2.- Estructuras de Distribución..... 6

2.3.- Estructuras de Baja Tensión..... 6

2.3.1.- Red Radial sin amarres..... 7

2.3.2.- Red Radial con Amarres..... 8

2.3.3.- Red Mallada o Red Automática en Baja Tensión..... 9

2.4.- Sistema Eléctrico de Distribución de Baja Tensión de la C. A. Electricidad de Caracas..... 10

2.4.1.- Interruptores manuales de Alta Tensión..... 12

2.4.2.- Transformador..... 14

2.4.3.- Fusible..... 14

2.4.4.- Protector de Red..... 14

2.4.4.1.- Descripción General..... 15

2.4.4.2.- Partes de los Protectores de Red..... 17

2.4.4.2.1.- Carcasa o caja..... 17

2.4.4.2.2.- Unidad deslizable..... 17

2.4.4.2.3.- Extinguidor de arco o rompearcos..... 18

2.4.4.2.4.- Contactos fijos y móviles..... 18

2.4.4.2.5.- Contador de Operaciones..... 18
2.4.4.2.6.- Indicador de Posición..... 18
2.4.4.2.7.- Palanca de Operación..... 18
2.4.4.2.8.- Motor de Cierre..... 18
2.4.4.2.9.- Solenoide de Cierre..... 21
2.4.4.2.10.- Dispositivo de disparo en derivación. 21
2.4.4.2.11.- Relé Auxiliar..... 21
2.4.4.2.12.- Empacaduras..... 21
2.4.4.3.- Dirección de Flujo de Energía en el Protector de Red..... 21
2.4.4.4.- Secuencia de Operación..... 22
2.4.4.5.- Características de Operación del Protector de Red..... 24
2.5.- Mantenimiento..... 24
2.5.1.- Definición de Términos Básicos..... 24

CAPITULO III. EL PROBLEMA..... 29
3.1.- Planteamiento del Problema..... 29
3.2.- Objetivos..... 29
3.2.1.- Objetivos Generales..... 29
3.2.2.- Objetivos Específicos..... 30
3.3.- Alcance y Limitaciones..... 30

CAPITULO IV. MARCO METODOLÓGICO..... 32
4.1.- Diagnóstico de la Situación Actual..... 33
4.1.1.- Recaudación de datos..... 33
4.1.2.- Evaluación de la Gestión de Mantenimiento..... 33
4.2.- Análisis de Resultados..... 34
4.3.- Propuestas de Mejoras..... 34
4.4.- Evaluación Técnica-Económica de las Alternativas de Inversión Propuestas..... 35

CAPITULO V. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL..... 36
5.1.- Protectores de Red..... 36
5.1.1.- Población..... 36
5.1.2.- Historial de Fallas..... 37
5.1.3.- Resultados de las Entrevistas, Observaciones y Participación Directa..... 38
5.1.3.1.- Problemática encontrada en el Mantenimiento de los Protectores de Red..... 38
5.1.3.2.- Situación actual de los Protectores de Red..... 39
5.1.3.2.1.- Modelo MG-13A..... 39
5.1.3.2.2.- Modelo MG-8..... 40
5.1.3.2.3.- Modelo CM-22..... 40
5.1.3.2.4.- Modelo CMD..... 41
5.2.- Evaluación de la Gestión de la Unidad de Mantenimiento de la Red Mallada de Baja Tensión..... 41

CAPITULO VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 47
6.1.- Análisis de Fallas en los Protectores de Red..... 47
6.1.1.- Falta de Hermeticidad..... 47
6.1.2.- Ciclos de Bombeo..... 47
6.1.2.1.- Ajuste Incorrecto del Relé..... 47
6.1.2.2.- Condiciones Transitorias en el Sistema Mallado..... 48
6.1.2.3.- Falla en el Freno Mecánico del Motor de Cierre 48
6.13.- No Cierra el Protector de Red..... 48
6.1.4.- No Abre el Protector de Red..... 48
6.1.5.- Sobrecalentamiento..... 49
6.1.6.- El Mecanismo Falla al Enganchar..... 49
6.2.- Resultados de las inspecciones realizadas en los últimos meses 49
6.3.- Causas de falla raíz en los Protectores de Red..... 49
6.4.- Aumento de los Costos de Operación de los Protectores de Red.. 50

6.4.1.- Falta de un Mantenimiento Adecuado..... 50
6.4.2.- Obsolescencia de los Protectores de Red..... 50
6.5.- Gestión de Mantenimiento..... 51

CAPITULO VII. PROPUESTAS DE MEJORA..... 52
7.1.- Plan de Mantenimiento Propuesto..... 52
7.1.1.- Elementos necesarios para la implementación del Plan de Mantenimiento Propuesto..... 52
7.1.1.1.- Inventario Técnico de los Equipos y Materiales 53
7.1.1.2.- Registro Histórico..... 53
7.1.1.3.- Orden de Trabajo..... 54
7.1.1.4.- Manual de Procedimiento de Mantenimiento... 55
7.1.1.5.- Planificación de las actividades de Mantenimiento..... 56
7.1.1.6.- Programación de las actividades de Mantenimiento..... 57
7.1.1.7.- Estimación de las Horas/Cuadrillas Necesarias para Cumplir con el Plan de mantenimiento propuesto..... 59
7.1.1.8.-Implementación de un Sistema de Control..... 61
7.2.- Organigrama de la Unidad de Mantenimiento Propuesto..... 62
7.3.- Estandarización de las actividades de Mantenimiento..... 63
7.4.- Indicadores de Control de las actividades de Mantenimiento..... 64

CAPITULO VIII. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN PROPUESTAS..... 65
8.1.- Alternativas de Inversión..... 65
8.1.1.- Análisis Técnico..... 65
8.1.2.- Análisis Económico..... 67
8.1.3.- Selección de la Alternativa de Inversión Óptima..... 69

CONCLUSIONES..... 70

RECOMENDACIONES..... 72

BIBLIOGRAFÍA..... 73

ÍNDICE DE FIGURAS

No. FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1	Red radial subterránea sin amarres	8
2	Red mallada de baja tensión	9
3	Diagrama de una red automática	11
4	Interruptor trifásico sumergible aislado en SF6	12
5	Apariencia externa de los terminales de conexión en Interruptor manual en aceite (Tipo Ofco)	13
6	Interruptor manual en aceite (Tipo Ofco)	13
7	Esquema simplificado del Protector de Red	16
8	Núcleo estatórico de un motor universal bipolar	19
9	Núcleo estatórico y bobinas inductoras de un motor universal bipolar	19
10	Motor de tres conductores	20
11	Dirección de flujo de energía en el Protector de Red	22
12	Metodología aplicada	32
13	Organigrama propuesto a la Unidad de Mantenimiento de la red mallada de Baja Tensión del Distrito Centro	62

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

No.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1	Modelos de protectores de red que utiliza ELECAR actualmente en sus redes malladas de Baja Tensión	15
2	Distribución por modelo del grupo de Protectores de red inspeccionados	36
3	Valor presente neto de cada uno de los escenarios en estudio	69

PROLOGO

Desde hace más de 100 años, la empresa C.A. La Electricidad de Caracas viene prestando servicio eléctrico a la ciudad de Caracas. Desde sus comienzos la empresa ha contribuido al mejoramiento de la calidad de vida y al progreso de Venezuela, enfrentando siempre con éxito todos los retos que le ha impuesto el mercado. Con la aprobación de la nueva ley eléctrica, la Electricidad de Caracas ha venido implementando mejoras en sus procesos, con el fin de garantizar a sus clientes un servicio de alta calidad. Es por ello, que la Unidad de Mantenimiento de Baja Tensión del Distrito Centro de la C.A. La Electricidad de Caracas está realizando una serie de inversiones orientadas a modernizar y tecnificar su Gestión de Mantenimiento.

Actualmente esta unidad carece de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los Protectores de Red que conforman su sistema mallado, cuyo número es aproximadamente de 384 unidades instaladas. La mayoría de estos equipos electromecánicos tienen más de 15 años en servicio, y su mantenimiento en estos últimos años se ha concentrado únicamente en resolver fallas. Por lo tanto, esto ha producido que los costos de operación de estos equipos se vean incrementados, además de ver disminuida su confiabilidad y disponibilidad.

En este trabajo se propone un plan de mantenimiento con el objetivo de reducir estos costos optimizando los recursos disponibles, además de estudiar varias alternativas de inversión para mejorar el funcionamiento de estos equipos.

SINOPSIS

El motivo del trabajo es diseñar y evaluar el plan de mantenimiento de los protectores de red, para luego poder determinar la repotenciación o sustitución de estos equipos.

Si la empresa en algún momento decide actualizar o realizar cambios en su red mallada, esto tomaría inclusive años en completarse, por lo tanto independientemente cual sea el destino de la red, no se puede descuidar su mantenimiento. Es por ello, que estas alternativas de inversión deben ir acompañadas con un plan de mantenimiento.

El Trabajo Especial de grado, está estructurado en ocho (8) capítulos de la siguiente forma:

CAPÍTULO I. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

Busca establecer una visión general de la empresa donde se llevó a cabo el estudio: C.A. Electricidad de Caracas. En este capitulo se presenta una breve descripción de la empresa, la reseña histórica y su misión y visón como compañía.

CAPITULO II. EL PROBLEMA

Proporciona una noción global del problema, así como también describe los objetivos, alcance y limitaciones.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

Proporciona una noción básica sobre el sistema eléctrico de distribución mallado de baja tensión, y sobre los protectores de red. Además, en él también se muestran conceptos referentes al área de mantenimiento.

CAPITULO IV. MARCO METODOLÓGICO

Proporciona una descripción detallada de los pasos seguidos, para afrontar el problema motivo de la investigación.

CAPITULO V. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En este capitulo se presenta la problemática actual de la gestión de mantenimiento de la red mallada de baja tensión y de los protectores de red.

CAPITULO VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capitulo se analizó las fallas que presentan los protectores de red y sus causas, luego se determino las causas raíz de falla de los protectores de red. Como también, se estudiaron las deficiencias de la gestión de mantenimiento de la red mallada.

CAPITULO VII. PROPUESTAS DE MEJORAS

En este capitulo se presenta el plan de mantenimiento propuesto, y otras mejoras necesarias para su aplicación, como medidas para reducir los costos de operación de los protectores de red.

CAPITULO VIII. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN PROPUESTAS

Se estudian en el ámbito técnico y económico las diferentes alternativas de inversión de manera que aumenten el nivel de confiabilidad y disponibilidad de los protectores de red.

CAPITULO I. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

1.1.- DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

C.A. La Electricidad de Caracas (ELECAR) y sus filiales, es una empresa privada que pertenece a la Corporación EDC y presta servicio eléctrico a más de un millón de clientes de la zona metropolitana de Caracas, Litoral Central, Altos Mirandinos, Guarenas, Guatire y la ciudad de San Felipe, en el Edo. Yaracuy.

ELECAR es una compañía integrada verticalmente, reconocida en las áreas de:

- **Generación:** es la mayor operadora de plantas termoeléctricas en Venezuela.
- **Transmisión:** constituye la mayor empresa privada venezolana especializada en este negocio.
- **Distribución:** opera la red que surte a la capital y está conectada al Sistema Interconectado Nacional.
- **Comercialización:** la atención al cliente se soporta en una plataforma de información y de servicios que garantiza la calidad del ciclo comercial.

La participación de ELECAR en el sector eléctrico nacional es importante. En términos relativos ELECAR es un componente esencial dentro del sistema eléctrico nacional. La Electricidad de Caracas y sus filiales, atienden al 27 % de la población y sus ventas alcanzan el 18 % del total nacional.

1.2.- RESEÑA HISTÓRICA

Fue a finales del siglo XIX (1895), cuando fue fundada la C.A. La Electricidad de Caracas, por iniciativa del entonces joven Ingeniero Ricardo Zuloaga, quien construyó en una finca de su propiedad llamada El Encantado, la primera planta hidroeléctrica, aprovechando las aguas del río Guiare. Esta planta comienza a operar dos años más tarde, en Noviembre de 1897. Esto fue un acontecimiento y tuvo gran trascendencia, pues era la primera estación hidroeléctrica en Latinoamérica y una de las primeras del mundo.

La capacidad de la Planta "El Encantado" (420 kW), sólo permitía la iluminación de unas cuantas calles del centro de la ciudad, edificios públicos más importantes y el funcionamiento de algunas industrias. Por ello, años más tarde se precisa ampliar la capacidad de generación. Así, en 1902, se instala una planta en Los Naranjos, con una capacidad de generación de 1.300 kW y en 1909 la planta La Lira para atender la demanda de los tranvías y otras industrias.

El crecimiento veloz de la ciudad tanto demográfico como económico, fueron obligando a la Electricidad de Caracas a atender una demanda cada vez más creciente. Después de estar operando estas plantas por algunos años, la empresa tuvo una significativa expansión.

Dicha expansión en los siguientes 20 años, se hace fundamentalmente sobre la base del aprovechamiento de la energía hidroeléctrica, y se comienza a operar con el sistema de motores DIESEL. En 1925 entra en funcionamiento la Planta "Ricardo Zuloaga", la cual más adelante amplía su capacidad de generación utilizando el sistema termoeléctrico. Paralelamente, de 1916 a 1931 hay una expansión hidroeléctrica importante entrando en funcionamiento varias plantas pequeñas entre ellas Mamo, Caoma y Marapa –hoy día en desuso- y se adquiere la Planta de Naiguatá, la cual todavía está funcionando con una capacidad de 3.775 kW.

Posteriormente, entre los años 50 y 70, se construyen las Plantas de Arrecifes (1950) y Tacoa (1956), El Convento (1958) y O.A.M. (1969). Ya más recientemente, entre los años 1979 y 1981 se instalaron tres nuevas unidades de generación termoeléctrica con una capacidad de 400.000 kWh c/u; estas unidades, conjuntamente con las plantas de Arrecifes y Tacoa, se conocen con el nombre de "Conjunto Generador Ricardo Zuloaga" con una capacidad de 1.715.000 kWh, para atender la creciente demanda de Caracas.

Comparando ELECAR de 1897 con ELECAR de hoy, podemos apreciar el significativo crecimiento de la empresa:

- El capital inicial de la empresa fue de Bs. 500.000,00 suscrito por 24 accionistas. La capacidad de generación de la planta era de 420 kW para una demanda de 201 kWh. En

ese entonces Caracas era una ciudad de 72.500 habitantes. Los clientes de ELECAR llegaban apenas a unos 150. El área servida podemos deducirla por la cantidad de viviendas, las cuales llegaban a 10.300. La empresa comenzó a funcionar con 8 trabajadores, incluido el Gerente General.

- Hoy en día ELECAR es una empresa de gran magnitud. Tiene, consolidando los datos de las empresas filiales, una capacidad de generación de 2.005.910 kW y una demanda de 1.711.000 kW. De la pequeña ciudad de 72.500 habitantes, hoy ha pasado a atender a una población de aproximadamente 5.000.000. Podemos agregar que hoy la empresa sirve un área de 4.800 Km^2 y que cuenta con 6.400 trabajadores.

1.3.- VISIÓN

"La Electricidad de Caracas es una empresa privada dedicada a proveer el mejor servicio eléctrico y comprometida a responder a las expectativas de sus clientes, trabajadores y accionistas, contribuyendo así a elevar la calidad de vida de la sociedad venezolana".

1.4.- MISIÓN

"La Electricidad de Caracas a la cual aspiramos es una empresa reconocida nacional e internacional como líder innovador en sus procesos gerenciales, proveedora de servicio eléctrico de alta calidad, con personal y tecnología excelentes, financieramente sólida y factor fundamental del sector privado venezolano.

En esta empresa nos desempeñamos a un nivel tal que:

- Nuestros clientes consideran que reciben un servicio eléctrico excelente a un precio equitativo;
- Nuestros trabajadores identifican a la empresa como el mejor sitio de trabajo y se sienten parte integral de ella;
- Nuestros accionistas reconocen que están competitivamente retribuidos;
- Nuestros proveedores se encuentran satisfechos de trabajar con nosotros;

- Nuestros entes reguladores observan que cumplimos a cabalidad con nuestros compromisos; y
- Nuestros interlocutores en los grupos de opinión mantienen con nosotros una relación armoniosa".

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1.- SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de distribución lo conforman un conjunto de instalaciones encargadas de entregar potencia eléctrica a los consumidores o clientes provenientes de los sistemas de transmisión, de manera de modificar las magnitudes eléctricas de la energía a niveles que puedan ser manejados por los equipos de los consumidores.

Dependiendo de los métodos de operación, las estructuras de las redes y el equipo que se use se clasifican en cinco campos principales de desarrollo:

- **Sistemas de distribución industriales:** estos sistemas representan grandes consumidores de energía eléctrica, como plantas petroquímicas, de acero, de papel y otros procesos industriales similares. Estos sistemas, aunque son de distribución, deben ser alimentados a tensiones más elevadas que las usuales, es decir, 85 kV o mayores.

- **Sistemas de distribución comerciales:** estos sistemas son los que se desarrollan para grandes complejos comerciales o municipales como rascacielos, bancos, aeropuertos, hospitales, puertos marítimos, etc. Este tipo de sistema posee sus propias características por el tipo de demanda de energía que tiene con respecto a la seguridad tanto de las personas como de los inmuebles.

- **Parques industriales:** esta área se refiere a la alimentación, en zonas definidas denominadas parques industriales, a pequeñas o medianas industrias localizadas por lo general en las afueras de las ciudades o centros urbanos. Acá los requisitos de continuidad varían, siendo en algunos casos no muy estrictos. Por lo general la tensión de alimentación en estas zonas es mediana por lo que el desarrollo de las redes de baja tensión es mínimo.

- ***Distribución rural:*** esta área de la distribución es la que tiene la densidad de carga más baja de las mencionadas y por ello requiere soluciones especiales que incluyan tanto las

estructuras como los equipos. Las grandes distancias y las cargas tan pequeñas representan un costo por kWh muy elevado, por lo que en muchas zonas es preferible generar la energía localmente cuando menos al inicio de las redes.

- **Sistemas de distribución urbanos y residenciales:** consisten en la mayoría de los casos en grandes redes de cables subterráneos o aéreos desarrollados en zonas urbanas y residenciales densamente pobladas.

2.2.- ESTRUCTURAS DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de distribución se pueden desarrollar en estructuras diversas. La estructura de la red de distribución que se adopte depende de los parámetros que intervengan en la planeación de la red, tales como:

- Densidad.
- Tipo de cargas:
  - Residencial
  - Comercial
  - Industrial
  - Mixta
- Localización geográfica de la carga.
- Área de expansión de la carga.
- Continuidad del servicio.

Es importante considerar que el tipo de construcción y la estructura del sistema de distribución van a definir en gran parte la calidad del servicio, ya que la misma está supeditada a:

- Continuidad del servicio.
- Regulación de tensión.

2.3.- ESTRUCTURAS DE BAJA TENSIÓN

Las redes secundarias o redes de baja tensión constituyen el último eslabón en la cadena entre la estación de generación y los consumidores. Este sistema consiste en alimentadores secundarios que tienen su origen en la B.T. de los transformadores, en cajas de distribución o en los buses de las subestaciones secundarias, llevando la energía hasta el lugar de consumo.

Hay tres estructuras de redes secundarias en el sistema de distribución:

- Red radial sin amarres:
  - Red subterránea.
  - Red aérea.
- Red radial con amarres.
- Red mallada o red automática en baja tensión.

2.3.1.- RED RADIAL SIN AMARRES

- **Red subterránea**

En este tipo de red los cables de sección apropiados, de acuerdo con la carga que alimentará, parten en diferentes direcciones, desde el lugar donde se encuentra instalado el transformador constituyendo los alimentadores secundarios. En esta red una falla en el transformador o en alguno de los cables dejará sin servicio a todos los consumidores que alimenten la instalación.

Aun en este arreglo tan sencillo es posible tener un grado de seccionalización, ya que si el problema es en los cables, una vez que la falla se localiza el cable se puede cortar, aislando el lado dañado del lado en buen estado, y si éste está conectado a la fuente puede ser normalizado y una parte de la carga volverá al servicio mientras se realiza la reparación.

El cable de baja tensión se protege a la salida de los transformadores por medio de fusibles y se instala directamente enterrado, acometiendo a los servicios haciendo empalmes en "T" sobre él. La figura Nº 1 representa una red radial de baja tensión sin amarres; esta estructura por lo general se presenta en redes subterráneas residenciales.

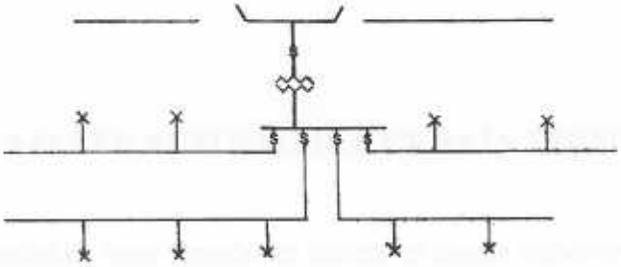

Figura N° 1. Red radial subterránea sin amarres.

- **Red aérea**

Los circuitos secundarios conectan el secundario de cada transformador de distribución a los servicios que alimenta ese transformador siguiendo también una disposición radial, aunque en algunos casos se interconecten los secundarios de transformadores adyacentes.

2.3.2.- RED RADIAL CON AMARRES

En el sistema anterior una falla en el alimentador primario o en el transformador da por resultado una interrupción de toda el área alimentada por éstos, hasta que el daño se repara o el transformador se reemplaza. Para solucionar esta situación, así como para facilitar la restauración del servicio cuando hay problemas en los cables secundarios, se instalan cajas de seccionamiento intercaladas en los cables que van de un transformador a otro. Un buen estudio respecto a la forma en que se repartirán las cargas de los servicios para cada transformador permitirá determinar la colocación de estos medios de amarre y seccionalización y dará mayor libertad en la reparación de fallas en alta tensión, puesto que la carga del transformador dañado se puede transferir por la baja tensión a los transformadores adyacentes. Los cables de B.T. se protegen a la salida de los transformadores por medio de fusibles, instalándose directamente enterrados a lo largo de las calles y conectándose directamente a los servicios.

Los transformadores se podrán instalar en locales de edificios designados para el equipo eléctrico, o bien en bóvedas construidas en la calle, dependiendo del tipo de local y el equipo

que se instale, pudiendo ser del tipo interior para locales en edificios y del tipo sumergible para bóvedas.

2.3.3.- RED MALLADA O RED AUTOMÁTICA EN BAJA TENSIÓN

Este sistema de distribución en baja tensión se utiliza en zonas importantes de ciudades donde existe gran concentración de cargas uniformemente repartidas a lo largo de las calles. Este sistema garantiza un servicio prácticamente continuo, ya que las fallas en alta tensión y en los secundarios no afectan a los usuarios.

Los componentes básicos de una red automática en B.T. se indican en el diagrama de la figura N° 2. Una fuente de potencia, normalmente una subestación de distribución, es el punto de origen de dos o más alimentadores radiales sin enlace entre ellos. Estos alimentadores van hasta los centros de carga en el área de la red, en donde son seccionados por medio de cajas de desconexión o interruptores para llevar los ramales que alimentarán directamente a los transformadores de la red.

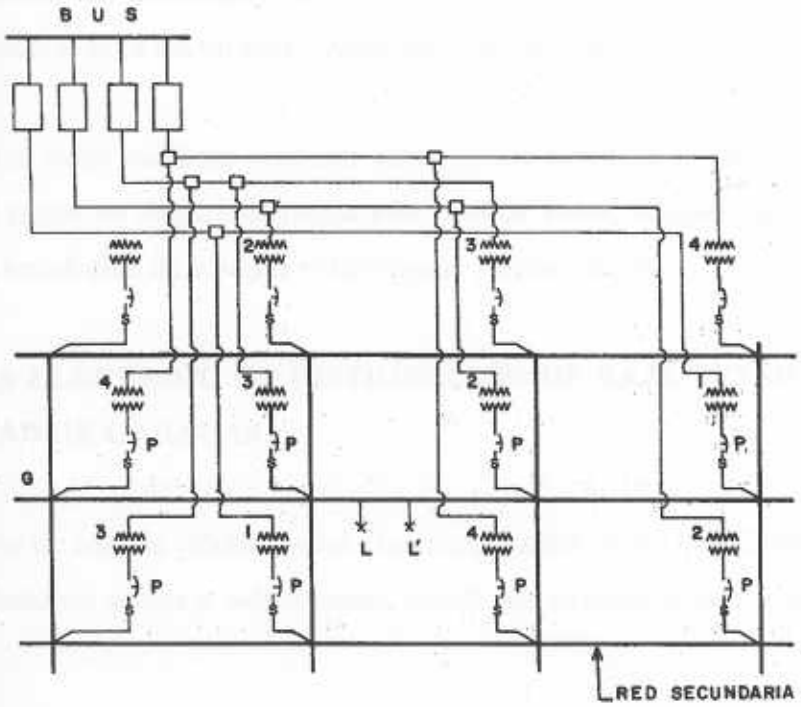

Figura N° 2. Red mallada de baja tensión.

Los transformadores de red están conectados a los cables primarios de tal manera que transformadores adyacentes queden energizados por alimentadores diferentes. La finalidad de este arreglo es que al existir una falla en uno de los alimentadores de alta tensión o "primera contingencia" no disminuya la regulación de voltaje en la red y la carga del alimentador dañado sea absorbida a través de la red secundaria por los transformadores de los otros alimentadores. Por esta razón el diseño de los alimentadores en alta tensión debe ser adecuada para que permita absorber el aumento de carga cuando uno de ellos falle.

Los cables de B.T. del transformador se conectan al Protector de Red, que es un interruptor automático en aire controlado por relés. Del Protector salen tres cables monofásicos que se conectan a buses de B.T. que permiten que salgan de ahí varios cables. Dichos cables que salen de la bóveda o sótano se extienden en la calle, interconectándose entre sí y formando una malla que constituye la red de baja tensión.

Como se puede apreciar, únicamente habrá interrupción del servicio eléctrico en el caso de una falla en la subestación principal o una salida del todo el sistema, casos pocos frecuentes y que, por lo general, de presentarse, se deben resolver en tiempos cortos. Habrá también interrupción cuando la falla sea en baja tensión en la acometida del servicio del cliente.

Se utiliza para las redes malladas sistemas subterráneos debido a la usual congestión de los espacios en las zonas en donde se instala este tipo de redes, además, de los consecuentes problemas en la instalación de equipos voluminosos y líneas aéreas.

2.4.- SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN DE LA C.A. ELECTRICIDAD DE CARACAS

Este sistema sirve de energía eléctrica a los clientes ubicados en la Gran Caracas, y lo hace por medio de instalaciones aéreas y subterráneas, donde los arreglos de sus redes son radiales o malladas.

La red mallada de ELECAR está constituida por dos partes: alta tensión y baja tensión. La red de alta tensión, llamado también sistema primario, la conforman todos los circuitos desde 4,8 kV hasta 12,47 kV, y se originan en las líneas subterráneas y aéreas a la salida del interruptor en la Subestación de Distribución y termina en el borde de baja tensión de los transformadores de distribución. En cambio, la red de baja tensión o sistema secundario, que opera a un voltaje de utilización de 125/216 V y 277/480 V, se origina en el borde de baja tensión del transformador y termina en el medidor principal o medio de desconexión del usuario.

La infraestructura de la red mallada de la empresa en casi toda su totalidad es subterránea, la cual la conforman sótanos o bóvedas, tanquillas, tuberías subterráneas y un pequeño número de casetas, de tal manera que esto contribuye a la estética de la ciudad.

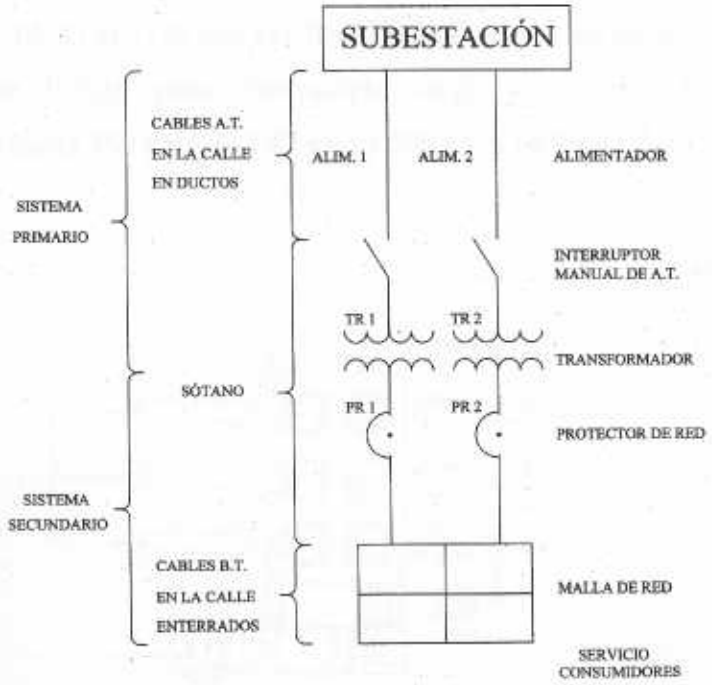

Figura N° 3. Diagrama de una red automática.

Para ilustrar el sistema de red automática que utiliza ELECAR, la figura N° 3 muestra esquemáticamente y en forma muy simplificada un ejemplo de un sistema mallado servido por dos alimentadores. A continuación se describen los equipos que conforman esta red automática:

2.4.1.- INTERRUPTORES MANUALES DE ALTA TENSIÓN

Son dispositivos de apertura y cierre manual capaz de soportar tanta corriente de operación normal como altas corrientes durante un tiempo específico, debidas a fallas en el sistema. Estos equipos se caracterizan por tener una alta capacidad de interrupción de corriente y soportar altas corrientes de operación en forma continua. Los mismos se conectan en los cables de alta tensión del transformador de distribución. Los interruptores que más se utilizan son los siguientes:

- **Interruptor trifásico sumergible aislado en SF6 (Hexafluoruro de azufre):** este interruptor tiene un (1) mecanismo de apertura y cierre manual; y es de dos (2) vías de capacidad de 200 A, con una de ellas protegida en serie con (1) fusible limitador de corriente (hasta 40 A) IP11 ó dos (2) fusibles limitadores en paralelo (hasta 40 A) IP12. Este equipo se utiliza para interrumpir carga y proteger bancos trifásicos de transformadores hasta 750 kVA (12,47 kV) y 500 kVA (4,8 kV), (ver figura N° 4).

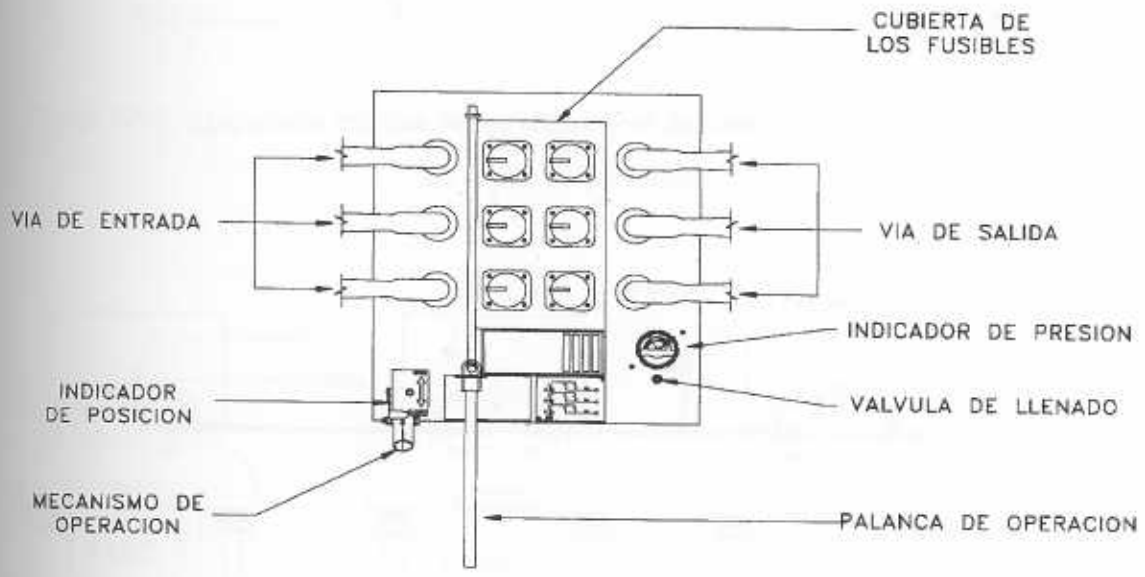

Figura N° 4. Interruptor trifásico sumergible aislado en SF6.

- **Interruptor manual en aceite (tipo OFCO):** los interruptores marca General Electric en aceite sirven para realizar aperturas y cierres de circuitos de distribución de alta tensión (de 4,8 kV, 8,3 kV y 12,47 kV). Los interruptores sólo tienen capacidad para interrumpir corrientes de carga hasta 300 A, sin embargo poseen un fusible para la interrupción de corrientes de sobrecarga y cortocircuito. La capacidad de cortocircuito para 5 kV (4,8 kV) es de 10 kA y para 15 kV (12,47 kV) es de 7 kA r.m.s. asimétricos. Este equipo esta conformado por tres (3) unidades monofásicas separadas y vienen en diferentes versiones, según el tipo de cable a utilizar (ver figura N° 5). Para la operación trifásica los interruptores individuales se instalan con una barra de acoplamiento con palanca para realizar las maniobras manuales de apertura y cierre, como se indica en la figura N° 6.

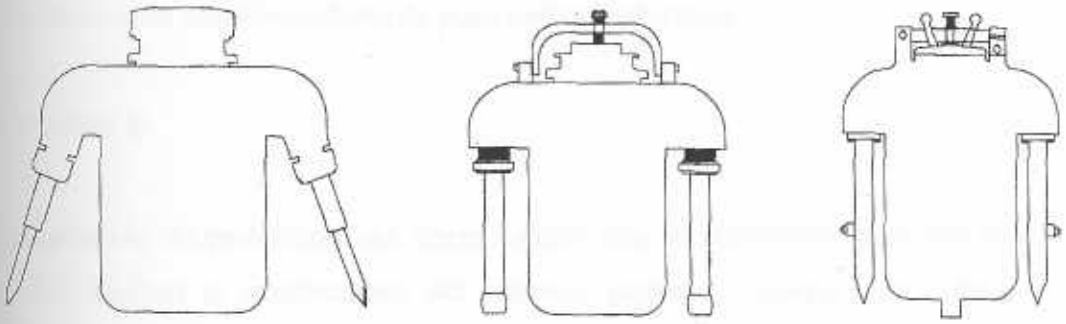

Figura N° 5. Apariencia externa de los terminales de conexión del interruptor manual en aceite (Tipo Ofco).

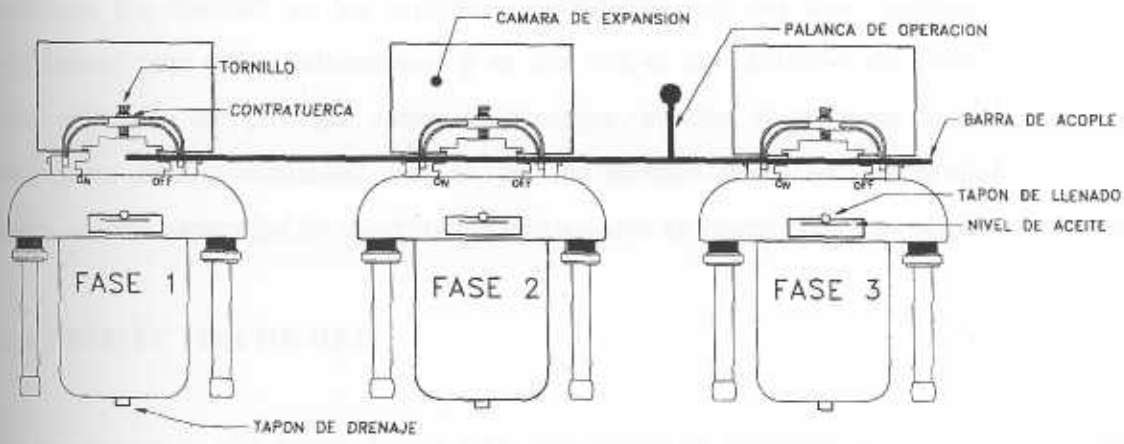

Figura N° 6. Interruptor manual en aceite (Tipo Ofco).

2.4.2.- TRANSFORMADOR

Es un dispositivo que convierte energía eléctrica alterna de un cierto nivel de voltaje, en energía eléctrica alterna de otro nivel de voltaje, por medio de la acción de un campo magnético.

El transformador que se utiliza en la red mallada de baja tensión es llamado transformador de distribución, porque toma el voltaje de distribución (entre 4,8 kV y 12,47 kV) y lo reduce hasta los valores reales de utilización (125/216 V y 277/480 V). En la red automática de ELECAR podemos encontrar transformadores sumergibles y no sumergibles; aislados en aceite y secos con o sin resina; trifásicos y monofásicos, estos últimos son usados para formar bancos trifásicos de transformadores de poca potencia eléctrica.

2.4.3.- FUSIBLE

Es un dispositivo de protección que opera cuando una sobrecorriente pasa por él y pone en peligro los equipos o instalaciones del sistema, pudiendo deberse esta sobrecorriente a sobrecargas o cortocircuitos. Por tanto, las funciones de los fusibles serán fundamentalmente, aislar la porción del circuito en disturbio del resto del alimentador sin falla, e impedir el daño de los equipos instalados en el mismo.

En sótanos, los fusibles en los circuitos secundarios son del tipo "limitador", diseñados especialmente para redes subterráneas y se usa con el fin exclusivo de aislar la falla en el circuito afectado, sin proteger contra sobrecargas, aunque sí protegen la aislación contra cortocircuitos de alta capacidad. En casillas, los fusibles serán del tipo similar al "NH" de Siemens, de alta capacidad de interrupción e instalados en interruptores a cuchilla blindados.

2.4.4.- PROTECTOR DE RED

Es un interruptor en aire equipado con relés que operan en respuesta al voltaje en el protector o a la corriente a través del mismo. Estos relés hacen que el protector se cierre o se abra según

U.C.A.B. BIBLIOTECA

sea necesario por las condiciones existentes entre la red y los transformadores de alimentación. La energía de control se toma directamente del sistema, por lo tanto no se necesita una fuente de poder adicional. El Protector de Red se instala en el secundario del transformador, y están diseñados para asegurar una continuidad de servicio en los sistemas de redes secundarias.

Los Protectores de Red que utiliza ELECAR actualmente son los siguientes:

Tabla N° 1. Modelos de Protectores de Red que utiliza ELECAR actualmente en sus redes mallados de B.T.

FABRICANTE	MODELO	CAPACIDAD (Amp.)
General Electric	MG-13A	600
	MG-8	800, 1200, 1600, 1800 y 2000
Westinghouse y Cutler-Hammer	CM-22	800, 1200, 1875 y 2000
	CMD	1200 y 1875

2.4.4.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL

Cada modelo del Protector de Red tiene características mecánicas y eléctricas distintas, pero operan bajo el mismo principio fundamental. Los Protectores están formados básicamente por (ver figura N° 7):

- **Interruptor de potencia:** formado por un sistema de contactos móviles y fijos, rompearcos y desconectadores primarios.

- **Mecanismo de operación del interruptor:** está constituido por un mecanismo de cierre, un motor de cierre o bobina de cierre y un dispositivo de disparo en derivación. En una operación normal de la red, el mecanismo cierra el interruptor a través del motor o bobina de cierre (en el caso del MG-13A) y lo dispara por medio de la bobina de disparo en derivación, ambos equipos están controlados automáticamente por los relés y otros accesorios.

- **Relé(s)**: tienen como función controlar las operaciones del protector de red. Estos pueden ser electromecánicos o de estado sólido (electrónico).

Los relés electromecánicos que se instalan en cada protector son dos, uno llamado relé principal (ver foto N° I.11, anexos) y el otro relé de fase, ambos operan por el principio de inducción. El relé principal es trifásico, tiene la función de abrir el protector de red por potencia inversa, y cerrar el protector cuando la relación entre las tensiones del lado de la fuente y del lado de carga son tales que la potencia debe fluir en sentido correcto. El relé de fase es monofásico, tiene como función limitar la operación de cierre del relé principal cuando los voltajes del lado del transformador y del lado de la red mallada, no estén en fase.

Los relés de estado sólido combinan en una sola unidad las funciones del relé principal y del relé de fase (ver foto N° I.7, anexos).

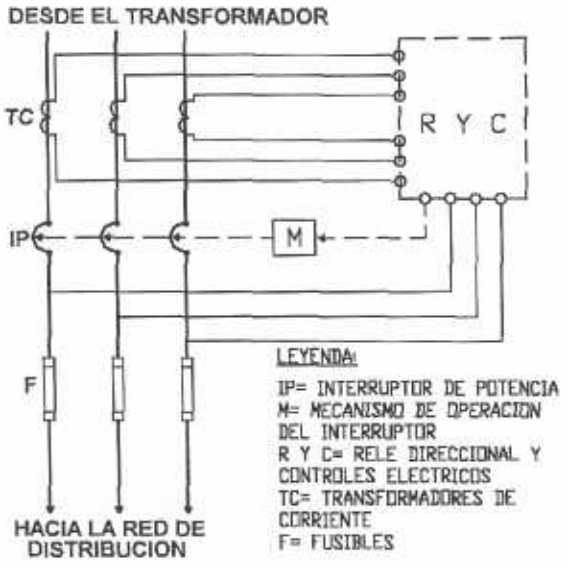

Figura N° 7. Esquema simplificado del Protector de Red.

- **Equipo de control:** incluye interruptores auxiliares, un relé auxiliar y desconectadores secundarios.

- **Transformadores de corriente (TC):** Los transformadores de corriente operan conjuntamente con el relé principal para disparar el protector en caso de flujo de potencia inversa. La corriente secundaria de estos transformadores de corriente con una carga completa normal del protector es de 5 amperios.

- **Fusibles:** se proporcionan con el propósito de dar protección adicional, en caso de que el protector no se dispare en el momento de una falla en el alimentador.

2.4.4.2.- PARTES DE LOS PROTECTORES DE RED

2.4.4.2.1.- Carcasa o caja: están disponibles en cajas ventiladas, semiherméticas al polvo y sumergibles, para montaje por separado o montaje a la garganta del transformador. Las carcasas montadas en el transformador tienen una abertura en la parte posterior de la carcasa para montarlo directamente sobre la garganta de bajo voltaje del transformador. Las barras conductoras montadas en la carcasa conectan la parte inferior del protector con el cobre del transformador. Las piezas de sujeción están situadas cerca de la parte inferior trasera de la carcasa para proporcionar un apoyo adicional entre el protector y el transformador. La carcasa montada separadamente tiene cuatro asas de montaje, dos situadas en la parte superior y dos en la parte inferior.

La puerta de la caja está provista de una o más ventanas, fabricadas con policarbonato de alto impacto, para la inspección de los fusibles, el contador de operaciones y el indicador de posición. Para garantizar la hermeticidad del protector sumergible se utilizan empacaduras en la puerta, ventanas y en el cuello del eje de la palanca de operación.

2.4.4.2.2.- Unidad deslizable: esta conformada por el interruptor de potencia, mecanismo de operación, relés, paneles auxiliares, transformadores de corriente, dispositivos de control, otros accesorios y todo el cableado de interconexión. Esta unidad se puede sacar fácilmente de la caja al deslizarla sobre rieles incorporados en el protector, el cual permite llevar a cabo la inspección, mantenimiento, pruebas eléctricas o remoción de la misma.

U.C.A.B. BIBLIOTECA

2.4.4.2.3.- Extinguidor de arco o rompearcos: tiene como función disipar la chispa que se produce cuando los contactos principales del interruptor se abren..

2.4.4.2.4.- Contactos fijos y móviles.

- **Contactos principales:** son los que conducen toda o la mayoría de la corriente principal.

- **Parachispas:** son los contactos de un dispositivo de conmutación, cuya función es impedir la permanencia del arco después de que los contactos principales se abren.

2.4.4.2.5.- Contador de operaciones: es un dispositivo que lleva el registro de número de operaciones que realiza el Protector de Red.

2.4.4.2.6.- Indicador de posición: este dispositivo indica si el interruptor está ABIERTO o CERRADO.

2.4.4.2.7.- Palanca de operación: es una extensión del eje del protector (ver foto Nº I.1, anexos). Esta es una palanca externa de la caja, que permite colocar el mecanismo de operación del protector en tres posiciones:

- **OPEN**: se dispara automáticamente el interruptor quedando fijo en esta posición.
- **CLOSE**: cierra el protector en forma manual, y se dispara automáticamente en el caso de ocurrir una falla en el alimentador o en la red mallada.
- **AUTO**: cierra automáticamente el interruptor, y en el caso de ocurrir una falla en el alimentador o en la red mallada se dispara automáticamente. Esta es la posición de operación normal del protector de red.

2.4.4.2.8.- Motor de cierre: Es un motor universal bipolar de eje vertical tipo conmutador con cojinetes de bolas SFK. Las partes principales del motor universal son:

- **La Carcasa:** esta puede ser de acero laminado, de aluminio o de fundición.

- **El estator o inductor:** consiste en un paquete de chapas de forma adecuada, fuertemente prensadas y fijadas mediante remaches o pernos. Como puede verse en las figuras N° 8 y 9, las mismas chapas forman los núcleos polares inductores.

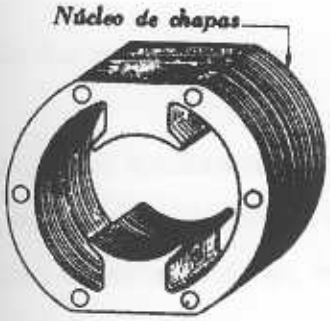

Fig. N° 8. Núcleo estatórico de un motor universal bipolar.

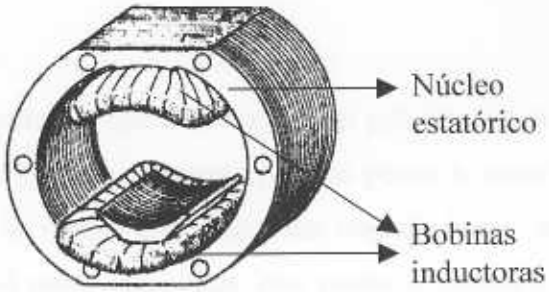

Fig. N° 9. Núcleo estatórico y bobinas inductoras de un motor universal bipolar.

- **El inducido**: consiste en un paquete de chapas que forma un núcleo compacto con ranuras normales, y un colector al cual van conectados los terminales del arrollamiento inducido. Tanto el núcleo de chapas como el colector van sólidamente asentados sobre el eje (ver foto N° I.2, anexos).

- **Los escudos:** son los que están localizados en los lados frontales de la carcasa. En los escudos, van alojados los cojinetes en los que descansan los extremos del eje. En estos motores de cierre solo se puede desmontar un escudo, pues el otro está fundido junto con la carcasa. Los portaescobillas van sujetos al escudo fijo de la carcasa (ver foto N° I.3, anexos).

Estos motores están construidos de manera que cuando los devanados inducido e inductor están unidos en serie y circula corriente por ellos, se forman dos flujos magnéticos que al reaccionar provocan el giro del rotor. Puesto que en servicio no se requiere que el mecanismo de cierre opere con un período de tiempo prolongado, el motor está rebobinado para desarrollar un torque excepcionalmente alto para su tamaño. Si se opera con mucha frecuencia

para pruebas o propósitos similares, los arrollamientos pueden sobrecalentarse, no obstante, hay una gran capacidad para veinte operaciones consecutivas.
Estos motores pueden ser de dos o tres conductores:

- **Motor de dos conductores**

El motor de dos conductores tiene un freno mecánico, que consiste en un gobernador de fricción instalado en el extremo inferior del motor, está compuesto por dos pesos de acero que actúan como zapatas de frenos cuando, la fuerza centrífuga las empuja hacia la periferia interna de la carcasa pequeña en la cual están encerradas, este motor lo utiliza el modelo MG-8 (ver foto N° I.4, anexos).

- **Motor de tres conductores**

El freno del motor de tres conductores a diferencia del anterior es eléctrico, por lo demás este motor es idéntico al de dos conductores. Este tercer conductor es sacado del punto entre la armadura y el campo, de manera que detiene al motor eléctricamente cortocircuitando por un momento la armadura a través de una resistencia de tres ohmios. Los tres conductores del motor están conectados a un conjunto de clavija tomacorriente polarizada de cuatro polos la cual facilita la desconexión conveniente, en caso de remoción o reemplazo. Este motor lo utilizan los modelos CM-22 y CMD (ver figura N° 10).

Figura N° 10. Motor de tres conductores.

2.4.4.2.9.- Solenoide de cierre: dispositivo que sólo se utiliza en el modelo MG-13A, se compone de una bobina, un electroimán y una parte móvil con cuatro barras de conexión para cierre.

2.4.4.2.10.- Dispositivo de disparo en derivación: proporciona la abertura automática del protector, y tiene un actuador de disparo que produce una fuerza mecánica para disparar el interruptor al recibir una señal de disparo del relé principal, o de cualquier otra fuente. El actuador es un electroimán sincronizador del tipo solenoide que posee una bobina que utiliza un resorte de compresión como mecanismo de reposicionamiento. La palanca de disparo manual es una extensión de la bobina, la cual está situada en la parte inferior delantera de la unidad deslizable.

2.4.4.2.11.- Relé auxiliar: controla el circuito del motor, el cual a su vez esta controlado por el relé principal y el relé de fase, y también por el conmutador de desconexión del mecanismo. El cierre de los contactos de este relé cierra el circuito del motor.

2.4.4.2.12.- Empacaduras: se encuentran en varios sitios de la caja, y en el caso de los protectores sumergibles estas pueden ser de materiales como:

- Neopreno, en el caso de la empacadura que se encuentra en los bordes de la tapa de los modelos MG-8, CM-22 y CMD.

- Corcho-Neopreno, en el caso de la empacadura de los bordes de la caja del MG-13A y de las ventanas de todos los modelos.

- Relleno de composición moldeado, en el caso de la empacadura del cuello del eje de la palanca de operación del modelo CM-22.

2.4.4.3.- DIRECCIÓN DE FLUJO DE ENERGÍA EN EL PROTECTOR DE RED

La dirección normal de flujo de energía en el Protector de Red, entra por la garganta proveniente del transformador o por los bornes ubicados en la parte inferior de la caja, pasa por el eslabón de desconexión, sube por la unidad deslizable a través del interruptor hacia el fusible del lado de la red, y continua por la parte superior de la caja hacia los bornes de salida (Ver Figura N° 11)

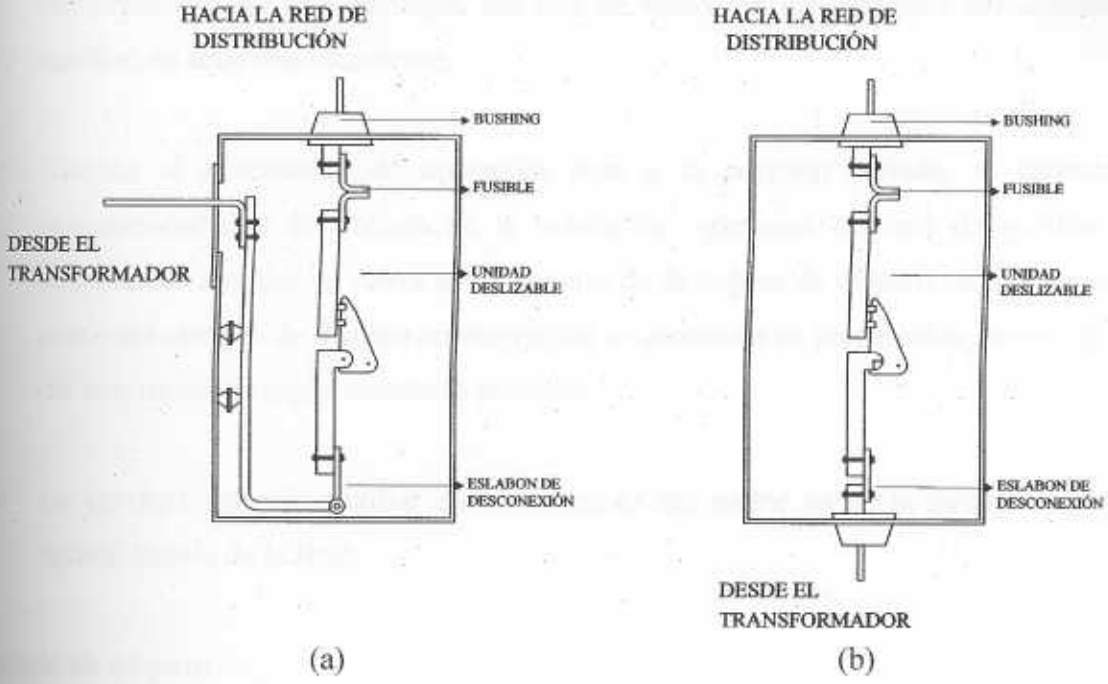

Figura N° 11. Dirección de flujo de energía en el Protector de Red. (a) Carcasa montada en el transformador. (b) Carcasa montada separadamente del transformador.

2.4.4.4.- SECUENCIA DE OPERACIÓN

- **Ciclo de cierre**

Un ciclo de cierre consiste en la siguiente secuencia de operación:

- Los contactos de cierre del relé principal y los contactos del relé de fase se cierran, con lo cual completan el circuito a la bobina del relé auxiliar.

- El relé auxiliar acciona su armadura lo cual cierra el contacto.

- Luego de ser energizado(a) por los contactos del relé auxiliar, el motor gira (o la bobina de cierre acciona) la palanca de cierre hasta un punto en el que el conmutador de desconexión cierra sus contactos, lo que hace que el relé auxiliar, cerrado de manera independiente del relé principal, del relé de fase o de los contactos del conmutador auxiliar, se selle eléctricamente.

- Cuando el mecanismo de operación pasa a la posición cerrado, el conmutador desconexión abre el circuito de la bobina de operación del relé de auxiliar y el conmutador auxiliar se cierra en el circuito de la bobina de disparo en derivación. El cierre del circuito de disparo en derivación se encuentra en preparación para el disparo del interruptor en algún momento posterior.

- La apertura del relé auxiliar abre el circuito del motor (o de la bobina de cierre), desplazándolo de la línea.

- **Ciclo de disparo**

Un ciclo de disparo consiste en la siguiente secuencia de operación:

- El relé principal cierra sus contactos de disparo (debido a las condiciones prevalecientes del sistema), cerrando el circuito a través de la bobina de disparo en derivación. (El ciclo de disparo es independiente de la posición de los contactos en el relé de fase).

- La apertura del interruptor y el mecanismo hace que los conmutadores auxiliares regresen a su posición original, abriendo la bobina de disparo en derivación y cerrando el circuito del relé de control del motor, antes de la siguiente operación de cierre.

2.4.4.5.- CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL PROTECTOR DE RED

La operación del protector de red se puede resumir así:

- Cuando ocurre una falla en un alimentador primario o cuando el alimentador es desenergizado por abrir el interruptor de la subestación a la cual pertenece, hará que todos los protectores conectados a ese alimentador se abran por potencia inversa (fluye la energía de la red mallada hacia el transformador de red). La pérdida del alimentador y del disparo de los protectores de red no provocará la interrupción del servicio para ninguna carga en la red secundaria, ya que otros alimentadores primarios soportarán la carga hasta que el alimentador en falla o desconectado se ponga en servicio nuevamente.

- Una vez reparado el cable alimentador y cerrado el interruptor de la subestación, los protectores correspondientes a éste alimentador cerrarán automáticamente.

- Si al hacer una reparación las fases se invierten, los protectores de red no cerrarán.

- Si el voltaje del alimentador es inferior al de la red mallada, los protectores no cerrarán.

- Si un alimentador se conecta a una malla de baja tensión muerta, los protectores cierran.

- Si falla el transformador conectado al protector, este interruptor abre sus contactos por potencia inversa.

2.5.- MANTENIMIENTO

2.5.1.- DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Mantenimiento:** es el conjunto de acciones que permite conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado.

- **Objetivo del mantenimiento:** es mantener un sistema productivo en forma adecuada de manera que pueda cumplir su misión, para lograr una producción esperada en empresas de producción y una calidad de servicios exigida, en empresas de servicio, a un costo global óptimo.

- **Mantenimiento Correctivo:** comprende las actividades de todo tipo encaminadas a corregir las fallas de una manera integral en el menor tiempo posible, una vez que se han presentado. Las acciones más comunes que se realizan son: modificación de elementos de máquinas, modificación de alternativas de proceso, cambios de especificaciones, ampliaciones, revisión de elementos básicos de mantenimiento y conservación. Este tipo de actividades es ejecutado por el personal de la organización de mantenimiento y/o por entes foráneos, dependiendo de la magnitud, costos, especialización necesaria u otros.

- **Mantenimiento por avería o reparación:** se define como la atención a un sistema productivo cuando aparece una falla. Su objetivo es mantener en servicio adecuadamente dichos sistemas, minimizando sus tiempos de parada. Es ejecutado por el personal de la organización de mantenimiento. La atención a las fallas debe ser inmediata y por tanto no da tiempo a ser "programada" pues implica el aumento en costos y de paradas innecesarias de personal y equipos.

- **Mantenimiento Preventivo:** es el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos, para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, probabilidad de aparición de averías, vida útil, u otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de las fallas.

- **Plan de mantenimiento preventivo:** es un conjunto coherente de políticas y procedimientos a través de las cuales se realiza la gestión de mantenimiento para lograr la disponibilidad requerida del sistema productivo al costo más conveniente.

- **Instrucciones técnicas de mantenimiento:** lo constituyen la lista de acciones de mantenimiento a ejecutar sobre cada objeto de mantenimiento. Cada instrucción técnica debe señalar el tipo de actividades de mantenimiento a ejecutar, la codificación o numeración secuencial para cada instrucción y para cada tipo de actividad, la descripción generalizada de la actividad a realizar, el tipo y cantidad de personal involucrado en la ejecución, la frecuencia con que debe realizarse la acción y el tiempo necesario para realizar la actividad.

- **Procedimiento de ejecución de mantenimiento:** constituyen los pasos a seguir en la ejecución de cada una de las Instrucciones Técnicas, estableciéndose en forma paralela una lista de los equipos, instrumentos, herramientas, materiales y repuestos, necesarios para la ejecución de dicha acción, así como la cantidad y el tipo de personal involucrado.

- **Gestión de mantenimiento:** es la efectiva y eficiente utilización de los recursos materiales, económicos, humanos y de tiempo para alcanzar los objetivos de mantenimiento.

- **Formas de hacer el Mantenimiento:**

  - **Administración Directa:** es el mantenimiento que se realiza con personal que pertenece a la organización de la empresa.

  - **Contratado:** es el mantenimiento que se realiza con un ente externo a la empresa según especificaciones de ésta, en condiciones de precio y tiempo previamente establecidas.

- **Falla:** es un evento no previsible, inherente a los sistemas productivos que impide que estos cumplan función bajo condiciones establecidas o que no la cumplan.

- **Tipos de Fallas:**

- **Por su alcance:**

  → **Parcial:** es aquella que origina desviaciones en las características de funcionamiento de un sistema productivo, fuera de límites especificados, pero no la incapacidad total para cumplir su función.

  → **Total:** es aquella que origina desviaciones o pérdidas de las características de funcionamiento de un sistema productivo, tal que produce incapacidad para cumplir su función.

- **Por su velocidad de aparición:**

  → **Progresiva:** es aquella en la que se observa la degradación de funcionamiento de un sistema productivo y puede ser determinada por un examen anterior de las características del mismo.

  → **Intermitente:** es aquella que se presenta alternativamente por lapsos limitados.

  → **Súbita:** es la que ocurre instantáneamente y no puede ser prevista por un examen anterior de las características del sistema productivo.

- **Por su impacto:**

  → **Menor:** es aquella que no afecta los objetivos de producción o de servicio.

  → **Mayor:** es aquella que afecta parcialmente los objetivos de producción o de servicio.

  → **Crítica:** es aquella que afecta totalmente los objetivos de producción o de servicio.

- **Vida útil:** es el período durante el cual un sistema productivo cumple un objetivo determinado, bajo un costo aceptable para la organización.

- **Efectividad del sistema:** es la probabilidad de que un sistema productivo opere a toda capacidad durante un período calendario.

- **Disponibilidad:** es la probabilidad de que un sistema productivo esté en capacidad de cumplir su misión en un momento dado bajo condiciones determinadas.

- **Confiabilidad:** es la probabilidad de que un sistema productivo no falle en un momento dado bajo condiciones establecidas.

- **Mantenibilidad:** es la probabilidad de que un sistema productivo pueda ser restaurado a condiciones normales de operación dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento ha sido realizado de acuerdo a procedimientos preestablecidos.

CAPITULO III. EL PROBLEMA

3.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Sección de Mantenimiento de Baja Tensión y Alumbrado Público del Distrito Centro en un esfuerzo por mejorar la calidad del servicio y optimizar sus recursos, ha decido reestructurar la gestión de mantenimiento de la red mallada de baja tensión, debido a que durante los últimos años los costos de operación de las mallas han ido aumentando progresivamente.

Existen estudios realizados por el departamento de Planificación de Distribución de la empresa, que asegura que la solución a esta problemática es radializar gran parte de las mallas de baja tensión. De todas formas, las mallas hay que atenderlas y de tomar una decisión como la que sugiere Planificación, la empresa se tardaría años en realizar estos cambios debido al tamaño de la red mallada.

Como un primer paso para optimizar la gestión de mantenimiento de la red mallada de baja tensión, en este trabajo se estudiará, evaluará y propondrá mejoras a los procedimientos vigentes correspondientes al mantenimiento de la red mallada y, se diseñará y evaluará un plan de mantenimiento óptimo para los Protectores de Red. De esta manera, la gerencia podrá conocer si es necesario repotenciar o sustituir los Protectores de Red, de acuerdo a lo que determine el estudio, ya que este tipo de costos son relativamente grandes y quizás esto amerite un plan de inversión a largo plazo.

3.2.- OBJETIVOS

3.2.1.- OBJETIVO GENERAL

Diseñar y Evaluar Técnica y Económicamente el Plan de Mantenimiento para determinar la repotenciación o sustitución de los Protectores de Red del sistema mallado de una empresa que presta servicio eléctrico.

3.2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar, evaluar y proponer mejoras a los procedimientos vigentes correspondientes a la Gestión de Mantenimiento en la Unidad de Mantenimiento de Baja Tensión del Distrito Centro de la C.A. La Electricidad de Caracas (ELECAR).

- Estudiar los elementos que conforman un sistema mallado.

- Estudio técnico de las fallas presentes en los protectores de red.

- Proponer medidas orientadas a corregir estas fallas y determinar la vida útil de los equipos.

- Establecer las Instrucciones Técnicas de Mantenimiento para los Protectores de Red, a fin de conocer con exactitud los diferentes tipos de rutinas y frecuencia de cada una de ellas.

- Elaborar la Orden de Trabajo, que permitirá un control efectivo del mantenimiento, así como los costos que involucra el material, repuestos y tiempo utilizado por el personal de mantenimiento.

- Determinar los Indicadores de Mantenimiento que permitirán evaluar de manera objetiva la labor de mantenimiento.

- Evaluación técnica-económica de las diferentes alternativas de inversión para repotenciar o sustituir los protectores de red, con el fin de obtener un mayor nivel de disponibilidad y confiabilidad.

3.3.- ALCANCE Y LIMITACIONES

- En este Trabajo Especial de Grado será evaluada la Gestión de Mantenimiento correspondiente a la Unidad de Mantenimiento de la Red Mallada de Baja Tensión, que forma parte de la Sección de Mantenimiento de Baja Tensión y Alumbrado Público del

Distrito Centro, sin embargo, no todos los procesos de esta gestión serán objeto de propuestas de mejora sino solamente aquellos que ameriten modificaciones.

- Las mejoras que se planteen en este trabajo solamente serán propuestas a la empresa, quedando a su juicio su posterior implementación.

CAPITULO IV. MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de este estudio, se siguieron una serie de pasos orientados a alcanzar los objetivos planteados inicialmente (ver figura N° 12).

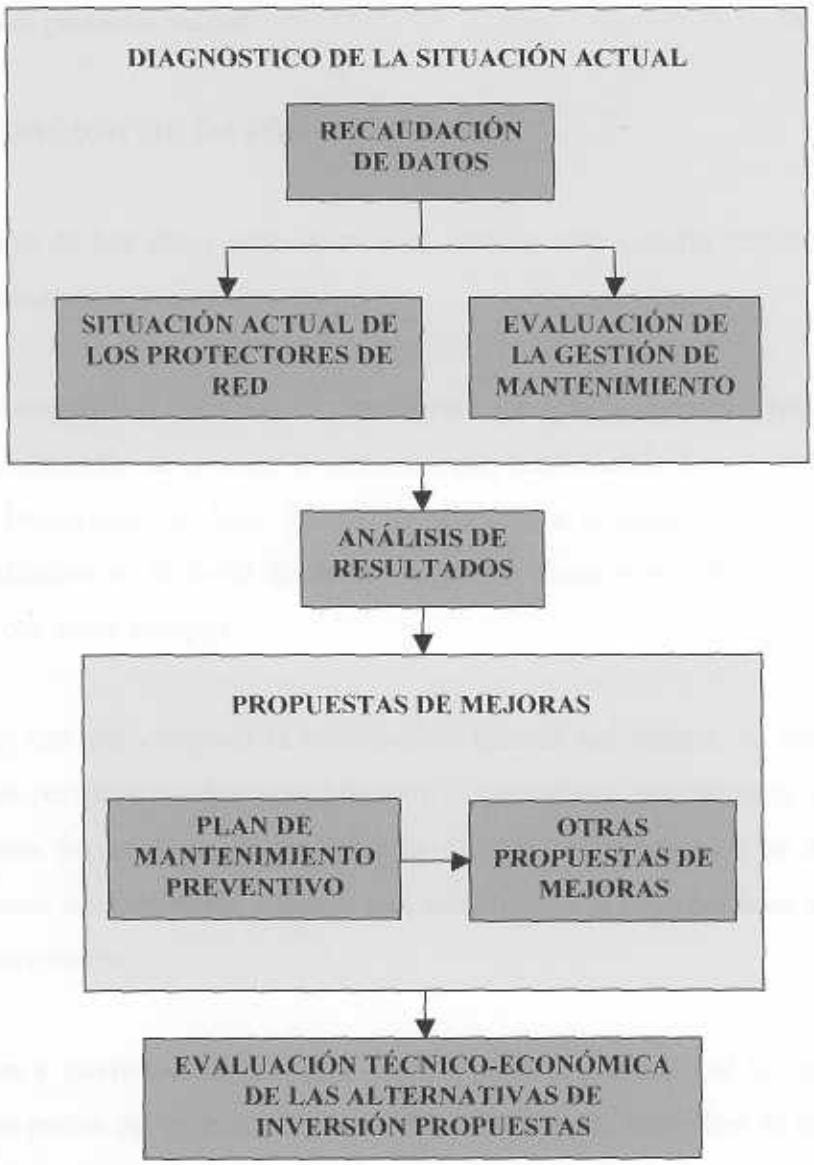

Figura N° 12. Metodología aplicada

La descripción de estos pasos se realiza a continuación:

4.1.- DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En esta primera fase de la investigación, se contempla la realización del levantamiento de información utilizándose determinadas técnicas de recaudación de datos, para luego poder evaluar la gestión de mantenimiento de la red mallada de baja tensión y el proceso de mantenimiento del protector de red.

4.1.1.- RECAUDACIÓN DE DATOS

En la recaudación de los datos necesarios para realizar este estudio se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Revisión bibliográfica:** para ello se estudiaron catálogos, manuales y planos eléctricos de los equipos, con el fin de conocer la terminología, funcionamiento y el mantenimiento que amerita los Protectores de Red. Luego, se procedió a la búsqueda de documentos tales como procedimientos, historial de fallas y reportes técnicos que describieran la situación relacionada con estos equipos.

- **Entrevistas:** una vez obtenida la información general del equipo, se procedió a realizar entrevistas al personal técnico y administrativo que labora directamente en el proceso de mantenimiento de los Protectores, además de una entrevista con un representante de Cutler-Hammer de Venezuela, quienes son actualmente la empresa líder en la fabricación de estos interruptores.

- **Observación y participación directa:** para conocer a profundidad la situación actual en las diferentes partes del proceso, fue necesario salir con las cuadrillas de mantenimiento de ELECAR, lo que permitió tener una idea más clara sobre todo lo que involucra el trabajo de campo y el funcionamiento, las condiciones en que operan y como se realiza el mantenimiento de los Protectores de Red.

4.1.2.- EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Para la evaluación de la Gestión de Mantenimiento de la Red Mallada de Baja Tensión del Distrito centro, se utilizó como herramienta principal la Norma Venezolana COVENIN 2500-93, "Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria". Esta norma permitirá determinar la capacidad de gestión de la empresa en lo que respecta al mantenimiento de la red mallada mediante el análisis y calificación de los siguientes factores:

- Organización de la empresa.
- Organización de la función de mantenimiento.
- Planificación, programación y control de las actividades de mantenimiento.
- Competencia del personal.

4.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizado el diagnóstico de la situación actual, se procedió a identificar las causas raíz de falla en los protectores de red y analizar los componentes del proceso de mantenimiento que presentan la mayor problemática. Para ello se elaboro un diagrama causa-efecto de las causas de falla en los protectores de red, utilizando toda la información obtenida sobre esta materia.

4.3.- PROPUESTAS DE MEJORAS

Luego de analizar las diferentes situaciones problemáticas y los factores que la componen, se procedió a desarrollar las propuestas que contribuyan a eliminar la problemática existente o al menos disminuir su magnitud. En esta fase de la investigación, también se incluye la propuesta correspondiente al plan de mantenimiento para los protectores de red.

4.4.- EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN PROPUESTAS

En esta fase del estudio se determinó cual es la alternativa de inversión óptima, de manera de poder mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los protectores de Red.

CAPITULO V. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

5.1.- PROTECTORES DE RED

5.1.1.- POBLACIÓN

Debido a la carencia de un inventario actualizado de los protectores de red que operan en la red mallada de baja tensión, la Unidad de Mantenimiento de la Red Mallada de B.T. durante estos últimos meses ha estado realizando inspecciones en la malla. Estas inspecciones han permitido ejecutar las siguientes actividades:

- Realizar el inventario y verificar el estado de los Protectores de Red y materiales que operan en las mallas.

- Realizar mediciones de carga y voltaje.

- Corregir gran parte de las fallas y anomalías existentes en la red mallada.

Actualmente se ha alcanzado el 86 % del total estimado de las inspecciones que se realizaran, es decir, que hasta ahora se han revisado 331 protectores de red de una población estimada de

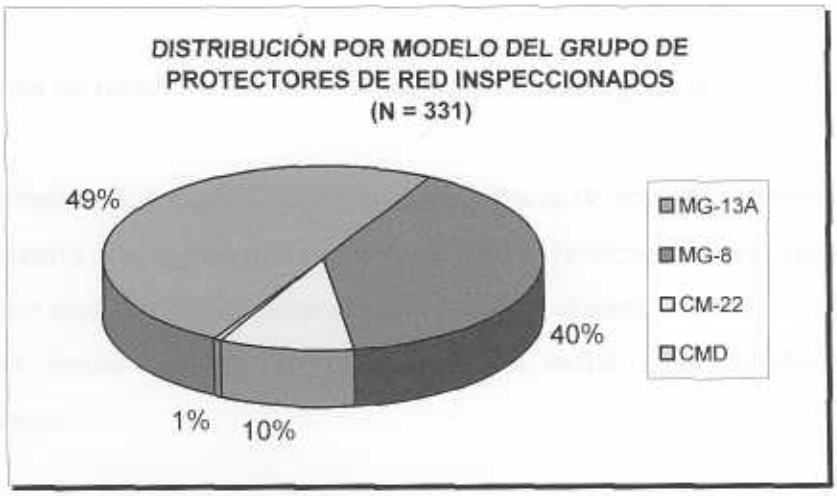

Gráfico Nº 1.

384 equipos. En el Gráfico N°1 se pueden ver como está conformado el grupo de los protectores de red inspeccionados.

5.1.2.- HISTORIAL DE FALLAS

El historial de fallas de los Protectores de Red es llevado por el CCO[1], aunque no todas las fallas que se presentan en los protectores se registran en esta data, pero es el único historial que actualmente dispone la empresa sobre estos equipos. El acceso a esta información se tiene por medio del SAP de la empresa, y es extraída de los Memos que carga el CCO en este sistema administrativo.

Para el estudio de las fallas en los protectores de red se seleccionó una data correspondiente a un año (ver anexo II), ya que la disponibilidad de la misma en el SAP era de un poco mas de un año. A continuación se describen cada una de las fallas que presentaron estos equipos para su compresión:

- **No abre en automático:** es cuando el protector no se dispara o no abre su interruptor de potencia en forma automática, estando su palanca de operación en la posición "AUTO".

- **Fuertes ruidos en el sótano:** en la mayoría de los casos es un transformador sobrecargado el que emite los ruidos.

- **Tiene agua en su interior:** en este caso el protector sumergible presenta filtraciones.

- **Desfase:** al realizar las mediciones en los conductores de entrada y salida del protector, el técnico encuentra que hay un desfase, en este caso el protector debería encontrarse abierto. Es importante recordar que aunque el protector este abierto, los conductores de salida de este equipo tienen tensión debido a que la malla sigue alimentada por otros transformadores.

[1] Centro de Control de Operaciones de la C.A. Electricidad de Caracas

- **No cierra en automático ni manual:** al colocar la palanca de operación en la posición "AUTO" el protector no cierra automáticamente, y al mover la palanca a la posición "CLOSE" el técnico no puede cerrar manualmente el equipo.

- **No opera en automático:** el protector teniendo la palanca de operación en la posición "AUTO", no cierra o no abre automáticamente.

- **No opera en automático ni manual:** además de lo descrito en la falla anterior, el protector estando en la posición "CLOSE", no se puede cerrar manualmente o no se abre automáticamente.

De las gráficas mencionadas anteriormente (ver anexo II), se derivan algunas observaciones que son importantes para nuestro estudio:

- El modelo MG-13A es quien presentó el mayor número de fallas, seguido por el MG-8.

- Entre las labores de mantenimiento correctivo de un año, estuvo el reemplazar cinco (5) protectores MG-13A, por deterioro parcial o general del equipo debido a filtraciones y/o a la falta de mantenimiento preventivo; y uno (1) MG-8, por desgaste de su mecanismo de cierre.

5.1.3.- RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS, OBSERVACIONES Y PARTICIPACIÓN DIRECTA

5.1.3.1.- PROBLEMÁTICA ENCONTRADA EN EL MANTENIMIENTO DE LOS PROTECTORES DE RED

- **Dificultad para detectar cuando fallan los protectores de red:** por el diseño mismo de la red mallada, cuando un protector de red no opera este no se detecta fácilmente, ya que esto no implica que el cliente vea afectado su servicio eléctrico.

- **Obsolescencia de los protectores de red:** como puede verse en el Gráfico Nº 1, el 89 % de la población inspeccionada corresponden a los protectores MG-13A y MG-8, modelos que actualmente están obsoletos y sus costos de reposición son muy altos. Esto dificulta la labor de mantenimiento ya que no se cuentan con los repuestos necesarios.

- **Falta de mantenimiento adecuado:** durante los últimos años estos interruptores han sido atendidos principalmente por labores de mantenimiento por avería, esto ha conducido a que muchos de estos equipos operen erráticamente y experimenten un deterioro acelerado.

- **Déficit de personal técnico capacitado para el mantenimiento de los protectores de red:** la empresa actualmente tiene un déficit de personal propio y contratado especializado en esta materia, por lo tanto la efectividad del mantenimiento de estos equipos se ve afectada.

5.1.3.2.- SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PROTECTORES DE RED

A pesar de que la mayoría de estos equipos tienen más de 30 años de servicio, y que durante estos últimos años no han recibido un mantenimiento adecuado, gran parte de ellos se encuentran en buenas condiciones, pero esto no significa que los Protectores estén funcionando correctamente. Esto último lo ratifica el grado de incertidumbre que existe en el personal de la empresa, con respecto al buen funcionamiento de los Protectores cuando ocurre una falla en la malla o subestación.

A continuación se describe los principales problemas que se presentan en cada uno de los modelos:

5.1.3.2.1.- MODELO MG-13A

El mayor número de fallas lo tiene este modelo, y esto se debe a:

- El desgaste general que han experimentado estos equipos, el cual se ha venido acelerando debido a la falta de mantenimiento preventivo.

- El deterioro general del equipo, debido a las constantes filtraciones que presentan por el deterioro de la empacadura ubicada en los bordes de la caja y el mal cierre de su tapa. Esta última es importante, ya que su hermeticidad depende en gran parte de que se cierre la tapa de forma correcta, a pesar de que esto puede convertirse en una labor muy ardua para el personal de mantenimiento, ya que este equipo dispone de 22 pernos en su tapa distribuidos en 4 barras de fijación (ver foto N° I.9, anexos).

- La falta de repuestos por obsolescencia de este modelo, lo que ha origina retrasos en las labores de mantenimiento y la desincorporación de algunos protectores.

5.1.3.2.2.- MODELO MG-8

- El modelo MG-8 cuenta con un diseño de la carcasa más robusto y práctico, por lo tanto la hermeticidad de estos equipos no es tan vulnerable como la del MG-13A.

- Las fallas que se presentan en este modelo se deben principalmente al desgaste del mecanismo de operación y del motor de cierre.

- El principal problema para realizar el mantenimiento de este modelo es la falta de repuestos debido a que este equipo también esta obsoleto.

5.1.3.2.3.- MODELO CM-22

El modelo CM-22 son equipos muy funcionales debido a la flexibilidad que tienen para ser configurados y operen en las capacidades de 800, 1200, 1600 o 1875 amperios. Además, estos equipos también cuentan con un diseño de la carcasa muy robusto y práctico, y pertenecen a la última generación de los protectores de red. El principal problema de estos equipos es el

desgaste de algunas de las piezas que conforman el mecanismo de operación y el motor de cierre.

5.1.3.2.4.- MODELO CMD

En la red mallada solamente hay instalado un (1) equipo de este modelo. El mismo también pertenece a la última generación de los protectores de red. Las fallas en este protector se deben principalmente al desgaste de algunas de las piezas del mecanismo de operación y del motor de cierre.

5.2.- EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE LA RED MALLADA DE BAJA TENSIÓN

La Sección de Mantenimiento de B.T. y Alumbrado Público del Distrito Centro, quién hace poco absorbió la Unidad de Mantenimiento de la Red Mallada de B.T., en un esfuerzo por optimizar sus recursos ha decidido realizar los cambios necesarios para mejorar la Gestión de Mantenimiento de la Red Mallada. Por ello se realizó una evaluación de esta gestión utilizando como herramienta el método cuantitativo que se propone en la Norma Venezolana COVENIN 2500-93: "Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria". Para llevar a cabo esta evaluación se realizó una reunión con la gerencia y el personal de mantenimiento, con la finalidad de que todos los tópicos presentados por la Norma fueran examinados desde el punto de vista Administrativo y Técnico.

La evaluación está dividida en 12 áreas, cada una se analiza y evalúa por separado de acuerdo a varios tópicos indicados en la Norma, para finalmente calcular la puntuación porcentual global de efectividad. La ficha de evaluación correspondiente a esta evaluación se muestra en el anexo III. A continuación se exponen los resultados individuales de cada una de estas áreas y el resultado global:

ÁREA I. Organización de la empresa.

En esta área la empresa obtuvo un total de 150 puntos de un máximo obtenible de 150, lo cual representa un 100 % de efectividad.

ÁREA II. Organización de mantenimiento.

En esta área la Unidad de Mantenimiento obtuvo un total de 140 puntos de 200, lo que corresponde a un 70 % de efectividad. A continuación se muestran los tópicos que llevan a este resultado:

- Las funciones y la correspondiente asignación de responsabilidades no están del todo claramente definidas dentro de la unidad.

- La Unidad de Mantenimiento no cuenta con el personal suficiente en calificación, para cubrir las actividades de mantenimiento.

- Falta de un sistema de información que le permita a la Unidad de mantenimiento manejar los datos referentes a sus actividades de mantenimiento.

ÁREA III. Planificación de mantenimiento

En esta área la Unidad de Mantenimiento obtuvo un 37,5 % de efectividad. Los deméritos más relevantes en la planificación de mantenimiento son:

- No se encuentran definidos los objetivos y las metas que debe cumplir la Unidad de mantenimiento.

- La Unidad de Mantenimiento no posee un plan donde se especifiquen detalladamente las necesidades reales y objetivas de mantenimiento para los diferentes objetos a mantener.

- La unidad de mantenimiento no tiene un inventario técnico completo y actualizado de los objetos a mantener.

ÁREA IV. Mantenimiento rutinario

Este tipo de mantenimiento NO APLICA debido a que los elementos que operan en la red mallada no ameritan un mantenimiento rutinario.

ÁREA V. Mantenimiento programado

En esta área hay un incumplimiento total de todos los principios detallados en la Norma, arrojando una efectividad del 0 %. Los deméritos más relevantes son los siguientes:

- Falta de información para la elaboración de instrucciones técnicas de mantenimiento programado.
- No existen estudios previos que conlleven a la determinación de las cargas de trabajo y ciclos de revisión de los objetos de mantenimiento.
- No se tiene un procedimiento para la implantación de los planes de mantenimiento programado.

ÁREA VI. Mantenimiento circunstancial

Este tipo de mantenimiento NO APLICA debido a que la red mallada *no opera* de *manera alterna*, sino en forma continua los 365 días del año.

ÁREA VII. Mantenimiento correctivo

Esta es una de las áreas en la cual la Unidad de Mantenimiento le asigna la mayor cantidad de recursos, sin embargo su efectividad de acuerdo a esta evaluación es baja (44 %), debido principalmente a las deficiencias que existe en la programación e implantación del mantenimiento correctivo. Para poder solventar esta situación es necesario solucionar estas debilidades:

- No se tiene establecida la programación de ejecución de las acciones de mantenimiento correctivo.

- Déficit de personal capacitado para realizar labores de mantenimiento correctivo.

- No existen mecanismos de control periódicos que señalen el estado y avance de las operaciones de mantenimiento correctivo.

- No se llevan registros del tiempo de ejecución de cada operación.

ÁREA VIII. Mantenimiento preventivo

El porcentaje de efectividad que se obtuvo en esta área fue de 24 %, lo cual nos indica el poco desarrollo que tiene este tipo de mantenimiento en la Unidad. Las deficiencias más significativas son las siguientes:

- Falta de planes y políticas para la programación de mantenimiento preventivo.

- La unidad no cuenta con fichas o tarjetas normalizadas donde se recoja la información técnica básica de cada objeto de mantenimiento inventariado.

- No se tienen estudios estadísticos para determinar la frecuencia de las revisiones y sustituciones de piezas claves.

- Las labores de mantenimiento preventivo no son programadas y se ordenan de forma oral.

ÁREA IX. Mantenimiento por avería

En las labores de mantenimiento por avería se obtuvo una de las puntuaciones mas altas (76 %), destacándose la impecable actuación de la Unidad de Mantenimiento con respecto a "Atención a las fallas". Sin embargo, existen algunas debilidades en otros tópicos como:

- No existen procedimientos que permitan recopilar la información sobre las fallas ocurridas, de manera que permita la evaluación del mantenimiento por avería basándose en los recursos utilizados y su incidencia en el sistema productivo, así como la comparación con los demás tipos de mantenimiento.

- La unidad no cuenta con el personal capacitado para el análisis y procesamiento de la información sobre fallas.

ÁREA X. Personal de mantenimiento

Esta área es muy importante, ya que el éxito de una gestión de mantenimiento depende en gran parte de sus recursos humanos. La evaluación dio como resultado un total igual a 120 de 200, arrojando un 60 % de efectividad. Las deficiencias más relevantes en esta área son las siguientes:

- El número óptimo de personas que se requieren en la Unidad de Mantenimiento, no está determinado de acuerdo a las necesidades de la programación de las actividades de mantenimiento.

- No se tienen programas de formación del personal orientados a cubrir el déficit de personal técnico calificado en algunas de las áreas que labora la Unidad de Mantenimiento.

ÁREA XI. Apoyo logístico

La Unidad de Mantenimiento cuenta con apoyo administrativo, gerencial y general, los cuales son muy importantes para el logro de los objetivos trazados, es por ello que la puntuación en esta área es de 100 %.

ÁREA XII. Recursos

En esta área la Unidad de Mantenimiento tiene un 83,33 % de efectividad, sin embargo existen algunos puntos que hay que solventar, estos son:

- No se cuenta con los equipos y herramientas necesarios para que el personal de mantenimiento opere con efectividad.

- No se cuenta con los repuestos que se requieren para ejecutar las tareas de mantenimiento.

- No se conocen los mínimos y máximos para cada tipo de repuestos.

RESULTADO GLOBAL

- La evaluación arrojó como resultado global una efectividad de **53,5 %**. Esto se debe principalmente a las deficiencias que presenta la Unidad de Mantenimiento en las áreas de planificación de mantenimiento, mantenimiento programado y preventivo.

- Además, se puede observar que esta evaluación (ver anexo III), también revela serias deficiencias en las materias de Planificación, Programación y Sistemas de Información, puntos muy importante dentro de una organización de mantenimiento. Ya que, la Planificación y Programación de los trabajos de mantenimiento son las bases para alcanzar una mayor productividad de la mano de obra; y el Sistema de Información permite manejar óptimamente toda la información referente a mantenimiento (registro de fallas, programación de mantenimiento, estadísticas, costos, información sobre equipos, u otra) de una manera fácil y relativamente económica.

- Con respecto al mantenimiento programado, realmente en la Unidad de Mantenimiento se desconoce totalmente esta área, lo cual implicaría que el primer paso para solventar esta situación sería realizar estudios preliminares para determinar la factibilidad de la aplicación de este tipo de mantenimiento.

CAPITULO VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se presentan las siguientes áreas de interés:

6.1.- ANÁLISIS DE FALLAS EN LOS PROTECTORES DE RED

La mayoría de las fallas que ocurren en los protectores de red son del tipo progresiva, por lo tanto el protector pasa por un proceso de degradación, hasta que se origina la pérdida parcial o total de sus características de funcionamiento. Las fallas que se presentan en los protectores y sus causas se muestran en el diagrama causa-efecto en el anexo IV.

De las fallas más frecuentes se puede decir lo siguiente:

6.1.1.- FALTA DE HERMETICIDAD

Esta se debe en la mayoría de los casos al mal cierre de la tapa de la caja del protector, ya que gran parte de los interruptores que presentaron esta falla contaban con una empacadura en buen estado. Esta falla conlleva a que los protectores de red presenten filtraciones frecuentes, debido a la presencia de agua y otras sustancias en los sótanos, el cual produce con el tiempo el deterioro general del equipo. Esta situación puede evitarse al realizar la prueba de hermeticidad cada vez que se abra la carcasa del protector[2]. En la foto Nº I.12 de los anexos, se muestra el grado de deterioro que alcanzan los protectores de red MG-13A, debido a la falta de hermeticidad en su carcasa.

6.1.2.- CICLOS DE BOMBEO

Se define como la operación completa de cierre y disparo del protector de red, y se origina debido a:

6.1.2.1.- AJUSTE INCORRECTO DEL RELÉ

[2] Ver Prueba de Hermeticidad en la pag. 48 del Manual de Procedimientos de Mantenimiento, anexo VI.

Es la causa más común, cuando el relé de fase electromecánico permite cerrar con un retrazo en el voltaje de fase. El flujo de potencia resultante es en la dirección inversa, en consecuencia el ciclo de bombeo se establece. En el caso del relé de fase de estado sólido, este es menos vulnerable a un ajuste incorrecto.

6.1.2.2.- CONDICIONES TRANSITORIAS EN EL SISTEMA MALLADO

Lo que origina que el protector de red se dispare y cierre muchas veces en corto tiempo.

6.1.2.3.- FALLA EN EL FRENO MECÁNICO DEL MOTOR DE CIERRE

La causa más común es cuando el freno mecánico del motor de cierre de dos conductores, tiene algún defecto que impide el cierre adecuado del interruptor. Se manifiesta de manera tal que cuando se intenta cerrar resulta un disparo inmediato. En este caso, las condiciones de voltaje del sistema podrán ser correctas para un cerramiento apropiado. De esta manera se establece el ciclo de bombeo.

El efecto neto del bombeo es el aumento de la temperatura del motor en cada ciclo seguido, al punto tal que falla el aislamiento y se desarrolla un corto circuito en el bobinado del motor.

6.1.3.- NO CIERRA EL PROTECTOR DE RED

Es causada principalmente por problemas en el mecanismo de cierre del protector, el cual se debe al propio desgaste y deterioro[3] que experimentan las piezas del mecanismo y al vencimiento de la vida útil de la bobina de disparo o del motor de cierre.

6.1.4.- NO ABRE EL PROTECTOR DE RED

Sus principales causas son el vencimiento de la vida útil de la bobina de disparo y el resorte de aceleración.

[3] debido a las constantes filtraciones que presentan algunos equipos

6.1.5.- SOBRECALENTAMIENTO

Se debe principalmente a la presencia de contactos sucios y deteriorados.

6.1.6.- EL MECANISMO FALLA AL ENGANCHAR

En la mayoría de los casos la causa que origina esta falla es el vencimiento de la vida útil del resorte de la articulación de disparo.

6.2.- RESULTADOS DE LAS INSPECCIONES REALIZADAS EN LOS ÚLTIMOS MESES

Revelaron el gran deterioro que han alcanzado algunos equipos, como también las buenas condiciones en que se encuentran gran parte de la población inspeccionada.

6.3.- CAUSAS DE FALLA RAÍZ EN LOS PROTECTORES DE RED

De acuerdo a estos resultados podemos inferir que las causas de falla raíz en los protectores de red son: ***desgaste o vencimiento de la vida útil de algunos de los componentes del equipo y* la *falta de un plan de mantenimiento preventivo***, esta última a conducido al deterioro acelerado de los protectores de red, hasta tal punto que estos equipos empiezan a operar erráticamente o definitivamente dejan de funcionar. Esto es ratificado por los datos correspondientes a la data de fallas estudiada anteriormente (ver gráfica N° II.3, anexos), el cual reporta que el 44 % de los protectores de red atendidos por falla ameritaron un chequeo y mantenimiento general, además de la desincorporación de seis (6) protectores por deterioro general de los mismos.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de *reducir el número de fallas a causa de la falta de un plan de mantenimiento preventivo, de manera que el costo total asociado con el esfuerzo requerido sea lo más bajo posible.*

6.4.- AUMENTO DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LOS PROTECTORES DE RED

El aumento de los costos de operación de los protectores de red se debe a la falta de un mantenimiento adecuado y a la obsolescencia de los mismos, por lo tanto la efectividad de operación y de las labores de mantenimiento de estos equipos se ven afectadas por estas razones.

6.4.1.- FALTA DE UN MANTENIMIENTO ADECUADO

La Unidad de Mantenimiento no cuenta con plan de mantenimiento preventivo, lo que ha originado el desgaste acelerado y el deterioro general de los protectores. Esto contribuye a que la rata de fallas de los protectores de red aumenten significativamente.

De acuerdo a la información proporcionada por Cutler-Hammer, quién es actualmente el líder mundial en la fabricación de protectores de red, estos interruptores que operan en la red mallada pueden tener una vida útil de mas de 15 años. Como aproximadamente el 89 % de la población de estos equipos supera este tiempo, el mantenimiento de los protectores amerita que se tomen acciones eficientes y oportunas de manera de no incurrir en costos de mantenimiento elevados.

6.4.2.- OBSOLESCENCIA DE LOS PROTECTORES DE RED

La falta de repuestos debido a la obsolescencia de los modelos de protector de red MG-13A y MG-8, dificulta cualquier labor de mantenimiento y en algunos casos ha llevado a la desincorporación de protectores, lo cual representa un costo alto para la Unidad. La mayoría de los repuestos que se obtienen actualmente para estos modelos provienen de interruptores de chatarra, y en el caso del motor de cierre, este es recuperado al ser rebobinado.

Por ello es necesario contar con estadísticas, que nos permitan prever oportunamente las fallas en los equipos, y con procedimientos de mantenimiento para así optimizar las labores de

mantenimiento.

6.5.- GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

De acuerdo a la evaluación realizada en el apartado 5.2, es necesario solventar las debilidades que presenta la Unidad de Mantenimiento, como por ejemplo en las áreas de planificación y programación, ya que de esta forma creamos las bases para la aplicación de un mantenimiento preventivo óptimo.

También es necesario que la gerencia implemente políticas de adiestramiento a largo plazo, ya que esta es una de las deficiencias de mayor importancia que enfrenta actualmente la Unidad.

CAPITULO VII. PROPUESTAS DE MEJORA

Las propuestas de mejora que se presentan en este trabajo, vienen a solventar en gran parte las deficiencias en la gestión de mantenimiento de la red mallada de B.T. y la problemática de los protectores de red. Como la Unidad también tiene a su cargo el mantenimiento de los materiales que conforman esta red, sería muy costoso para la empresa hacer mantenimiento en los sótanos y casillas mallados, y solo atender a los protectores de red. Por lo tanto, gran parte de las propuestas planteadas incluyen los materiales de B.T. que se encuentran en estos sótanos y casillas.

A continuación se muestran las propuestas de mantenimiento:

7.1.- PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

El plan de mantenimiento propuesto contempla actividades de mantenimiento preventivo, y su objetivo principal es reducir los costos de operación de la red mallada. Esta reducción de costos se deberá principalmente al cumplimiento de la gran parte los objetivos específicos de la función de mantenimiento:

- Optimizar la disponibilidad de equipos y materiales.
- Incrementar la vida útil de los equipos.
- Maximizar el aprovechamiento de los materiales y recursos humanos disponibles.
- Reducción de los costos por reparación y sustitución de los equipos.

7.1.1.- ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Para llevar a cabo el plan de mantenimiento propuesto es necesario:

7.1.1.1.- INVENTARIO TÉCNICO DE LOS EQUIPOS Y MATERIALES

Para poder realizar la planificación del mantenimiento, es necesario contar con un inventario técnico completo y actualizado de los protectores de red y materiales, por lo tanto la Unidad de Mantenimiento necesita continuar con las inspecciones hasta completar las mismas. Los datos correspondientes al protector de red y los materiales de una misma ubicación y PD deberán recopilarse en una sola *Hoja de Levantamiento de Información* de manera de tener resumida toda la información (ver formato N° V.1, anexos).

A partir del inventario de la red mallada se elaborará para cada uno de los bienes una hoja o tarjeta que se llamará *Registro*, la cual contendrá los datos vitales de cada uno de ellos. Esta tarjeta recoge de una forma conveniente y concisa, todos los detalles esenciales de estos bienes de manera tal que se disponga fácilmente de la información. Además, este último formato contendrá información adicional al levantamiento, como la lista de repuestos y lubricantes necesarios para cada bien. Toda esta información pasará entonces a formar parte del inventario técnico de la red mallada.

En el caso de los protectores de red, la Hoja de Registro propuesta se muestra en el anexo V.

7.1.1.2.- REGISTRO HISTÓRICO

Como se ha mencionado antes el objetivo principal de un plan de mantenimiento efectivo es la reducción de los costos, una forma de controlar los mismos es llevando una historia o registro de los equipos y materiales. Este debe contener: en primer lugar, la relación de las reparaciones y el mantenimiento preventivo de cada equipo y material, en segundo lugar tipo de falla y su costo.

Estos datos permiten: conocer el funcionamiento de cada equipo, se puede saber cuando reemplazar un equipo o material debido al deterioro de su condición actual; igualmente puede detectarse qué averías se repiten o si hay reparaciones frecuentes debidas a la misma causa; el costo de mantenimiento preventivo de los bienes a mantener; la fecha en el cual falló el bien y

la fecha de arranque; información básica para determinar el tiempo entre fallas y tiempo fuera de servicio del bien o del sistema.

Toda esta información se lleva a una hoja llamada Registro Histórico de los Equipos y Materiales, tanto para mantenimiento preventivo como el correctivo (ver formato Nº V.3 y V.4, anexos).

7.1.1.3.- ORDEN DE TRABAJO

Todo sistema de trabajo debe estar soportado por instrumentos que permitan medir la eficiencia del sistema al final de cada gestión, esto con la finalidad de verificar que este se adecua a las necesidades de la empresa sin pasar por alto ninguna de las variables para las cuales fue creado.

Tomando en cuenta todo esto, se diseñó un formato que llamaremos "Orden de Trabajo" y su objetivo es el ser un medio de control, planificación y programación de las actividades de mantenimiento. La información que recoge la Orden de Trabajo, permitirá a la Unidad llevar un estricto control de las fallas que se presentan en la red mallada, conocer los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo ejecutados, los recursos utilizados (materiales, repuestos y Horas / hombre) y la fecha de ejecución del trabajo, así como también saber quiénes realizaron el trabajo y quien lo supervisó.

Los beneficios que pueden obtenerse al utilizar la Orden de Trabajo son los siguientes:

- Conocer los tiempos y el costo de los trabajos de mantenimiento que se ejecutan.
- Proyectar o dimensionar los requerimientos futuros.
- Obtener una mayor efectividad del sistema de mantenimiento.
- Determinar el rendimiento del personal.

La Orden de Trabajo desarrollada en este trabajo (ver formato N° V.6, anexos), se obtuvo mediante el análisis detallado de las ordenes de trabajo de diversas empresas, así como de las presentadas por distintos libros de texto, esto con la finalidad de no pasar por alto ninguna variable de importancia.

7.1.1.4.- MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO

El manual de mantenimiento proporciona una base estándar para el adiestramiento del personal nuevo y del ya existente. En él se describirá *las normas, la organización, las instrucciones técnicas de mantenimiento y los procedimientos de ejecución de mantenimiento* para los diferentes equipos y materiales.

Su implementación ofrece varias ventajas directas e indirectas:

- **Ventajas directas:**
  - Elimina la duplicación de esfuerzos.
  - Elimina la interferencia de responsabilidades.
  - Establece un mecanismo de control para la administración.
  - Satisface las necesidades de mantenimiento con costos decrecientes.
  - Disminuye los costos de adiestramiento y re-adiestramiento.
- **Ventajas indirectas:**
  - Incrementa el prestigio de mantenimiento.

- Facilita la base para la evaluación de mantenimiento.

- Proporciona una base para un mejor entendimiento entre el personal de mantenimiento y el resto del personal de la Unidad.

- Se tiende a eliminar al "*hombre indispensable*" en la organización de mantenimiento.

Es importante reforzar la diferencia entre las instrucciones técnicas de mantenimiento y los procedimientos de ejecución de mantenimiento. Las instrucciones técnicas constituyen una lista de acciones de mantenimiento a ejecutar sobre cada objeto de mantenimiento, en cambio, los procedimientos de ejecución son un complemento de lo anterior, ya que describen los pasos a seguir en la ejecución de cada una de las instrucciones técnicas.

El manual de procedimientos que se presenta en este trabajo es solo para los Protectores de Red (ver anexo VI), y para su elaboración fue necesario estudiar los manuales de operación de cada uno de los modelos de los protectores de red y realizar entrevistas con el personal. De los manuales de operación, se extrajo la información más relevante en lo que respecta a las actividades de mantenimiento recomendadas por el fabricante, haciendo énfasis en los siguientes puntos: inspección, ajuste, lubricación y limpieza. Luego, se llevó a cabo entrevistas con el personal de mantenimiento, para conocer las rutinas de mantenimiento que se realizan actualmente en cada uno de los equipos, y los procedimientos para la ejecución del mantenimiento, para así afianzar aun más la información.

7.1.1.5.- PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Empieza con un análisis de los datos que han sido proporcionados y sobre esa base se puede delinear un esquema para la utilización de los recursos de la empresa, de modo que los objetivos deseados puedan conseguirse más eficientemente.

La planificación de mantenimiento se divide en tres áreas básicas:

El propósito principal de una planificación de largo alcance es conservar al día los objetivos, políticas y procedimientos de mantenimiento, a efecto que todos éstos se hallen de acuerdo con los fines de la empresa. En esta área se hará una proyección de dos factores específicos que son de suma importancia para la organización, ellos son:

- Los cambios en el equipo de mantenimiento, ya que existe una necesidad constante de seguir adiestrando personal para las actividades venideras, de manera que la Unidad de Mantenimiento esté preparada ante los nuevos retos.

- Los cambios en los equipos por obsolescencia, la creciente necesidad de automatización y otros perfeccionamientos tecnológicos.

- **A corto plazo**

Corresponde a una planificación de un año, y esta asociada íntimamente al presupuesto anual. Hay tres fases básicas en esta planificación, las cuales son: instalación de equipo nuevo, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.

- **Mantenimiento cotidiano**

Es uno de los instrumentos eficaces para la prevención de pérdidas de tiempo y dinero. Este debe hacerse por el planificador y supervisor de mantenimiento, el mismo contempla la planificación de las actividades diarias como lo son: asignación del trabajo de mantenimiento a las cuadrillas y prever las necesidades de materiales y repuestos.

7.1.1.6.- PROGRAMACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Consiste en especificar cuándo en términos de tiempo se realizará el mantenimiento a cada bien. Su propósito principal es establecer el programa de trabajo:

- Para asegurar que no omita ningún bien a mantener o trabajo de mantenimiento.

- Para asegurar que el mantenimiento que se requiere se lleve a cabo con la frecuencia que se especifica.

- Para ayudar en la planificación, compra de repuestos, necesidades de mano de obra, bases para el control presupuestario.

- Para formular planes de trabajo semanales, planear la disponibilidad de mano de obra y repuestos.

En este caso, los tipos de trabajos a programarse son de mantenimiento preventivo, sin embargo pudiese incluirse también trabajos de mantenimiento programado, pero eso dependerá de los materiales de B.T. que se encuentran en los sótanos y casillas mallados, ya que para los protectores de red no aplica este tipo de mantenimiento.

Para que estas programaciones sean efectivas se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Distribuir el trabajo a realizar en periodos anuales. Luego ir detallando los planes en periodos mas cortos, de forma de poder integrar las programaciones diarias y semanales a los planes a mediano plazo que tenga la Unidad de mantenimiento.

- Tratar de emplear la menor cantidad de sobre tiempo posible, pues esto aumenta los costos.

- Realizar estudios de métodos con el fin de establecer mejores procedimientos para realizar los trabajos.

- Rediseñar aquellos equipos y materiales que lo ameriten para facilitar las inspecciones así como tratar en lo posible de proveer a los trabajadores de mejores herramientas e instrumentos de prueba.

En el programa de mantenimiento preventivo para los protectores de red y los materiales de B.T. (ver anexo VII) se ilustra un programa para un año y una frecuencia inicial de 6 meses. Esta frecuencia podrá ajustarse a las necesidades reales de mantenimiento de los bienes, mediante el análisis de las experiencias de las programaciones posteriores y de la data de fallas.

Luego, la unidad de mantenimiento hará programaciones semanales de manera de conocer y poder distribuir las ordenes de trabajo de mantenimiento preventivo en las cuadrillas disponibles en esa semana.

7.1.1.7.- ESTIMACIÓN DE LAS HORAS/CUADRILLAS NECESARIAS PARA CUMPLIR CON EL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Sabemos por el personal técnico de la Unidad, que el tiempo necesario para realizar el mantenimiento preventivo de los protectores de red es mayor a la que se pueden llevar los materiales de B.T., y que estas actividades se pueden realizar simultáneamente, por lo tanto el tiempo máximo necesario para la ejecución del mantenimiento preventivo a los bienes de B.T. de los sótanos mallados es igual al tiempo necesario para realizar todas las rutinas al protector.

Teniendo esto presente se muestran los pasos a seguir para calcular las Horas/cuadrillas necesarias para realizar el mantenimiento preventivo a todos los bienes de B.T. por un año:

- De las Instrucciones Técnicas de Mantenimiento Preventivo de los protectores de red, se extrae el tiempo y la frecuencia de cada rutina.

- Estos tiempos se multiplica por su correspondiente frecuencia, y luego se suman todos estos resultados. El resultado general representa el tiempo total necesario para ejecutar el mantenimiento a un solo protector.

- Finalmente, se multiplica este último dato obtenido por el numero total de protectores de red.

Es importante recalcar que a estas Horas/cuadrillas obtenidas, hay que sumarle un tiempo por traslado del personal hacia el sitio y otro por achique del sótano (en caso de que tenga agua), sin embargo esto no es fácil de calcular debido a que intervienen muchos factores, por lo tanto un método práctico y económico consiste en realizar un ajuste a este tiempo calculado, el cual la magnitud de este ajuste lo dirá la experiencia del planificador o del gerente de mantenimiento.

Para poder realizar el estudio de tiempo de las rutinas de mantenimiento de los protectores de red, es necesario adiestrar el personal en la ejecución de las mismas lo cual escapa de los objetivos de este estudio, además necesita contar con todos los equipos necesarios, como por ejemplo el equipo de prueba trifásico portátil, por lo tanto para este estudio se tomara un tiempo promedio estimado de 3,0 horas/protector.

Utilizando este último dato se calcula las horas/cuadrilla requeridas por el plan de mantenimiento:

Horas/cuadrilla por mantenimiento preventivo = 3,0 horas/protector x 2 (frecuencia por año de las rutinas) x 384 (población total estimada de los protectores de red) = 2.304

El número de cuadrillas requeridas para el mantenimiento preventivo =

$$\frac{Horas\ /\ Cuadrillas\ requeridas}{Horas\ hábiles\ por\ año} = \frac{2304}{236\,\frac{días}{año} \times 7\,\frac{horas}{día}} \approx \mathbf{2\ cuadrillas}$$

De manera de información, las Horas/cuadrillas totales de mantenimiento por año y el número de cuadrillas necesarias en el año se calcula como sigue:

- *Horas/cuadrillas totales:* Horas/cuadrillas por mantenimiento preventivo + Horas/cuadrillas por mantenimiento correctivo + Horas/cuadrillas por mantenimiento por avería

- $\textit{Número de cuadrillas}: \dfrac{\textit{Horas / Cuadrillas totales}}{\textit{Horas hábiles por año}}$

7.1.1.8.- IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL

El control permitirá saber las desviaciones entre lo planificado y lo realizado, buscando las causas que la motivaron, así como la causa general que ha influido en la obtención de los resultados, de manera que sean corregidas a medida en que ello sea posible.

El Sistema de Control consiste en las actividades estandarizadas para la obtención de la información necesaria para la elaboración de informes que contengan:

- Relación de avance de los trabajos en ejecución y trabajos terminados.

- Número de ordenes recibidas.

- Número de ordenes terminadas.

- Número de ordenes pendientes.

- Horas/cuadrillas no efectivas y sus causas.

- Recursos utilizados.

- Índices de control.

7.2.- ORGANIGRAMA DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

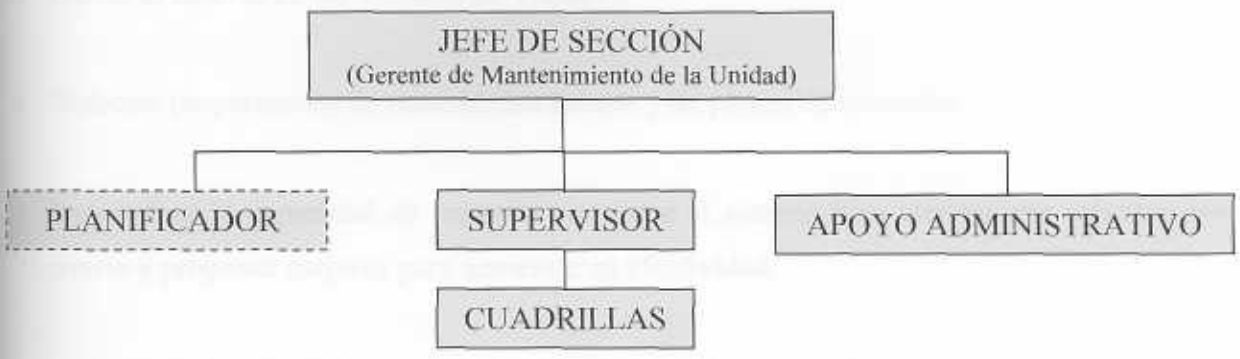

Figura Nº 13. Organigrama propuesto a la Unidad de Mantenimiento de la Red Mallada de B.T. del Distrito Centro.

Para poder cumplir con el objetivo principal del plan de mantenimiento propuesto, es necesario crear un nuevo cargo dentro de la organización de mantenimiento llamado "Planificador" (ver figura Nº 13). El nuevo miembro sería una pieza clave dentro de la Unidad de Mantenimiento de la Red Mallada de B.T. del Distrito Centro, y vendría a subsanar muchas de las debilidades que se presentan actualmente en esta Unidad. Sus funciones serían:

- Determinar las necesidades de material, equipos, herramientas y personal contratado.
- Llevar el registro histórico de los equipos y materiales que operan en la red mallada.
- Realizar análisis de actuación y análisis técnico de fallas, y proyecciones del costo y demanda.
- Realizar estudios para determinar la mejor secuencia o itinerario para la ejecución de las actividades de mantenimiento.

- Elaborar el plan de mantenimiento preventivo.

- Programar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

- Llevar el control de las Ordenes de Trabajo.

- Elaborar proyecciones de necesidades futuras y de planes de inversión.

- Determinar la capacidad de repuesta que tiene el sistema para atender una solicitud por avería y proponer mejoras para aumentar su efectividad.

- Determinar las previsiones que hay que tener en algunos reglones (repuestos y materiales) para evitar la paralización de las actividades de mantenimiento.

- Elaborar informes mensuales y anuales sobre los trabajos realizados y recursos utilizados.

- Elaborar el material que indique los resultados de la gestión, con miras a servir como control de objetivos y dirigida a la gerencia de la organización, para que tomen las decisiones mas adecuadas que permitan optimizar el sistema total.

7.3.- ESTANDARIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Se diseñaron varios flujogramas para el proceso de trabajo de la Unidad de Mantenimiento con el objetivo principal de estandarizar y simplificar las operaciones de mantenimiento, de manera de obtener una mayor efectividad del sistema total de mantenimiento.

Los flujogramas de trabajo pueden verse en la pag. 4 del Manual de Procedimientos (ver anexo VI), para diseñarlos se realizó el estudio del proceso de trabajo vigente en la Unidad, y luego se hicieron algunas mejoras, con la novedad de que se muestran las funciones del "PLANIFICADOR", presentado en el apartado anterior como una pieza clave para alcanzar la optimización de los recursos.

7.4.- INDICADORES DE CONTROL DE MANTENIMIENTO

Su uso permite a la Unidad de Mantenimiento tener un señalamiento del comportamiento o de la efectividad del sistema total. Específicamente, los indicadores se emplean con la finalidad de llevar a cabo un seguimiento de las variables de las actividades de mantenimiento (costos, trabajo realizado, etc.), conocer si el plan de mantenimiento está cumpliendo con los objetivos propuestos y nos ayudan a ubicar las fallas en el sistema de mantenimiento para luego poder ejecutar las medidas correctivas necesarias.

Para obtener los indicadores que más se adecuan a las necesidades del mantenimiento de la red mallada se realizó una selección de los propuestos en los libros de textos y en la Norma Venezolana COVENIN 3049-93: "Mantenimiento. Definiciones".

Los indicadores de control de mantenimiento propuestos se muestran en el anexo VIII.

CAPITULO VIII. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN PROPUESTAS

8.1 ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN

Para poder mejorar la confiabilidad y la disponibilidad de los protectores de red, se proponen las siguientes alternativas de inversión técnicamente viables:

- Plan de mantenimiento propuesto
- Repotenciación de los protectores de red modelo MG-8, mediante el reemplazo de los relés electromecánicos (relé principal tipo CHN20A y relé de fase CHL15A), por el relé electrónico MPCV-GE.
- Sustitución de los protectores de red modelos MG-13A y MG-8.

A continuación se divide el estudio en dos áreas:

8.1.1.- ANÁLISIS TÉCNICO

- **Plan de mantenimiento propuesto**

Permite la reducción de la tasa de fallas y de factores de desgaste y deterioro en los equipos, además de garantizar el buen funcionamiento de los protectores de red por el resto de su vida útil. Como se menciono anteriormente en el análisis de resultados, de la falta de mantenimiento preventivo se derivan casi en su totalidad las causas que originan las fallas que se presentan en el protector de red, por lo tanto se considera la aplicación del plan propuesto como una de las opciones de inversión de mayor importancia.

- **Reemplazo de los relés electromecánicos de los modelos MG-8 por el relé de estado sólido MPCV-GE.**

Los beneficios del relé electrónico versus el relé electromecánico son:

- El relé modelo MPCV-GE, controlado por un microprocesador, puede ser calibrado en el centro de servicios o en el campo. Los relés electromecánicos tienen que ser calibrados en el campo bajo las influencia del sistema eléctrico en la que ellos operarán.

- El relé modelo MPCV-GE esta basado en una secuencia mientras que los relés electromecánicos están basados en potencia. Esto significa que durante una condición de falla en donde el voltaje disminuya, la corriente no tendrá que aumentar proporcionalmente para obtener una orden de disparo del relé basado en secuencia.

- La secuencia mejorada de filtrado de algoritmo provee un funcionamiento y estabilidad excepcional, dentro de una amplia variedad de temperaturas y voltajes, en comparación con el algoritmo basado en potencia.

- Las partes del relé electromecánico son difíciles de conseguir ya que actualmente ninguna fabrica las hace.

- Los relés electromecánicos se llevan más tiempo en mantenimiento por calibración y fijar el punto correcto, en cambio el relé MPCV-GE puede calibrarse y fijar el punto correcto fácilmente con el pendant portátil o con un software propio elaborado para ello.

- El relé modelo MPCV-GE les da a los clientes más versatilidad que el relé electromecánico debido a que el relé MPCV-GE se puede programar con el pendant portátil. Por ejemplo, el relé MPCV-GE tiene opciones para curvas de cierre y características anti-bombeo, en cambio en el relé electromecánico esta basado en características fijas de diseño.

Además de las características del relé MPCV-GE anteriormente mencionadas, también se encuentra:

- Esta conformado por varias tarjetas de circuito que pueden ser reemplazadas, de manera de reducir sus costos de reparación.
- Acceso a información como: voltaje, corriente, factor de potencia, armónicos y últimos disparos.

Este relé electrónico viene a reducir las fallas presentadas en los protectores de red modelo MG-8 por ciclos de bombeo, por lo tanto esto implicaría reducir el número de motores de cierre quemados por esta causa. La importancia de esta repotenciación viene dada por la mejoría considerable de la efectividad de estos protectores.

Es importante recalcar que los relés disponibles en el mercado actualmente no son compatibles con el protector de red modelo MG-13A, es por ello que en este punto solo se considera la repotenciación del protector modelo MG-8.

- **Sustitución de los protectores de red modelos MG-13A y MG-8.**

Los modelos de protectores de red que sustituye a estos equipos son el CM-22 y CM-52 de Cutler-Hammer, los cuales vienen con un relé electrónico MPCV y tiene mejoras importantes en su interruptor. Las características mas relevantes de estos equipo nuevos es la flexibilidad que tienen para poder ser instalados en varias capacidades, y su construcción modular que facilita el mantenimiento en el terreno y/o reemplazo de las piezas de la unidad deslizable.

8.1.2.- ANÁLISIS ECONÓMICO

En este parte del trabajo se estudiará los diferentes escenarios que se presentan con las alternativas de inversión que se mostraron anteriormente para un periodo de 5 años. Estos son:

- **Continuar con la aplicación del plan de mantenimiento actual**

Se refiriere a seguir ejecutando las actividades de mantenimiento de la misma forma y con mismos los recursos disponibles hasta ahora, durante los cinco años en estudio.

- **Aplicación del plan de mantenimiento propuesto**

Consiste en poner en practica el plan de mantenimiento propuesto presentado en este trabajo durante los cinco años de estudio, por lo tanto implica disponer de los recursos necesarios para la aplicación del mismo, y el uso de las técnicas a las cuales se hizo referencia.

- **Aplicación del plan de mantenimiento propuesto y repotenciar los protectores de red modelo MG-8**

Contempla la aplicación del plan de mantenimiento propuesto durante los cinco (5) años, y repotenciación de todos los protectores de red modelo MG-8, los cuales se hará de la siguiente forma: 50 protectores en el primero y segundo año, y el resto (33) en el tercer año.

- **Aplicación del plan de mantenimiento propuesto y la sustitución de los protectores de red modelos MG-13A y MG-8**

La sustitución de estos protectores de red implicaría que la empresa tendría que invertir una gran cantidad de dinero, ya que el costo por ejemplo de un protector nuevo modelo CM-22 de 2000 Amp, sumergible, de 216Y/125 Voltios con relé MPCR-22 es de 27.000,00 $ en Miami. Por lo tanto, para realizar una inversión de tal magnitud es necesario realizar un estudio aún más complejo y con un horizonte mayor a 5 años, además de que la C.A. Electricidad de Caracas actualmente muestra una tendencia a eliminar gran parte de la red mallada, por lo tanto para una inversión como esta le corresponde a la alta gerencia de la empresa decidir si realizar planes de sustitución considerando aspectos integrales de la compañía como actualización tecnológica, eficiencia de los equipos, división y reestructuración de la red, etc., estudios que se escapan de los alcances del presente trabajo, debido a las variables a

considerar. Es por ello que esta alternativa se deja abierta para su posterior estudio por el personal de la empresa..

Los costos totales de mantenimiento anuales que implica la aplicación durante los cinco (5) años de cada una de las alternativas de inversión en los escenarios propuestos, se muestran en el anexo N° IX.2.

8.1.3.- SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE INVERSIÓN ÓPTIMA

Para ello se calculo el Valor Presente Neto VPN (ver anexo N° IX.3) de los datos correspondientes a los costos totales anuales para cada escenario en estudio, el cual origina los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 2.Valor presente neto de cada uno de los escenarios en estudio.

ESCENARIOS DE ESTUDIO		VPN (Bs.)
N°	DESCRIPCIÓN	
1	Plan de mantenimiento actual	719.813.564,00
2	Plan de mantenimiento propuesto	426.506.541,00
3	Plan de mantenimiento propuesto y repotenciar los protectores de red modelo MG-8	653.233.778,00

De la tabla anterior se verifica lo siguiente:

- Se observa que la alternativa N° 2 la cual corresponde al plan de mantenimiento propuesto es la de menor costo, y el ahorro que implica su aplicación con respecto a la N° 1, es de 293.307.023,00 Bs.
- El mayor costo corresponde a la alternativa N° 3, esto es debido a que durante los tres primeros años se realizarían inversiones grandes por adquisición de equipos nuevos, esta alternativa podría ser factible a largo plazo.

Por lo tanto *el plan de mantenimiento propuesto viene a ser la alternativa óptima*, ya que ofrece los mejores beneficios en el ámbito técnico y económico.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados de la investigación realizada, sobre la gestión de mantenimiento de la Unidad de Mantenimiento de la Red Mallada de Baja Tensión del Distrito Centro y del proceso de mantenimiento de los protectores de red, se concluye lo siguiente:

- De acuerdo a la evaluación realizada al sistema de mantenimiento de la red mallada de baja tensión mediante la aplicación del método propuesto por la Norma Venezolana COVENIN 2500-93: "Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria", la Unidad obtuvo un 53,5 % de efectividad, debido deficiencias en las materias de planificación, programación y control, y por el no desarrollo del área de mantenimiento programado. Como también reflejo fortalezas en las áreas de mantenimiento por avería, apoyo logístico y recursos.

- Del análisis de las fallas en los protectores de red, se infiere que las causas de falla raíz son: desgaste o vencimiento de la vida útil de algunos de los componentes del equipo y la falta de un plan de mantenimiento preventivo.

- El aumento de los costos de operación de los protectores de red se debe principalmente a la falta de un mantenimiento adecuado y a la obsolescencia de los mismos, por lo tanto la efectividad de operación y de las labores de mantenimiento de estos equipos se ven afectadas por estas razones.

- Debido a la obsolescencia de aproximadamente el 89 % de la población de los protectores de red y a la dificultad para detectar cuando estos equipos fallan, es fundamental contar con una estadística de falla que permita poder conocer el estado de los protectores y prever la misma, para luego aplicar las medidas correctivas necesarias de manera oportuna. Estas estadísticas permitirán también que la Unidad de Mantenimiento ajuste su presupuesto a las necesidades reales de la red mallada de baja tensión y optimice sus recursos. Es por ello, que en el presente trabajo se diseñaron todos los formatos para la recolección de toda la información necesaria para formar un registro histórico de los protectores de red.

- El plan de mantenimiento propuesto tiene como objetivo principal reducir los costos de operación de la red mallada, la cual esta reducción de costos se deberá principalmente al cumplimiento de la gran parte los objetivos específicos de la función de mantenimiento y a la optimización de los recursos disponibles. El mismo contempla actividades de mantenimiento preventivo tanto para los protectores de red como también para los materiales de B.T. que se encuentran en los sótanos o casillas mallados.

- Se encontró un déficit de personal técnico capacitado para llevar a cabo el mantenimiento de los protectores de red, lo que origina que la efectividad de mantenimiento se vea afectada.

- Se propone un nuevo cargo dentro de la organización de la Unidad de Mantenimiento llamado "Planificador", el cual es presentado como una pieza clave para el cumpliendo de los objetivos del plan de mantenimiento propuesto, además de que sus responsabilidades viene a cubrir vacíos dentro de la gestión, de manera de corregir debilidades importantes en las áreas de planificación, programación y control.

- Dentro de las alternativas de inversión consideradas, el plan de mantenimiento propuesto que presenta en este trabajo resultó como la alternativa óptima para elevar el nivel de confiabilidad y disponibilidad de los protectores de red, ya que ofrece mayores beneficios en el ámbito técnico y económico. En referencia a la parte económica la aplicación del plan propuesto, representa un ahorro con respecto al plan actual que se aplica en la Unidad de 293.307.023,00 Bs.

RECOMENDACIONES

Sobre la base de los estudios realizados y las conclusiones a las que se llegó en el presente trabajo, se formulan las siguientes recomendaciones:

- Realizar un preacondicionamiento de los protectores de red, el cual consiste en corregir las anomalías presentes y las fallas de cada uno de ellos, ya que es necesario elevar el nivel de los protectores de red hasta un estándar mínimo de mantenimiento de manera de llegar a un cierta condición de estabilidad antes de introducir técnicas de mantenimiento preventivo.

- Establecer programas permanentes que permitan el adiestramiento y readiestramiento del personal de mantenimiento.

- Estudiar la problemática actual sobre los materiales de B.T., de manera de poder ejecutar un plan de mantenimiento preventivo integral a los sótanos y casillas mallados.

- Estudiar la alternativa de adquirir equipo para el monitoreo de la condición y operación de los protectores de red, con el objetivo de ofrecer un mantenimiento preventivo que ayude a mejorar y alargar la vida útil de estos equipos.

- Realizar estudios de métodos con el fin de establecer mejores procedimientos para realizar los trabajos de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- ROSENBERG, R., *Reparación de Motores Eléctricos*, Volumen 1 y 2, 7ta. Edición, Editorial G. Gili, S.A., México, 1.991.

- ENRIQUEZ HARPER, Gilberto, *Líneas de Transmisión y Redes de Distribución de Potencia Eléctrica*, Volumen 2, Editorial Limusa, México, 1.978.

- ESPINOSA Y LARA, Roberto, *Sistemas de Distribución*, 1era. Edición, Editorial Limusa, México, 1.990.

- HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, *Metodología de la Investigación*, 2da. Edición, Editorial McGraw - Hill, México, 2000.

- RODRÍGUEZ, Francisco Javier y GOMEZ BRAVO, I , *Indicadores de Calidad y Productividad en la Empresa*, 2da. Edición, Fim Productividad, Venezuela, 1.992.

- NEWBROUGH, E.T., *Administración de Mantenimiento Industrial*, 12ª. Edición, Editorial Diana, México, 1.998.

- MAYNARD, *Manual del Ingeniero Industrial*, Tomo III, 4ta. Edición, Editorial McGraw – Hill, México, 1.998.

- Norma Venezolana COVENIN 3049-93: *Mantenimiento. Definiciones.*

- Norma Venezolana COVENIN 2500-93: *Manual para Evaluar los Sistemas de Mantenimiento en la Industria. 1era. Revisión.*

- *Instructivo de Operación para Interruptor Trifásico Aislado en SF6, Sumergible, Dos Vías, 15.5 k, 200 A*, DPD I-207-D-2B96, C.A. ELECTRICIDAD DE CARACAS.

- *Manaul de Seguridad Integral*, C.A. ELECTRICIDAD DE CARACAS.

- *Instructivo Manual en aceite (Tipo OFCO), Marca General Electric*, PDI I-209-D-1994, C.A. ELECTRICIDAD DE CARACAS.

- IEEE Std C57.12.44-1994, *IEEE Standard Requirements for Secondary Network Protectors*, USA, 1.994.

- *Automatic A-C Network Protector Types MG-8 and MG-9*, GEH-1808C, General Electric., USA.

- *Network Relays Types CAL15A, CAN11A and PYC13B*, GEI-13580D, General Electric., USA.

- *Network Protector Relays Types CHN20A and CHL15A*, GEK-33973A, *General* Electric, USA.

- *Network Relays, Types CAL16A and CAN 13A*, GEI-31090, General Electric., USA.

- *Automático de C.-A. Protector de Red Tipo MG-13-A*, GEI-38918, General Electric., USA.

- *CM-22 Network Protector Renewal Parts*, I.B.35-550F, Cutler-Hammer, USA, 1.987.

- *Instrucciones para Uso de Protectores de Red Tipo CMD de 1875 hasta 3000 Amperios*, I.B. 35-552F, Cutler-Hammer, USA, 1.995.

- *Instrucciones para Uso de Protectores de Red de gran Capacidad Tipo CM-22 de 800 a 3500 Amperios*, I.B. 35-500-IE, Cutler-Hammer, USA, 1.995.

- *Instructions for Cutler-Hammer Type MPCV Network Protection Relay*, I.B. 35-581B, Cutler-Hammer, USA, 1.997.

- *Instructions for Westinghouse Type MPCR (PHASE 5) Network Protector Relay*, I.B. 35-581A, Cutler-Hammer, USA, 1.989.

- *Commercial Spot Network Application Guide*, Cutler-Hammer, USA, 1.994.

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas