

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

FACULTAD DE ING. ELECTRICA

**REDES DE DISTRIBUCION AEREAS COMPACTAS EN
MEDIA TENSION**

PROYECTO DE TESIS

**Que para obtener el Titulo de
INGENIERO ELECTRICISTA**

Presenta

Mario Ayala Pérez

Asesor de Tesis

Ing. Victor Quintero Rojas

Agosto del 2009

Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos al profesor asesor Ing. Víctor Quintero Rojas, por su amistad, colaboración y apoyo incondicional que influyeron enormemente en el feliz término de este trabajo.

Deseo de igual manera agradecer a la profesora Ing. Ana María Maldonado Arceo por su apoyo encaminado a la buena presentación tanto oral como escrita de este trabajo.

Quiero agradecer también por su amistad y estímulo, al Ing. Gerardo Rodríguez Meza de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E) zona Uruapan, con quien buscamos inicialmente el aporte al tema desarrollado, y el cual me proporcionó información valiosa para el buen desarrollo de este tema.

De la misma forma, agradezco al Ing. Ramón Ávila Vázquez de la CFE zona Uruapan, por su apoyo en la recopilación de información que me permitió terminar en forma completa mi trabajo de tesis.

Dedicatoria

A mis padres, José Ayala Zacarías y Margarita Pérez Arévalo.

A mis hermanos, Guadalupe, Carlos, José y Gricelda.

Resumen

Se presenta en este trabajo un sistema de distribución de energía eléctrica en media tensión (13.2 kV), relativamente nuevo aquí en México. Es un sistema compacto que utiliza conductor semiaislado y no conductor desnudo como las redes de distribución convencionales, además emplea espaciadores que permiten la sujeción de los conductores y aislación del circuito para el transporte de energía. Se describen de manera detallada todos los componentes necesarios para su construcción, así como las características físicas y técnicas de cada uno de ellos.

Se muestran algunas pruebas de confiabilidad y resistencia realizadas a las redes de distribución compactas, así como los resultados obtenidos, los cuales nos permiten observar cuan seguro es este sistema comparado con el convencional. De igual manera se incluyen en este trabajo algunas tablas que reflejan costos de inversión inicial, de mantenimiento ya sea correctivo o preventivo, y por supuesto en nivel de seguridad que ofrece el sistema.

Se hace un análisis que nos permite conocer como ha sido el desempeño de las redes compactas dentro de la CFE, y los resultados que se han obtenido con su construcción.

Es un sistema compacto que viene a sustituir a las redes de distribución convencionales debido a las grandes ventajas que presenta ante ellas, ventajas que se mencionan y se justifican en este trabajo. Se indican los lugares o condiciones necesarias para la aplicación de este sistema de distribución de energía eléctrica.

Por último se detallan los problemas enfrentados durante la realización de la tesis, las conclusiones a las que se llegan con la implementación de este sistema en México y los trabajos que se pueden desarrollar más adelante tomando como base el contenido de este trabajo.

Contenido

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Resumen	iv
Contenido	v
Lista de figuras	x
Lista de tablas	xiii

Capítulo 1. Introducción.	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Justificación	3
1.4 Metodología	3
1.5 Contenido de la tesis	4

Capítulo 2. Historia de las redes de distribución compactas.	5
2.1 Historia	5
2.2 Antecedentes	6
2.3 Experiencia operativa	8

Capítulo 3. Redes de distribución aéreas compactas.	11
--	-----------

3.1 Definición	11
3.2 Accesorios utilizados para su construcción	12
3.2.1 Accesorios poliméricos	12
3.2.1.1 Anillo de silicona	12
3.2.1.2 Espaciador polimérico	13
3.2.1.3 Aislador orgánico de perno fijo para 15 kV	14
3.2.1.4 Brazo antibalanceo	15
3.2.1.5 Grapa de retención polimérica	16
3.2.1.6 Preformado plástico	16
3.2.2 Herrajes	17
3.2.2.1 Herraje tipo “L”	17
3.2.2.2 Estribo para herraje tipo “L”	18
3.2.2.3 Herraje tipo “C”	19
3.2.2.4 Herraje auxiliar brazo tipo “C”	20
3.2.2.5 Soporte brazo antibalanceo	21
3.2.3 Preformados metálicos	21
3.2.3.1 Retención preformada	21
3.2.3.2 Varilla de protección	22
3.2.3.3 Atadura metálica	22
3.3 Ensayos a los materiales poliméricos	22
3.3.1 Ensayo de tracción al espaciador	22
3.3.2 Ensayo de tracción al brazo antibalanceo	23
3.3.3 Ensayo de flexión al brazo antibalanceo	23
3.3.4 Ensayo de tracción y elongación a rotura del anillo de silicona	24
3.4 Características de los cables	24

3.4.1 Cable de aluminio protegido con XLPE	24
3.4.2 Dimensionamiento de conductores	25
3.4.3 Corrientes admisibles	25
3.4.3.1 Intensidades máximas permanentes admisibles en los conductores	25
3.4.3.2 Intensidades máximas de corto circuito admisibles en los conductores	27
3.4.4 Identificación del cable	27
3.4.5 Ejemplo de designación	28
3.4.6 Catálogo coidea	28
3.4.6.1 Tensiones nominales	28
3.4.6.2 Metal del conductor	28
3.4.6.3 Formación del conductor	28
3.4.6.4 Bloqueo de la humedad	28
3.4.6.5 Confinamiento del campo eléctrico	29
3.4.6.6 Aislación del cable	29
3.4.6.7 Temperatura de trabajo de los cables	29
3.5 Protección máxima corriente	29
3.6 Protección contra sobretensiones	29
3.7 Localización de los apartarrayos	29
3.8 Equipos de maniobra	30
3.9 Puesta a tierra del cable de acero portante	30
3.10 Puesta a tierra temporaria de los circuitos primarios	30
3.11 Transformadores	30
3.12 Cable de sustentación o portante	30
3.13 Espaciadores	31
3.14 Vanos	31

3.15 Retenciones	31
3.16 Pruebas realizadas a las líneas de distribución compactas	31
3.16.1 Corto circuito con madera mojada, fase – neutro	31
3.16.2 Un ejemplo real	33
3.16.3 Confiabilidad	33
3.16.4 Seguridad	34
3.17 Comparación entre redes convencionales y redes compactas	35
3.18 Situación real en México, en cuanto a la utilización de redes de distribución compactas, (División Centro Occidente, zona Uruapan)	38
3.18.1 Implementación y desarrollo de redes aéreas compactas en el proceso de M.T.	39
3.18.2 Análisis beneficio – costo de las redes compactas	42
3.18.3 Costos de construcción de redes eléctricas en CFE	43
3.18.4 Estadísticas de operación y funcionamiento de las redes compactas dentro de la CFE zona Uruapan	47
3.19 Aplicaciones de las redes de distribución compactas	50
 Capítulo 4. Ventajas y desventajas de las redes de distribución compactas, ante las convencionales.	 54
4.1 Ventajas	54
4.2 Desventajas	59
 Capítulo 5. Conclusiones.	 61
5.1 Problemas presentados	61
5.2 Conclusiones generales	61
5.3 Conclusiones particulares	62
5.4 Trabajos futuros	63

Apéndices

A. Catálogos de precios del suministrador, costo por kilómetro de líneas de distribución	64
B. Características eléctricas de los conductores desnudos y semiaislados	69
Referencias	70

Lista de figuras

1.1 Línea de distribución en media tensión (13.2kV) convencional con conductor desnudo	1
1.2 La fotografía de la izquierda muestra una zona arbolada sobre el paso de red eléctrica con conductor desnudo, mientras que en la fotografía de la derecha se observan conductores muy cercanos a las partes altas de las viviendas, lo cual representa un peligro para los usuarios	2
1.3 Línea de distribución en M.T. (13.2 kV) tipo compacta	2
2.1 Sistema de distribución de energía eléctrica tipo compacto (Sistema Hendrix) . .	6
2.2 Ramas y árboles sobre tendidos de red eléctrica compacta	6
2.3 Sistema de distribución de energía eléctrica con postería de madera	7
2.4 Zona demasiado arbolada, junto a red eléctrica de distribución	8
2.5 Convivencia armoniosa de los conductores con las ramas de los árboles	9
3.1 Representación gráfica de una sección recta de línea	11
3.2 Anillo de silicona	12
3.3 La figura de la izquierda muestra el amarre mediante el anillo para conductores de paso y la figura de la derecha para conductores que requieren hacer alguna deflexión	12
3.4 Forma de instalar el anillo en el espaciador para la sujeción del conductor	13
3.5 Espaciador polimérico	13
3.6 Colocación de los conductores en el espaciador	14
3.7 Aislador orgánico de perno fijo	14
3.8 Brazo antibalanceo	15
3.9 Función e instalación del brazo antibalanceo en el espaciador	15

3.10 Grapa de retención polimérica	16
3.11 Aspecto real de la grapa de retención polimérica	16
3.12 Preformado plástico	17
3.13 Amarre de los conductores al espaciador mediante el preformado plástico	17
3.14 Herraje tipo L	17
3.15 Colocación y función del herraje tipo L	18
3.16 Carga mecánica que soporta el herraje tipo L para diferentes direcciones	18
3.17 Estribo para herraje tipo L	19
3.18 Uso y colocación del estribo para herraje tipo L	19
3.19 Herraje tipo C	19
3.20 Montaje y función del herraje tipo C	20
3.21 Herraje auxiliar para brazo tipo C	20
3.22 Colocación del herraje auxiliar en el herraje tipo C	21
3.23 Soporte para brazo antibalanceo	21
3.24 Retención preformada	21
3.25 Varilla de protección del fiador	22
3.26 Atadura metálica	22
3.27 Ensayo de tracción al espaciador	22
3.28 Aspecto físico de la prueba de tracción realizada al espaciador	23
3.29 Prueba de tracción efectuada al brazo antibalanceo	23
3.30 Prueba de flexión efectuada al brazo antibalanceo	23
3.31 Resistencia a la tracción y control dimensional	24
3.32 Información contenida en la cubierta externa del conductor de aluminio	28
3.33 Partes principales que componen al conductor semiaislado	28
3.34 Distancias mas comunes para la colocación de los espaciadores entre poste y poste	31

3.35 Prueba de corto circuito de fase a neutro con madera mojada	32
3.36 Elementos adicionales para la reducción de fallas por causas de fauna salvaje . . .	34
3.37 Análisis económico – inversión inicial	35
3.38 Visión en cuanto a mejoría en el proceso de M.T de la CFE zona Uruapan	38
3.39 Factores que intervienen en la productividad del proceso de M.T en la CFE	39
3.40 Beneficios obtenidos por el cliente con la construcción de instalaciones compactas . . .	40
3.41 Ambiente laboral y logros del personal de la CFE zona Uruapan	40
3.42 Construcción de 43 km de línea de M.T. a octubre de 2007	41
3.43 Reducción del tiempo de interrupción por usuario	41
3.44 Eficiencia lograda en el proceso de distribución de la CFE zona Uruapan	42
3.45 Análisis económico – inversión inicial en CFE	46
3.46 Falla en línea compacta ocasionada por caída de árbol	47
3.47 Comparación de red eléctrica compacta construida con herrajes modificados (figuras de la izquierda) y herrajes normalizados (figuras de la derecha)	50
3.48 Funcionamiento de la red de distribución compacta en zona arbolada	51
3.49 Red eléctrica en zona con gran incursión de aves	51
3.50 Red eléctrica instalada sobre una barranca	51
3.51 Configuración múltiple que se obtiene con el uso de redes compactas	52
3.52 Red eléctrica cercana a las edificaciones	52
4.1 Mayor seguridad al personal de campo al realizar alguna maniobra	54
4.2 Reducción y recuperación de poda utilizando red eléctrica compacta	55
4.3 Distancias de seguridad requeridas ante diferentes tipos de sistemas de distribución	55
4.4 Instalación de 4 circuitos de distribución en el mismo poste	55
4.5 Clientes satisfechos	56
4.6 Dificultad para utilizar canasta en barrancas para la colocación de los espaciadores	59
4.7 Conductor semiaislado reventado por descarga atmosférica, cayendo en camino	

de personas	60
-----------------------	----

Lista de tablas

3.1 Características dimensionales de los conductores utilizados en la construcción de redes compactas	25
3.2 Características eléctricas de los conductores	25
3.3 Características eléctricas bajo condiciones de viento nulo	26
3.4 Características eléctricas bajo condiciones a 0.6 km/h	26
3.5 Características eléctricas bajo condiciones a 2.2 km/h	27
3.6 Intensidades máximas de corto circuito admisibles en kA	27
3.7 Datos obtenidos con la prueba de corto circuito fase a neutro	32
3.8 Desglose de las causas de salida de servicio durante un periodo de 3 años (1995 – 1997)	34
3.9 Costos totales – extensión de líneas	36
3.10 Comparación entre diferentes tipos de líneas	36
3.11 Elementos a considerar para la elección de los sistemas	37
3.12 Índice “DEC” (duración de interrupciones)	37
3.13 Índice “FEC” (frecuencia de interrupciones)	38
3.14 Lista de precios de construcción de redes eléctricas en M.T.	44

Lista de símbolos y abreviaturas

kV	Kilo Volts
BT	Baja Tensión
MT	Media Tensión
AT	Alta Tensión
kW	Kilo Watts
SCAE	Sistema de Cable Aéreo con Espaciadores
mm	milímetros
mm ²	milímetros cuadrados
cm	centímetros
m	metros
m ²	metros cuadrados
km	kilómetro
gr	gramos
kg	kilogramos
N	Newton
daN	deca Newton
Mpa	Mega pascal
°C	Grados Centígrados
Ω /km	Ohms por kilómetro
DC	Corriente Directa

W/m ²	Watts por metro cuadrado
A	Amperes
KA	Kilo Amperes
Km/h	Kilómetros por hora
Al	aluminio
UV	ultravioleta
mA	mili amperes
s	segundo
NBAI	Nivel básico de aislamiento
Hz	Hertz
L	Longitud
P	Potencia real
F.P.	Factor de potencia
V	volts
kcm	10 ³ Circular Mil
X	Reactancia inductiva
Z	impedancia
I	corriente
∅	Ángulo teta

Capítulo 1

Introducción.-

1.1 Antecedentes.-

La red de distribución es el medio a través del cual se transmite la energía y la potencia al consumidor final. Se constituye de líneas eléctricas (aéreas o subterráneas) y de todos los dispositivos necesarios: líneas de distribución primaria y secundaria, transformadores, etc.

Toda red de distribución eléctrica debe tener como objetivo final asegurar la calidad y continuidad de servicio a sus usuarios, evitando cortes de energía y solucionando con la mayor brevedad posible estos cortes en caso de que se produzcan. Podemos hablar de algunos tipos de distribución eléctrica los cuales dependen de los niveles de tensión que se están distribuyendo: BT (hasta 1 kV), MT (en distribución primaria hasta 34.5 kV) y AT.

Las líneas de distribución en media tensión (13.2 KV), son sin duda un paso intermedio para llevar la energía eléctrica generada en las plantas eléctricas a su destino final que es el usuario, esto mediante una serie de pasos que incluye la transformación de la energía por medio de transformadores de distribución, que permiten reducir el voltaje al nivel adecuado para cada usuario, ya sea en baja o media tensión tal como se muestra en la figura 1.1.



Figura 1.1.- Línea de distribución en M.T. (13.2kV) convencional con conductor desnudo.

Un sistema de distribución suministra potencia que recibe en los puntos de recepción, la cual es entregada a miles o millones de usuarios, distribuidos en un área geográfica determinada. Los sistemas de distribución reciben potencia en grandes cantidades y la entregan en pequeñas cantidades (0.62 kw promedio por usuario).

Cabe mencionar el problema que presenta en diversas ocasiones el traslado de esta energía debido a zonas densamente arboladas o con demasiada obra civil (grandes construcciones o edificios), lo cual representa un gran impacto ambiental al tener que podar los árboles y un peligro constante para los usuarios respectivamente, al tener conductor desnudo electrificado cerca de las ventanas o azoteas de sus viviendas, así como se muestra en la figura 1.2.



Figura 1.2.- La fotografía de la izquierda muestra una zona arbolada sobre el paso de red eléctrica con conductor desnudo, mientras que en la fotografía de la derecha se observan conductores muy cercanos a las partes altas de las viviendas, lo cual representa un peligro para los usuarios.

Pensando en ello CFE está trabajando ya con conductor semiaislado en la construcción de redes eléctricas convencionales, el cual reduce en gran parte el peligro que representa para los usuarios y para el personal de campo cuando se tiene que hacer una maniobra con la línea energizada, más sin embargo sigue presentando el mismo impacto ambiental debido a que la poda de árboles sigue siendo de la misma magnitud, además de que por seguridad y por norma, CFE lo maneja con las mismas precauciones como si fuera un conductor desnudo en lo que respecta a construcción, operación y mantenimiento, hay que recordar que el conductor utilizado es semiaislado y no aislado completamente.

Para alcanzar una mayor calidad de servicio, las distribuidoras de energía eléctrica deben analizar alternativas para aumentar la confiabilidad en el suministro a sus clientes. Por lo tanto es necesario desarrollar nuevas tecnologías en la construcción de redes aéreas de distribución, considerando aspectos técnicos y económicos. La respuesta a estas exigencias está dada por las instalaciones de REDES COMPACTAS las cuales se encuentran ampliamente difundidas en varios países tales como Argentina, Uruguay, Brasil, Bolivia, Paraguay, Chile, Perú, Colombia, Panamá y Costa Rica. Con relación a las redes convencionales que conocemos, las REDES COMPACTAS la cual se muestra en la figura 1.3, presentan importantes ventajas que conoceremos más adelante.



Figura 1.3.- Línea de distribución en M.T. (13.2 kV) tipo compacta.

1.2 Objetivo.-

Impulsar la utilización de redes eléctricas de distribución en media tensión tipo compactas en la División Centro Occidente (DCO) de la CFE, comprobando que el costo inicial es poco superior al de las redes de distribución convencionales, pero los costos de mantenimiento preventivo y correctivo son mucho menores en las redes compactas, con lo cual se justificaría su construcción y se comprobaría que es costeable. Además daré a conocer más de este tipo de redes en cuanto a herrajes utilizados para su construcción y las ventajas y desventajas que presenta ante las redes de distribución convencionales, ya que tuve la oportunidad de dar mis prácticas profesionales en esta empresa en el proceso Constructora de Media y Baja Tensión y pude ver la realización de una obra de este tipo, y observar que los herrajes utilizados no han sido aún normalizados.

1.3 Justificación.-

Con esto trato de demostrar el beneficio en cuanto a confiabilidad, seguridad y continuidad en el servicio de energía eléctrica que ofrecen las líneas de distribución compactas, lo cual beneficia tanto a la empresa suministradora como al usuario, además de que se reduce el impacto ambiental y económico que representan las redes eléctricas de distribución convencionales.

El aspecto de seguridad es un factor de gran importancia que se logra con la implementación de este sistema, ya que permite al personal de campo realizar maniobras con la línea energizada corriendo menos peligro para ello. En cuanto al usuario, se lograría evitar los choques accidentales que se tienen en ocasiones al estar realizando alguna tarea en la parte alta de sus viviendas, o al estar laborando en las huertas en el caso de los cortadores de aguacate que frecuentemente llegan a tener accidentes por el rose de los ganchos con alguna de las líneas energizadas.

1.4. Metodología.-

Como el tema abarca algo relativamente novedoso en México, no se cuenta con bibliografía textual para su investigación pero debido a que países extranjeros ya están utilizando este tipo de redes compactas, se cuenta con información del internet y algunos datos y fotografías proporcionados por CFE, lo cual involucra trabajos realizados o que se tendrán que realizar en campo, además de mi experiencia obtenida en la empresa durante la realización de mis prácticas profesionales.

En base a los medios mencionados en el párrafo anterior, quiero encaminar mi trabajo a la obtención de la mayor información posible, en cuanto a los beneficios que ofrece la implementación de este sistema en México.

Como se mencionó en párrafos anteriores, este sistema de distribución ya se utiliza en nuestro país pero todavía no está normalizado en cuanto a herrajes utilizados para su construcción.

1.5 Contenido de la tesis.-

En el capítulo 1 se da una breve introducción de lo que son las líneas eléctricas de distribución en media tensión convencionales y el objetivo que tienen como tal. Se menciona también de manera general el beneficio de utilizar redes eléctricas de distribución compactas para minimizar los problemas que presentan las redes eléctricas convencionales al distribuir la energía eléctrica al usuario.

El capítulo 2 tiene como objeto explicar los antecedentes referente a las líneas de distribución compactas y describir de manera general sus características.

En el capítulo 3 se presenta de manera detallada todo lo referente a las líneas de distribución compactas, en cuanto a su definición, características que presentan, herrajes o accesorios utilizados para su construcción, así como sus aplicaciones y costos.

El capítulo 4 muestra todas las ventajas y desventajas que se obtienen con la implementación de este sistema en México.

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones obtenidas del trabajo de tesis, la problemática presentada durante su realización y algunos posibles trabajos futuros por realizar.

Capítulo 2

Historia de las redes de distribución compactas.-

2.1 Historia.

En 1951, Bill Hendrix fundó *Hendrix Wire & Cable, Inc.*, y su primer objetivo fue la fabricación y comercialización de un sistema aéreo de distribución eléctrica (Cable con Espaciadores) producto de su invención. Su sistema logró resolver los problemas de confiabilidad experimentados por las empresas de energía locales. Se comprobó que el Sistema de Cable con Espaciadores podía reducir enormemente las salidas de servicio ocasionadas por varios factores, entre ellos los climáticos, y pronto se observó que, como beneficios adicionales, se lograba una gran reducción en las podas, permisos de paso más estrechos, mejora operativa en ambientes contaminados y la posibilidad de realizar líneas con vanos de mayor longitud que las convencionales. Además, con el correr del tiempo, se descubrió que la unión de todos estos factores contribuía a reducir considerablemente los costos de explotación.

En 1967 Hendrix expande su línea de productos iniciándose en el mercado del cable subterráneo. El Sr. Hendrix introdujo la especificación HQ200, la cual requiere cables libres de efecto corona. Hendrix estableció el protocolo de ensayo por el cual se requiere que cada bobina de cable sea ensayada a una tensión de 200V por milésimo de pulgada de espesor de aislante, dando como resultado un nivel de descargas parciales menor a 5 picocoulombs. Dieciocho años más tarde, la *Association of Edison Illuminating Companies* (AEIC) adoptó el procedimiento de ensayo y lo convirtió en una Norma para la industria.

Hoy, la línea de productos de *Hendrix Wire & Cable* incluyen cables subterráneos, cables con espaciadores, cables para zonas arboladas, aisladores, y accesorios para líneas aéreas. Estos productos están operando en todo el mundo. Soportan un variado conjunto de inclemencias ambientales, desde aquellas que se hallan en las lluviosas selvas tropicales de Brasil hasta las de las cumbres nevadas de la Antártica. *Hendrix Wire & Cable* está certificada ISO 9002 y manufacturar productos de calidad, brindar servicios y confiabilidad, siguen siendo el sostén de la filosofía de la empresa.

En 1981 Bill Hendrix vendió *Hendrix Wire & Cable* a *Conductron Corporation*. Durante los 15 años siguientes *Hendrix Wire & Cable* tuvo cuatro diferentes dueños. En la actualidad, Hendrix es una compañía miembro del Grupo Marmon.

El Grupo Marmon es una asociación formada por más de 60 compañías, cada una de las cuales funciona como miembro autónomo, que se dedican a la provisión de manufacturas y servicios. Actualmente, hay siete compañías fabricantes de conductores y cables eléctricos dentro del Grupo Marmon.

2.2 Antecedentes.

Las empresas de distribución de energía, en un esfuerzo por mejorar el nivel de calidad de servicio y confiabilidad en el suministro de energía eléctrica, han investigado muchos tipos constructivos diferentes para líneas aéreas de media tensión, provenientes de todo el mundo. Uno de esos tipos constructivos ha sido usado en los Estados Unidos por más de 40 años: es el Sistema "HENDRIX" de Cable Aéreo con Espaciadores (SCAE), el cual se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1.- Sistema de distribución de energía eléctrica tipo compacto (Sistema Hendrix).

El SCAE puede describirse como una concepción altamente confiable para distribución de energía eléctrica, consistente en conductores con una gruesa capa de aislación, sin pantalla electrostática, sostenidos por una combinación de hilo portante/conductor neutro de alta resistencia mecánica, cuya separación se mantiene con espaciadores aislantes distanciados unos 9,00 metros entre ellos. La combinación de la alta resistencia mecánica del conductor portante y el diseño coordinado de la aislación de la cubierta de los conductores de fase, aisladores y espaciadores, permiten una proximidad de los conductores energizados, al mismo tiempo que se mantiene un alto nivel de confiabilidad.

La resistencia y la durabilidad del sistema permiten mantener el servicio eléctrico durante condiciones adversas tales como caída de árboles o ramas, vientos fuertes y postes rotos (ver figura 2.2). Su aspecto compacto también reduce significativamente la necesidad de podas, tanto inicialmente, durante la construcción de la línea, como más tarde, para mantener la confiabilidad del sistema.



Figura 2.2.- Ramas y arboles sobre tendidos de red eléctrica compacta.

Hacia fines de la década del 40, las empresas de distribución en los Estados Unidos experimentaron el comienzo de un rápido crecimiento en el número de usuarios de energía eléctrica. Este crecimiento de la demanda provocó la expansión de los sistemas de distribución, que se llevó a cabo en gran parte mediante el uso de conductores aéreos soportados por postes y crucetas de madera, tal y como se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3.- Sistema de distribución de energía eléctrica con postería de madera.

A medida que los sistemas de distribución crecieron en complejidad, la confiabilidad del servicio se tornó una preocupación mayor para los ingenieros de distribución. La mayoría de los problemas de confiabilidad que experimentaron las empresas estuvieron directamente relacionados con tormentas, árboles y rayos.

Las opciones disponibles para la construcción de líneas aéreas eran, en ese tiempo, las siguientes:

- 1) Conductores desnudos.
- 2) Conductores cubiertos con pared protectora delgada.
- 3) Conductores con aislación completa y blindaje, atados a cables portantes (preensamblados).

Cada uno de estos sistemas tiene ventajas e inconvenientes relativos a costo, confiabilidad, duración y versatilidad cuando se usan para instalaciones aéreas. El concepto de SCAE fue concebido y desarrollado para incorporar la mayoría de las ventajas de cada uno de los sistemas mencionados más arriba, y al mismo tiempo eliminar o reducir drásticamente las desventajas inherentes a cada sistema. Estas ventajas e inconvenientes serán descritos más detalladamente cuando discutamos sus características operativas. La región noreste de los Estados Unidos era el área que sufría los mayores problemas relativos a confiabilidad. El rápido crecimiento de los sistemas de energía en áreas donde los árboles cubrían del 60 al 80 por ciento de las zonas de servicio, como se observa en la figura 2.4, sumados a la formación de hielo severa, tormentas de nieve y viento, hicieron que la confiabilidad de los sistemas eléctricos fuera muy reducida.



Figura 2.4.- Zona demasiado arbolada, junto a red eléctrica de distribución.

Estos problemas, que no son diferentes de los de otras áreas del mundo en una forma u otra, hicieron nacer el SCAE. El sistema original fue un diseño para 5 kV que fue rápidamente seguido por otro de Clase 15 kV. A medida que las tensiones de los sistemas de distribución fueron en aumento, se desarrollaron SCAE para 25, 35 y 46 kV. La confiabilidad fue tradicionalmente la razón principal para el uso del Cable Aéreo con Espaciadores. Adicionalmente a la confiabilidad, aparecieron luego otras ventajas con el desarrollo del concepto.

2.3 Experiencia Operativa.

El Sistema de Cable Aéreo con Espaciadores ha estado en uso por las empresas de distribución de los Estados Unidos y otros países del mundo desde 1952. La experiencia operativa ha sido excelente cuando se utilizaron componentes adecuados y se aplicaron apartarrayos de protección.

Las tasas de salida fuera de servicio de los Sistemas de Cable Aéreo con Espaciadores no han sido registradas sistemáticamente por las distribuidoras, pero las entrevistas mantenidas con ellas indican que, aún sin estadísticas fehacientes, no caben dudas de que el SCAE aventaja a la construcción convencional en conductores desnudos. La mayoría de las salidas de servicio con este sistema de cable han sido provocadas por cargas mecánicas extremadamente grandes, muy en exceso de las que el diseño del sistema podía soportar (como por ejemplo, caída de árboles de gran diámetro), como se mencionó párrafos anteriores.

La experiencia también muestra que un diseño apropiado del cable y de la protección del sistema incide drásticamente en el comportamiento en servicio. La distancia entre puestas a tierra y la resistencia eléctrica de las mismas, incurre mucho en el comportamiento ante caída de rayos, siendo la distancia más importante que el valor individual de la resistencia de un electrodo cualquiera.

La Red de Distribución Compacta Protegida ha mostrado ser una buena solución para una convivencia armoniosa de los cables de energía eléctrica y los árboles de las calles públicas, siendo una solución técnica y económicamente viable para respetar las directrices ecológicas vigentes. Debido a que los conductores están cubiertos con una capa aislante permite montarlos más próximos unos de otros, también próximos a las ramas de los árboles, sin el

riesgo de provocar cortocircuito en caso de contacto no permanente con las ramas o entre conductores, tal y como se muestra en la figura 2.5.



Figura 2.5.- Convivencia armoniosa de los conductores con las ramas de los arboles.

Esto permite una compactación de la red eléctrica, que pasa a ocupar un espacio bastante reducido y consecuentemente una menor agresión de los árboles durante la poda.

En caso de redes convencionales con conductores desnudos, el contacto de los árboles con algún conductor, especialmente si están mojados, inevitablemente causará un cortocircuito y consecuentemente una interrupción del suministro de energía. De allí la razón de la drástica poda de los árboles en torno a la red convencional con conductores desnudos.

La historia pasada de los sistemas eléctricos rurales podría caracterizarse mayoritariamente como formada por líneas aéreas sirviendo a cargas rurales en áreas no congestionadas. La poda de árboles y los derechos de vía no imponían preocupaciones mayores, y las cargas involucradas no eran, por lo general, afectadas por salidas de servicio momentáneas. La coordinación más usada comúnmente en los sistemas consistía en interruptores ajustados para 2 disparos instantáneos seguidos por 2 disparos retardados antes del bloqueo. Esto se hacía para permitir que las ramas de árbol u otros elementos se quemaran o se cayeran de los conductores desnudos entre los disparos, liberando el cortocircuito y evitando una salida de servicio prolongada.

Ahora las compañías eléctricas se encuentran en partes de sus redes con zonas urbanas, tanto por crecimiento de áreas urbanas adyacentes, como por compra de sistemas que pertenecieron a Municipios. Los lagos y lagunas, y otras áreas recreacionales, cuyo valor depende en parte del mantenimiento de las condiciones naturales de su entorno, también son frecuentes. Además, ha crecido el énfasis sobre la protección de la vida salvaje.

En resumen, las compañías suministradoras de energía eléctrica se ven frente a congestión de redes, y a dificultades para obtener permisos de paso y de poda de árboles, como jamás antes habían tenido las compañías eléctricas en zonas rurales.

Complicando las cosas, las cargas modernas tienen sensibilidad incrementada con respecto a salidas de servicio momentáneas. Esto puede hacer que los sistemas tradicionales de coordinación resulten inaceptables, si la compañía eléctrica piensa atraer y mantener a aquellos usuarios que necesiten un mayor nivel de calidad y confiabilidad.

Los sistemas de cable con espaciadores ofrecen una solución a los problemas de congestión, de derecho de vía, y de poda reducida, brindando al mismo tiempo un nivel mucho más alto de calidad y confiabilidad de servicio. Existen sistemas de cable con espaciadores, correctamente diseñados y mantenidos, que están en servicio desde hace más de 45 años. Su uso en sistemas eléctricos rurales ofrece condiciones cuyos requisitos no son iguales que los de los sistemas urbanos.

Además de Estados Unidos, podemos mencionar el avance y desarrollo que han tenido otros países como Brasil y Argentina en la construcción de redes eléctricas compactas. A continuación se muestra un desglose de dicho desarrollo.

DESARROLLO EN BRASIL:

- Primeros estudios: 1984/1985.
- Primera inversión: 1987/1988.
- Primera red urbana: 1990.
- Primera red rural: 1998.
- Redes en operación hasta 1999: 21,000 km aprox.

Nota: A partir de 1998 en algunos estados de Brasil solo se proyectan líneas aéreas compactas para M.T.

PRIMERAS OBRAS EN ARGENTINA:

- Circuito simple en 33 kV: Año 2000.
- Doble circuito urbano en 13.2 kV: Año 2001.

Por último, es importante mencionar que en México la CFE comenzó a utilizar los primeros tramos de cable semiaislado para zonas arboladas desde 1997 con estructuras comunes, y en el 2004 para estructuras compactas.

Capítulo 3

Redes de distribución aéreas compactas.-

3.1 Definición.

Las redes de distribución compactas son tendidos de energía eléctrica que utilizan cables protegidos, amarrados y separados con espaciadores romboidales y sustentados por un cable de acero portante galvanizado de alta resistencia, tal y como se aprecia en la figura 3.1. El cable utilizado en este tipo constructivo, es como se mencionó, del tipo protegido - no aislado - de aluminio compactado, con bloqueo de humedad y capa semiconductor extruida. Está disponible en el mercado en tensiones nominales de 15, 25, 35 y 46 kV.

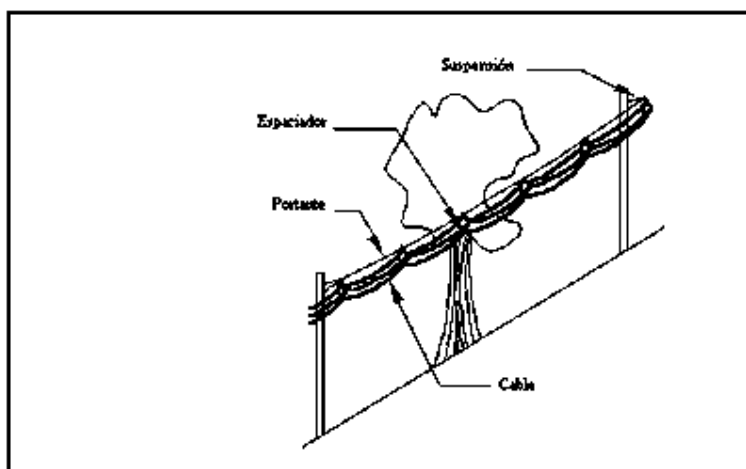


Figura 3.1.- Representación gráfica de una sección recta de línea.

La cubierta de los cables reduce el flujo de corriente a microamperes o miliamperes en el caso que existan puentes de contacto entre fases o entre fase y neutro, ya sean producidos por hielo, ramas de árboles, basura, etc. De esta forma, los fusibles, restauradores e interruptores no resultan afectados, con lo que no se deteriora ni la calidad ni la confiabilidad del servicio. Por supuesto, el flujo de corriente de microamperes o miliamperes en la superficie de la cubierta resulta en erosión o desgaste del aislante ("tracking") y no debe permitirse su permanencia indefinida, ya que la lenta degradación resultante conducirá finalmente a una falla. El escenario más probable será que una sobretensión producida por una descarga atmosférica encontrará al "punto débil" causando la perforación de la cubierta y la consiguiente quemadura del conductor. Con un mantenimiento razonable (podas periódicas y limpieza de la zona de línea) y con apartarrayos instalados adecuadamente, esta posibilidad se reduce a unos pocos eventos aislados e infrecuentes.

Prácticamente no existe límite para la resistencia mecánica del cable portante utilizado para soportar al sistema, haciendo posible la construcción de vanos largos para el cruce de ríos, arroyos, terrenos desnivelados, colocación del sistema bajo líneas de alta tensión utilizando

sus soportes sin agregar postería, y manteniendo siempre constante la distancia entre fases. En la mayoría de estas situaciones, la única limitación resulta impuesta por la resistencia mecánica de las estructuras.

Se dispone de cables portantes standard con capacidad de corriente de neutro equivalentes a la de un conductor de aluminio de 70 mm^2 , y se puede instalar otro conductor neutro adicional para suplementar la capacidad de corriente del portante en caso de necesidad.

Por último, es preferible poner a tierra el portante en todos los postes, y si esto no es posible a no más de 150 metros de distancia entre tierras, o entre extremos de un vano largo. Así se reduce la probabilidad de fallas por efecto de rayos, debido a la incidencia de descargas directas de alta intensidad sobre el portante.

3.2 Accesorios utilizados para su construcción

Definiciones.

3.2.1 Accesorios poliméricos.

La presencia de tensiones inducidas en las superficies metálicas externas al cable, exige el empleo de accesorios especiales que eliminen las posibles descargas superficiales entre éstos, y puntos puestos a tierra (ramas de árboles, etc.)

Se describen aquí todos los accesorios poliméricos que son utilizados en proyectos de redes compactas de 15 kV (13.2 kV).

3.2.1.1 Anillo de silicona.

Elemento de material elastomérico (silicona) cuya función es la de fijación de los cables protegidos a los espaciadores o a los aisladores, (figura 3.2).



Figura 3.2.- Anillo de silicona.

La figura 3.3 ejemplifica su instalación en el aislador:



Figura 3.3.- La figura de la izquierda muestra el amarre mediante el anillo para conductores de paso y la figura de la derecha para conductores que requieren hacer alguna deflexión.

Características técnicas de la atadura de silicona para aislador de 13.2 kV:

- Resistencia al tracking e intemperie.
- Material: Goma silicona.
- Color: gris.
- Tamaño único para cables de 12 a 32 mm de diámetro.
- Peso: 25 grs.

Instalación del anillo en el espaciador, figura 3.4:

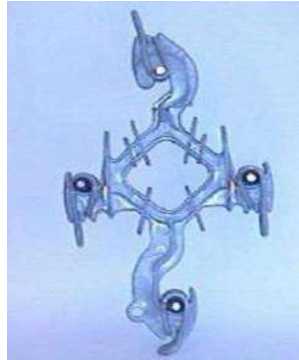


Figura 3.4.- Forma de instalar el anillo en el espaciador para la sujeción del conductor.

Características técnicas de la atadura de silicona para espaciador de 13.2 kV:

- Resistencia al tracking e intemperie.
- Fácil y rápida instalación.
- Material: Goma silicona.
- Color: gris.
- Tamaño único para cables de 9 a 32 mm de diámetro.
- Peso: 20 grs.

3.2.1.2 Espaciador polimérico.

Accesorio de forma romboidal realizado en material polimérico, cuya función es la de sujeción y separación de los cables protegidos a lo largo del vano, manteniendo la aislación eléctrica de la red, como se muestra en la figura 3.5.

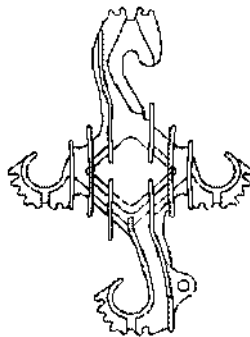


Figura 3.5.- Espaciador polimérico.

La manera en como queda instalado se muestra en la figura 3.6:



Figura 3.6.- Colocación de los conductores en el espaciador.

Características técnicas:

- Tensión de servicio: 8.7/15 kV.
- Resistencia al tracking e intemperie.
- Altísima resistencia al impacto.
- Material: Polietileno alta densidad.
- Color: gris.
- Diámetro de cables: 9 a 32 mm.
- Línea de fuga: 280 mm.
- Peso: 450 grs.
- Diámetro de rosca: 25 - 35 mm.
- Baja radiointerferencia.

3.2.1.3 Aislador orgánico de perno fijo para 15 kV.

Accesorio de polietileno de alta densidad cuya función es la de sujeción de los conductores semiaislados, y el aislamiento de estos con la estructura tipo “C” donde van montados. Su aspecto físico se muestra en la figura 3.7.



Figura 3.7.- Aislador orgánico de perno fijo.

Sus características técnicas se muestran a continuación:

- Tensión de servicio: 8.7/15 kV.
- Resistencia al tracking e intemperie.

- Altísima resistencia al impacto.
- Material: Polietileno alta densidad.
- Color: gris.
- Diámetro de cables: hasta 32 mm.
- Línea de fuga: 415 mm.
- Peso: 535 gr.
- Diámetro de rosca: 25 - 35 mm.
- Escasa radiointerferencia.

3.2.1.4 Brazo antibalanceo.

Accesorio de material polimérico cuya función es la de reducir las vibraciones mecánicas de las redes compactas, además de permitir realizar pequeños ángulos en suspensión, su aspecto físico se ilustra en la figura 3.8.

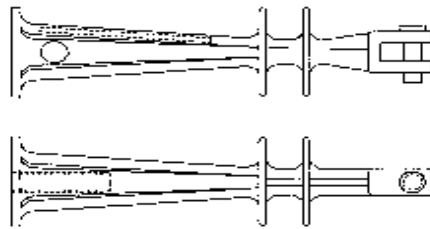


Figura 3.8.- Brazo antibalanceo.

Su instalación se muestra en la figura 3.9:



Figura 3.9.- Función e instalación del brazo antibalanceo en el espaciador.

Características técnicas:

- Tensión de servicio: 15-25 KV.
- Resistencia al tracking e intemperie.
- Resistencia al impulso atmosférico.
- Altísima resistencia al impacto.

- Escasa radiointerferencia.
- Material: Polietileno de alta densidad.
- Color: Gris.
- Longitud y peso:
- 305 mm 0.260 kg.
- 555 mm 0.480 kg.

3.2.1.5 Grapa de retención polimérica.

Accesorio autotrabante de cuerpo polimérico, cuya función es la de retener los cables protegidos en los amarres y terminales, así como se ilustra en las figuras 3.10 y 3.11.

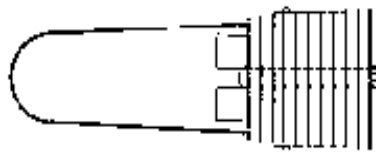


Figura 3.10.- Grapa de retención polimérica.



Figura 3.11.- Aspecto real de la grapa de retención polimérica.

Características técnicas:

- Tensión de servicio: 15-25 KV.
- Cuerpo exterior de fundición de aluminio.
- Estribo de acero galvanizado.
- Mordazas internas de Pe Alto Impacto.
- Carga de rotura: 1000 kg.
- Rango de aplicación: 14 a 32 mm de diámetro.

3.2.1.6 Preformado plástico.

El preformado plástico o atadura plástica, es un accesorio preformado fabricado en polietileno de alta densidad cuya función es la de sujetar es cable protegido al espaciador o al aislador, la forma de este componente se muestra en la figura 3.12.



Figura 3.12.- Preformado plástico.

Su instalación se muestra en la figura 3.13:



Figura 3.13.- Amarre de los conductores al espaciador mediante el preformado plástico.

3.2.2 HERRAJES.-

Se describen aquí todos los herrajes que son utilizados en proyectos de redes compactas.

3.2.2.1 Herraje tipo “L”.

Brazo tipo L, construido en fundición nodular galvanizada, consta de un cuerpo principal en forma de percha, destinado a soportar el cable de acero portante y a los espaciadores, por medio de un estribo metálico en forma de U. En su extremo cuenta con una mordaza biplaca cuya función es la de fijar el cable de acero. Su aspecto real se muestra en la figura 3.14.

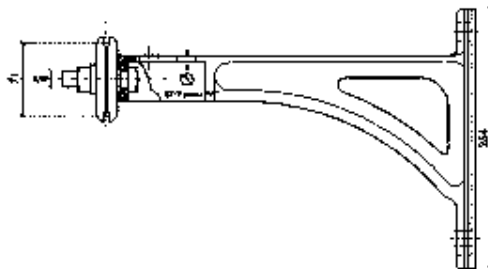


Figura 3.14.- Herraje tipo L.

Instalación del herraje, (figura 3.15):



Figura 3.15.- Colocación y función del herraje tipo L.

Sus características técnicas son las siguientes:

- Tensión de servicio: 15-25 KV.
- Material: acero galvanizado.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Longitud: 350 mm.
- Peso: 3.50 Kg.
- Carga mecánica nominal en el extremo:
- $P = 5000 \text{ N}$.
- $H = 8000 \text{ N}$.
- $L = 1000 \text{ N}$.

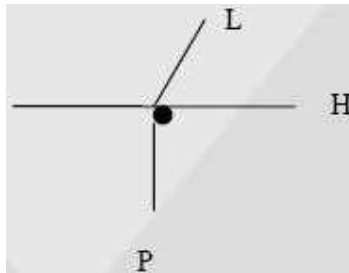


Figura 3.16.- Carga mecánica que soporta el herraje tipo L para diferentes direcciones.

3.2.2.2 Estribo para herraje tipo “L”.

Herraje complementario del brazo tipo “L”, cuya función es la de sostener el espaciador polimérico al brazo tipo “L”. Ver figura 3.17.

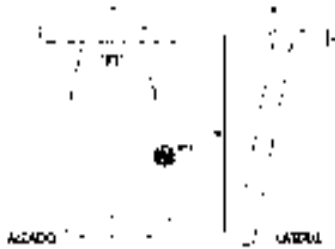


Figura 3.17.- Estribo para herraje tipo L.

Instalación del estribo, (figura 3.18):

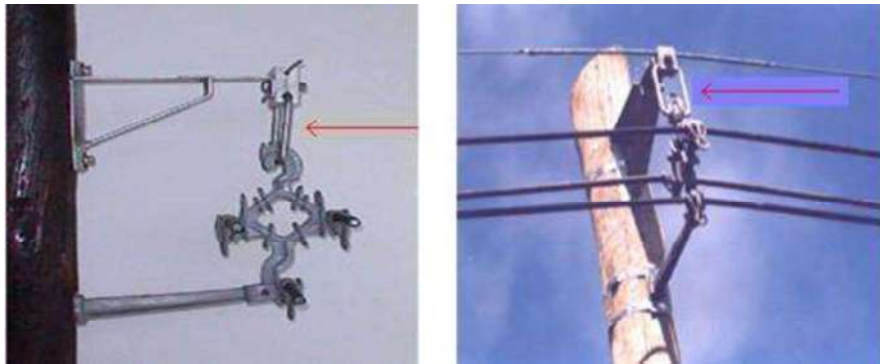


Figura 3.18.- Uso y colocación del estribo para herraje tipo L.

3.2.2.3 Herraje tipo “C”.

Herraje en forma de “C” construido en perfiles de hierro, cuya función es la de soportar los conductores mediante los aisladores en el caso de suspensiones en ángulos importantes, amarres, derivaciones y fines de línea, su forma se ilustra en la figura 3.19.

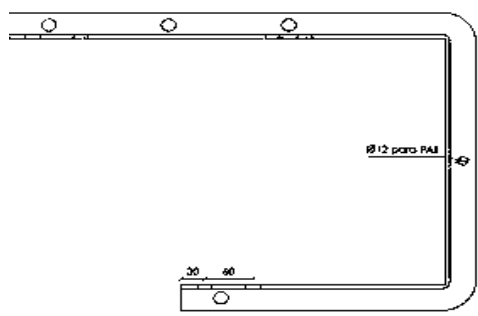


Figura 3.19.- Herraje tipo C.

La instalación del herraje en el poste se muestra en la figura 3.20:

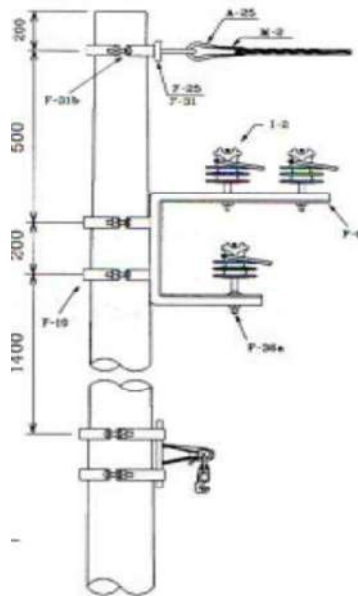


Figura 3.20.- Montaje y función del herraje tipo C.

Características técnicas:

- Peso: 10 kg.
- Carga vertical: 2000 N.
- Carga horizontal: 1500 N.

3.2.2.4 Herraje auxiliar brazo tipo “C”.

Herraje utilizado en los extremos del brazo tipo “C”, para retener las dos fases horizontales de la red, o para fijación de los apartarrayos.

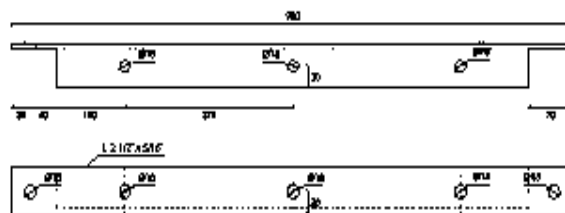


Figura 3.21.- Herraje auxiliar para brazo tipo C.

La forma de instalar se muestra en la figura 3.22:



Figura 3.22.- Colocación del herraje auxiliar en el herraje tipo C.

3.2.2.5 Soporte brazo antibalanceo.

Herraje que permite fijar mediante flejado la base del brazo antibalanceo al apoyo.

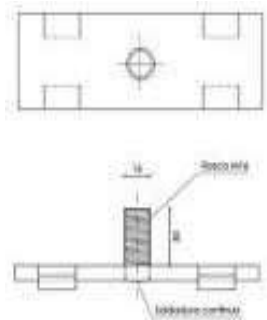


Figura 3.23.- Soporte para brazo antibalanceo.

3.2.3 PREFORMADOS METALICOS.-

Se describen aquí todos los elementos preformados metálicos que son utilizados en proyectos de redes compactas de 15 kV.

3.2.3.1 Retención preformada.

Elemento destinado al amarre del hilo portante. Su aspecto físico se ilustra en la figura 3.24.



Figura 3.24.- Retención preformada.

3.2.3.2 Varilla de protección.

Destinado a la protección del hilo portante en apoyos de suspensión con brazo tipo “L”, (figura 3.25).

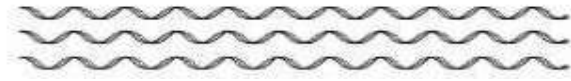


Figura 3.25.- Varilla de protección del fiador.

3.2.3.3 Atadura metálica.

Elemento destinado a la fijación del espaciador polimérico al hilo portante de acero a lo largo del vano, (figura 3.26).



Figura 3.26.- Atadura metálica.

3.3 ENSAYOS A LOS MATERIALES POLIMERICOS.-

3.3.1 Ensayo de tracción al espaciador.

Se realiza un ensayo de tracción, aplicando un esfuerzo de 450 daN y durante 1 minuto, entre el punto de la percha donde se aloja el fiador y el punto donde se aloja el conductor de fase más alejado, tal y como se muestra en la figura 3.27.

Se deberá verificar que la deformación permanente luego del ensayo, entre el agarre del portante y cada uno de los soportes de fase no deberá ser menor o igual al 4%.

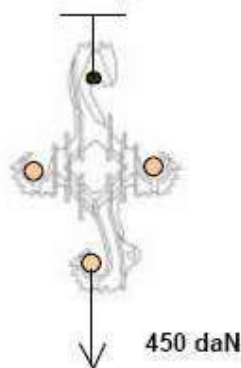


Figura 3.27.- Ensayo de tracción al espaciador.

El aspecto real de la prueba realizada al espaciador se muestra en la figura 3.28.



Figura 3.28.- Aspecto físico de la prueba de tracción realizada al espaciador.

3.3.2 Ensayo de tracción al brazo antibalaneo.

Se realiza un ensayo de tracción según el eje del brazo antibalaneo. Se aplica una carga en forma gradual hasta alcanzar un esfuerzo de 120 daN, manteniendo durante 1 minuto. La carga se aplica en el sentido indicado en la figura 3.29.

No se deben verificar signos de deterioro o deformación permanente del material. Una vez pasado el punto anterior, se aplica nuevamente una carga hasta alcanzar la rotura. Se deberá verificar que la rotura se produzca para carga mayor o igual a los 200 daN.

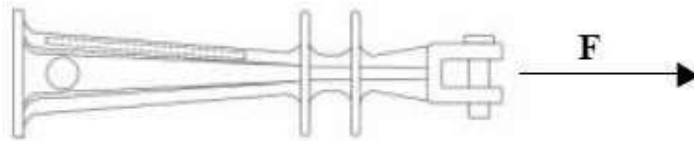


Figura 3.29.- Prueba de tracción efectuada al brazo antibalaneo.

3.3.3 Ensayo de flexión al brazo antibalaneo.

Se aplica una carga en forma gradual hasta la rotura, tal y como se muestra en la figura 3.30. Se deberá verificar que la rotura se produzca para carga mayor o igual a los 200 daN.

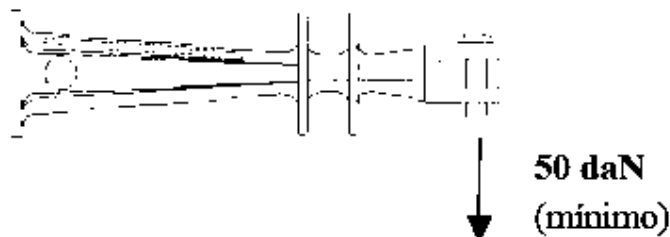


Figura 3.30.- Prueba de flexión realizada al brazo antibalaneo.

3.3.4 Ensayo de tracción y elongación a rotura del anillo de silicona.

Se realizará un ensayo de tracción, debiéndose verificar una carga de rotura mayor de 7 MPa y una elongación a la rotura mayor o igual al 150%. La prueba física se ilustra en la figura 3.31.



Figura 3.31.- Resistencia a la tracción y control dimensional.

3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES.-

3.4.1 Cable de aluminio protegido con XLPE

Es una denominación adoptada para identificar un conductor de aluminio, cuerda redonda compacta, cubierto con una capa de polietileno reticulado (XLPE), resistente a la radiación solar, sin las características correspondientes a un cable aislado, es decir, no presenta condiciones de aislación plena ni confinamiento del campo eléctrico en el dieléctrico del aislante.

Por ello en la marcación debe requerirse la leyenda "**Cable protegido, no tocar**".

Deberá utilizarse un bloqueo de humedad a lo largo del conductor, lo cual se efectuará durante el proceso de cableado de los alambres del mismo. El material de bloqueo será compatible química y térmicamente con los componentes del conductor.

La tabla 3.1 indica las secciones y cantidad mínima de hebras, que deben presentar los conductores de aluminio según fuente IEC 60228 para el buen funcionamiento de los mismos.

Características de los conductores de aluminio puro. Fuente IEC 60228.

Sección [mm ²]	Cantidad Mínima de hebras	Diámetro Total		Resistencia máxima D.C. a 20 °C [Ω/km]
		Mínimo [mm]	Máximo [mm]	
35	6	6.6	7.5	0.868
50	6	7.7	8.6	0.641
70	12	9.3	10.2	0.443
120	15	12.5	13.5	0.253
150	15	13.9	15.0	0.206
185	30	15.5	16.8	0.164
240	30	17.8	19.2	0.125
300	30	20.0	21.6	0.100

Tabla 3.1.- Características dimensionales de los conductores utilizados en la construcción de redes compactas.

3.4.2 Dimensionamiento de conductores.

El dimensionamiento de conductores deberá ser efectuado teniendo en cuenta:

- Corriente máxima admisible.
- Caída de tensión máxima admisible.
- Las secciones comerciales a utilizar serán desde 35 mm² hasta 185 mm².

3.4.3 CORRIENTES ADMISIBLES.-

3.4.3.1 Intensidades máximas permanentes admisibles en los conductores.

Las condiciones de cálculo para los datos que se muestran en la tabla 3.2 son:

- Temperatura máxima en el conductor: 90 °C.
- Intensidad de la radiación solar incidente: 1000 W/m².
- Temperatura ambiente: 40 °C sin viento.
- Fases separadas al menos 180 mm.

Tabla 3.2.- Características eléctricas de los conductores.

Sección nominal de los conductores (mm ²)	Intensidad máxima admisible en servicio permanente (A)
50	175
95	275
150	365

Bajo otras condiciones tenemos las siguientes tablas:

1- Condiciones: Viento: Nulo; Radiación: 1000 W/m^2 ; Temperatura del cable: 90° C .

Tabla 3.3.- Características eléctricas bajo condiciones de viento nulo.

Sección (mm ²)	Corriente (A) a temperatura ambiente		
	35° C	40° C	50° C
35	133	124	105
50	160	150	127
70	202	189	160
95	249	233	197
120	290	270	229
150	330	309	261
185	383	358	302
240	459	429	362
300	530	496	418

2- Condiciones: Viento: 0.6 km/h ; Radiación: 1000 W/m^2 ; Temperatura del cable: 90° C .

Tabla 3.4.- Características eléctricas bajo condiciones de viento a 0.6 km/h .

Sección (mm ²)	Corriente (A) a temperatura ambiente	
	40° C	
35	139	
50	165	
70	207	
95	252	
120	290	
150	329	
185	378	
240	448	
300	513	

3- Condiciones: Viento: 2.2 km/h; Radiación: 1000 W/m²; Temperatura del cable: 90° C.

Tabla 3.5.- Características eléctricas bajo condiciones de viento a 2.2 km/h.

Sección (mm ²)	Corriente (A) a temperatura ambiente		
	35° C	40° C	50° C
35	186	177	156
50	223	212	187
70	279	265	234
95	341	324	286
120	394	374	330
150	447	424	373
185	515	488	430
240	611	579	510
300	700	664	583

3.4.3.2 Intensidades máximas de cortocircuito admisibles en los conductores.

Estas intensidades corresponden a una temperatura de 250°C alcanzada por el conductor, supuesto que todo el calor desprendido durante el proceso de cortocircuito es absorbido por el propio conductor. La temperatura inicial del mismo se supone en 40 °C y la duración en segundos para cada caso se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6.- Intensidades máximas de corto circuito admisibles en kA.

Sección nominal en mm ²	Duración del cortocircuito en segundos								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
50 Al	14,7	10,1	8,5	6,6	4,6	3,8	3,3	2,9	2,7
95 Al	27,9	19,2	16,1	12,5	8,0	7,2	6,2	5,6	5,1
150 Al	44,1	30,4	25,5	19,8	13,9	11,4	9,9	8,8	8,1

3.4.4 Identificación del cable.

La superficie externa de la cubierta exterior deberá ser marcada a intervalos regulares de hasta 50 cm con caracteres indelebles y resistentes a los efectos de la intemperie, conteniendo la siguiente información:

- Nombre del fabricante.
- Material y sección nominal en mm² del conductor.
- Clase de tensión (KV).

- La inscripción: “CABLE NO AISLADO – NO TOCAR”.
- Material de la cubierta exterior (XLPE).
- Año de fabricación.
- La inscripción: “BLOQUEADO” (si fuere el caso).

3.4.5 Ejemplo de designación.

Cable aislado en XLPE, tensión 15 kV, conductor de aluminio de 202.09 mm² de sección: (FABRICANTE) - AL 202.09 mm² -15 KV- "CABLE NO AISLADO-NO TOCAR"- XLPE-99

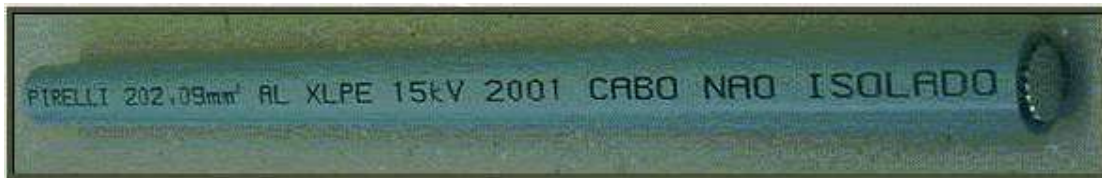


Figura 3.32.- Información contenida en la cubierta externa del conductor de aluminio.

3.4.6 CATALOGO COIDEA.

Cable protegido Phelps Dodge - PLP - Coidea

3.4.6.1 Tensiones nominales: Están diseñados para tensiones nominales de 15, 25 y 35 kV.

3.4.6.2 Metal del conductor: Aluminio puro.

3.4.6.3 Formación del conductor: Cuerda circular compacta.

3.4.6.4 Bloqueo de la humedad: Poseen un sistema de bloqueo longitudinal que cierra todo intersticio posible entre los hilos del conductor compactado evitando el ingreso de humedad a cualquier tramo del cable.



Figura 3.33.- Partes principales que componen al conductor semiaislado.

3.4.6.5 Confinamiento del campo eléctrico: Posee una capa semiconductora de polietileno reticulado extruido sobre el conductor.

3.4.6.6 Aislación del cable: Los cables de doble camada, cuentan sobre la capa semiconductora con una capa interna de polietileno reticulado (XLPE) natural y una externa de HDPE con idénticas características eléctricas que los accesorios.

Como alternativa, los cables protegidos **Phelps Dodge - PLP - Coidea** de simple camada, están dotados de una cobertura de polietileno reticulado (XLPE) natural, con propiedades contra el encaminamiento (tracking) en todo su volumen, resistente a la intemperie y la radiación ultravioleta.

Estas coberturas reducen notablemente la corriente de fuga, de un nivel aproximado a 350 mA, en caso de contacto accidental del cable con objetos puestos a tierra o entre fases. También permiten una disminución del espaciamiento entre los conductores dando total seguridad y confianza al sistema de la red compacta.

Estos cables son del tipo **protegidos**, no se trata de cables **aislados**, por tal razón los procedimientos necesarios para mantenimiento y operaciones deben ser similares a aquellos utilizados para líneas aéreas convencionales desnudas.

3.4.6.7 Temperatura de trabajo de los cables: En cualquiera de las versiones las temperaturas máximas admisibles son las siguientes:

- Régimen permanente: 90° C.
- Sobrecargas de emergencia: 130° C.
- Cortocircuito (5 s.) 250° C.

3.5 Protección máxima corriente.

Los circuitos primarios de las redes aéreas compactas serán protegidos contra fallas de cortocircuito (máxima corriente), con los mismos tipos de dispositivos adoptados para las redes convencionales de conductores desnudos.

3.6 Protección contra sobretensiones.

La protección contra sobretensiones en las redes aéreas compactas será realizada mediante apartarrayos, adecuadamente dimensionados e instalados, de modo de obtener el mayor empleo del equipamiento protector y la máxima protección para la red.

3.7 Localización de los apartarrayos.

Se recomienda la instalación de apartarrayos de sobretensión en los siguientes puntos:

- En las estructuras con transformadores de distribución
- En la salida/s de línea/s troncal/les
- En todo final de línea, troncal/les y ramales
- En punto/s intermedios de la línea troncal
- En estructuras de transición, si corresponde (cambio de línea convencional a protegida y viceversa)

3.8 Equipos de maniobra.

Los equipamientos a utilizar así como los puntos de colocación serán similares a los utilizados en redes convencionales, es decir:

- Cuchillas desconectadoras.
- Cortacircuitos fusibles.
- Apartarrayos.

3.9 Puesta a tierra del cable de acero portante.

Un aspecto importante para asegurar la protección pararrayos es prever adecuadas y frecuentes puestas a tierra del cable portante. Las recomendaciones normales para puestas a tierra son como mínimo una puesta a tierra cada 150 metros con una resistencia máxima de tierra de 25 ohms. Una puesta a tierra apropiada es esencial para el funcionamiento confiable a largo término para el SCAE.

3.10 Puesta a tierra temporaria de los circuitos primarios.

En los circuitos primarios con cables protegidos se deberá prever, en intervalos de aproximadamente 300 metros, la instalación de estribos con conectores tipo cuña para la conexión del conjunto de puesta a tierra temporario para la ejecución de los servicios de mantenimiento en condiciones de seguridad operativa.

3.11 Transformadores.

Los criterios de selección, determinación de potencia, características constructivas, normas de aplicación, etc. serán los utilizados para las redes convencionales de cables desnudos.

3.12 Cable de sustentación o portante.

Se utilizarán cables de acero galvanizado, preferentemente formación 1x19.

Los diámetros variarán desde 6.4 mm para sustentación de la red protegida conformada por cables de 35 mm^2 de sección, a 9.5 mm para cables de 185 mm^2 de sección.

En los ángulos se utilizan aisladores para amarrar los cables conductores.

El cable mensajero o portante tiene básicamente 4 aplicaciones las cuales se mencionan a continuación:

- Cable mensajero con función de protección mecánica: Protege de la caída de ramas y objetos.
- El cable portante es el miembro resistente que da todo el soporte mecánico a los conductores de fase y espaciadores.
- El cable portante actúa como conductor neutro del sistema, dando un camino continuo con puestas a tierra múltiples para las corrientes de neutro.

- El cable portante proporciona un blindaje de protección pararrayos, ya que tiene características de operación similares a un hilo de guarda instalado en la cima de un poste de una línea de transmisión convencional.

3.13 Espaciadores.

Los espaciadores, en los vanos entre postes, se montarán a una distancia máxima de 8 metros, similar a como se muestra en la figura 3.34.

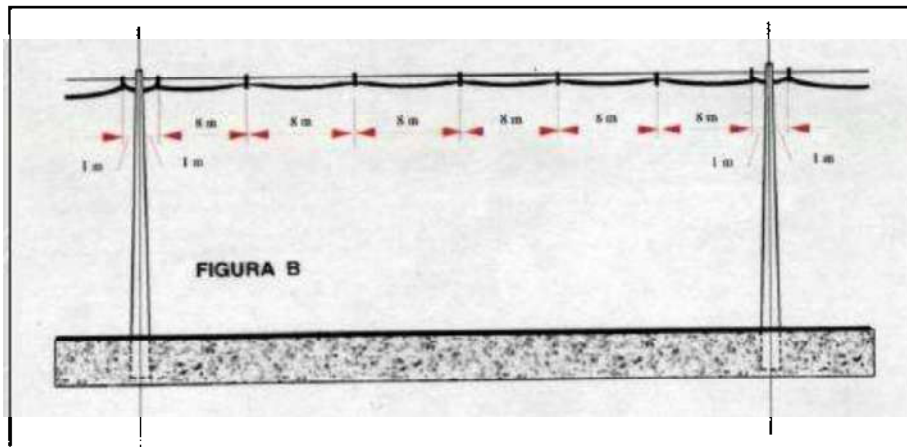


Figura 3.34.- Distancias más comunes para la colocación de los espaciadores entre poste y poste.

Bajo otras condiciones se pueden colocar a distancias entre 7 y 13 metros y con esto disminuir la posibilidad de que se rompa el conductor y llegue al suelo.

3.14 Vanos.

En las redes primarias y secundarias, únicamente con línea de media tensión, podrán proyectarse vanos de hasta 70 metros. En cambio, en particular sobre las redes secundarias, sobre los soportes donde se extiendan tramos de baja tensión el vano será en torno de 35 metros.

3.15 Retenciones.

Se colocarán aproximadamente cada 300 metros.

3.16 PRUEBAS REALIZADAS A LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN COMPACTAS.

3.16.1 Cortocircuito con madera mojada, fase - neutro:

Es muy probable que los sistemas rurales posean secciones de línea que no sean recorridas por largos períodos después de tormentas o vientos fuertes. Las ramas caídas sobre el sistema de cable con espaciadores no constituyen causa de interrupciones de servicio, ni

momentáneas ni permanentes. Así, una rama puede quedar cortocircuitando entre fases o fase-neutro por un largo período. Para estimar el tiempo que puede subsistir tal condición, sin que aparezca una erosión de la cubierta suficiente para provocar una falla, se tomaron un trozo de cable portante desnudo y otro de conductor de fase, y se pusieron en cortocircuito por medio de una tabla de madera mojada, tal y como se muestra en la Figura 3.35:

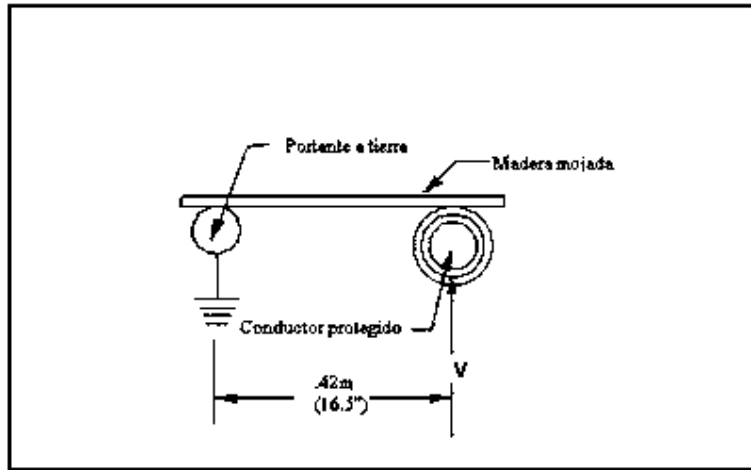


Figura 3.35.- Prueba de corto circuito de fase a neutro con madera mojada.

Se puso a tierra al neutro y se energizó al conductor protegido. El espaciamiento de conductores fue de 0.42 metros. El tiempo transcurrido hasta que apareció una falla fase-neutro fue como se muestra en la tabla 3.7.

Tabla 3.7.- Datos obtenidos con la prueba de corto circuito fase a neutro.

Tensión Aplicada [KV]	Tipo de Cable		
	15 KV	15 KV	35 KV
	Sin blindaje	Blindado	Blindado
	Tiempo transcurrido hasta fallar [horas]		
30	510.5	856.5	Test detenido a las 3.405 horas
40	50.0	220.4	No se ensayó
50	0.3	3.9	No se ensayó

El tiempo que transcurrirá hasta fallar, con las tensiones de operación normales fase-neutro (es decir 7.6 y 19 KV) es bastante largo; y también se demuestra claramente el beneficio que trae el uso del blindaje. El tiempo de falla para el cable de 35 KV, aún a 1.5 veces su tensión normal de operación, resulta tan largo que hace impracticable un ensayo de duración razonable.

3.16.2 Un ejemplo real:

En el año 1985 la compañía *Bangor Hydro* instaló un sistema de cable con espaciadores en un sector de circuito de 46 KV en conexión estrella con neutro aislado. Los cables protegidos consistieron en conductores de aluminio, con blindaje semiconductor extruido, capa aislante de 5.7 mm de espesor de polietileno natural de alto peso molecular, y una capa resistente a la erosión eléctrica de 4.45 mm de espesor en polietileno de alta densidad, estabilizado para radiación UV. En 1996 se notó que una rama de pino de 51 mm de diámetro estaba en contacto con una de las fases. Una cuadrilla cortó la rama. Dicha rama fue desgastada por el frotamiento y se carbonizó en 1/3 de su espesor. Las estimaciones acerca del tiempo que la rama permaneció en contacto con el conductor oscilaron desde un mínimo de 4 a un máximo de 8 años. Se encontró solo una moderada erosión eléctrica sobre la superficie del cable. No se recomienda la permanencia de contactos entre ramas y cables, pero este incidente plantea un marco temporal sobre cuán largo puede ser admitido un contacto sin que resulte una falla del cable.

3.16.3 Confiabilidad.

Es difícil obtener datos estadísticos comparando la confiabilidad del cable con espaciadores con respecto a la de líneas aéreas convencionales desnudas, debido a diferencias en las condiciones ambientales locales, edad de las redes, y significado estadístico de la magnitud de los sistemas a comparar. Se obtuvo información de una empresa distribuidora de energía con mas de 30 años de experiencia con redes en cable con espaciadores y líneas desnudas, perteneciente a un período de 3 años desde 1995 a 1997. La edad relativa de las redes no es conocida, pero esta empresa usó cable con espaciadores desde mediados de los '50s, con una presencia de más de 750 Km de líneas acumuladas.

La política de dicha empresa es la de usar cable con espaciadores donde las circunstancias imperantes lo aconsejen, tales como áreas densamente arboladas, donde haya dificultades para obtener permisos de poda, con problemas de permiso de paso, construcción bajo líneas de alta tensión, y circuitos de confiabilidad crítica. Todo esto coloca siempre al cable con espaciadores sobre "caminos de difícil acceso", que hace subestimar en cualquier estadística comparativa a las reales ventajas del mismo.

Las salidas de servicio de esta empresa son clasificadas en 3 categorías: 1) de menos de 5 minutos de duración; 2) salidas relacionadas con tormentas; y 3) salidas no relacionadas con tormentas, y de mas de 5 minutos de duración. La información separada por tipo constructivo aparece sólo en las salidas no relacionadas con tormentas, y de más de 5 minutos de duración. Para este caso, los circuitos en cable con espaciadores presentaron un 83 % menos salidas de servicio que los circuitos de líneas desnudas, tal y como se indica en la tabla 3.8.

Tabla 3.8.- Desglose de las causas de salida de servicio durante un periodo de 3 años (1995-1997).

Causa de Salida	Cable Desnudo	Cable con Espaciadores	Reducción [%]
Relacionada con árboles	17.6	1.8	90
Animales	12.1	2.9	76
Rayos	3.4	1	71
Total	33.1	5.7	83

La vasta mayoría de las salidas de servicio están en la categoría de menos de 5 minutos de duración, y esas son virtualmente eliminadas por la misma naturaleza del diseño del cable con espaciadores. Las salidas relacionadas con tormentas (extractadas de los registros para hacer la comparación) representaron el 20 % del total de salidas reportadas, pero significaron el 42 % de las interrupciones a los consumidores, y el 77 % de los minutos de salida. El cable con espaciadores está específicamente diseñado para resultar efectivo contra salidas de servicio relacionadas con tormentas. La Figura 3.36 indica que el cable con espaciadores es inherentemente resistente a los accidentes debidos a la fauna salvaje. Suplementándolo con capuchones protectores de vida salvaje y cable protegido de derivación, la reducción de salidas por contactos con fauna salvaje podría llegar al 100%.

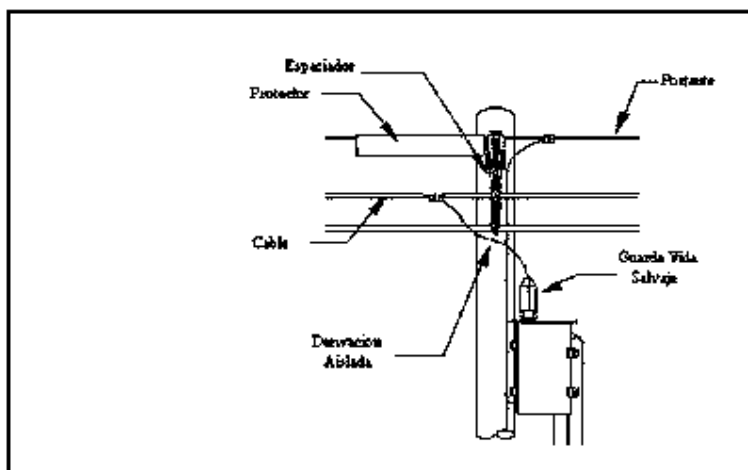


Figura 3.36.- Elementos adicionales para la reducción de fallas por causas de fauna salvaje.

3.16.4 Seguridad.

A los conductores protegidos siempre se les debe considerar como si fueran desnudos, a los fines de seguridad del personal de operación como del público en general. Algunos expresan temor acerca que salvo en el caso que la cubierta se haya roto en el punto de contacto con tierra, no habrá suficiente flujo de corriente de falla para activar las protecciones e interrumpir el circuito. A pesar de que esto es cierto, quedan algunas falacias que hacen aparecer al cable con espaciadores poco seguro cuando se le compara con líneas desnudas convencionales. Corresponde recordar que:

1) “A pesar que las estadísticas no lo reflejan, los linieros que responden a las llamadas de reclamo informan que entre 1/3 y ½ de las veces que encuentran cables caídos, estos aún están energizados cuando llegan al escenario del accidente”.

2) La fortaleza inherente del sistema de cable con espaciadores, y las cifras de confiabilidad, sugieren que la cantidad de veces que se cae el cable comparado con las veces que se cae una línea aérea desnuda, hace parecer al cable desnudo mucho más vulnerable.

3) A pesar de que no se le usa específicamente por razones de seguridad, la realidad es que el mayor diámetro del cable con espaciadores lo hace mucho más visible, haciendo que el contacto sea mucho menos probable. Además, si la cubierta esta intacta y no tiene contaminación inusual, un contacto accidental ocasionará solo la aparición de una corriente de carga capacitiva. Mientras de este contacto puede resultar un shock atemorizante, seguramente el mismo no será suficiente para causar electrocución en una persona normal. Esto también es aplicable al ganado.

3.17 COMPARACION ENTRE REDES CONVENCIONALES Y REDES COMPACTAS.

En la figura 3.37 se muestra un análisis económico correspondiente al costo de la inversión inicial que representa la construcción de red eléctrica compacta comparado con otros sistemas de distribución de energía eléctrica existentes.

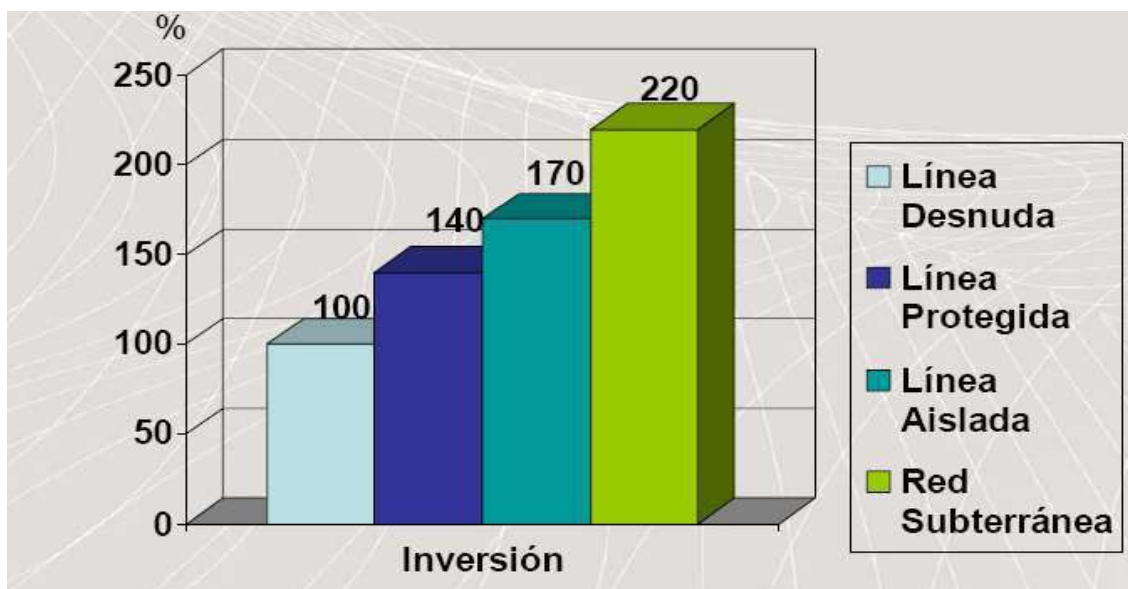


Figura 3.37.- Análisis económico – inversión inicial.

Es importante también mencionar el costo que refleja la extensión de líneas cuando ya se tiene red eléctrica en operación, ya sea red convencional o compacta, pero que por condiciones de crecimiento de usuarios existe la necesidad de ampliar el circuito eléctrico existente. Ver tabla 3.9.

Tabla 3.9.- Costos totales - extensión de líneas.

	Línea Desnuda	Línea Protegida	Línea Aislada
Inversión Inicial	100	115	163
Mantenimiento Correctivo	9	2	1
Mantenimiento Preventivo	32	3	1
Total	141	120	165
(línea desnuda = 100)	100	85	117

Datos promedio (Línea desnuda = 100)

Cada uno de los diferentes tipos de distribución de energía eléctrica, presentan ventajas y desventajas que reflejan la confiabilidad que ofrecen tanto al propio sistema eléctrico como a cada uno de los usuarios de energía eléctrica, por ello es importante considerar cada uno de los puntos que se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10.- Comparación entre diferentes tipos de líneas.

	RDA Convencional	RDA Compacta	RDA Aislada	RDS
Confiabilidad	baja	media	alta	Muy alta
Seguridad	baja	media	alta	Muy alta
Interferencia con vegetación	Muy alta	Alta	Media	Ninguna
Acometidas	Simples	Simples	Complejas	Complejas
Resistencia a descargas Atmosféricas	Baja	Media	Alta	Alta
Localización de fallas	Fácil	Fácil	Fácil	Difícil
Campo eléctrico	Abierto	Abierto	Confinado	Confinado
Campo magnético	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Inversión inicial	100	120 a 140	150 a 170	180 a 800



Carrying Energy ... Powering the World.

Donde:

RDA = Red de Distribución Aérea.

RDS = Red de Distribución Subterránea.

Para la elección de los sistemas de distribución de energía eléctrica a utilizar, es de suma importancia tener 5 aspectos muy importantes que al final de cuentas refleja el buen funcionamiento y buena planeación del sistema. Estos puntos se muestran en la tabla 3.11.

Tabla 3.11.- Elementos a considerar para la elección de los sistemas.

Concepto	Elemento a considerar
Confiabilidad	Continuidad del servicio y caída de tensión
Seguridad	Distancias y corrientes de fuga
Economía	Inversiones, costos operativos y pérdidas técnicas
Ecología	Tipo y frecuencia de podas
Costo - Beneficio	Valor presente de la inversión considerando costos operativos

 **PRYSMIAN** Carrying Energy ... Powering the World.

Existen 2 factores que son muy importantes para la empresa suministradora de energía eléctrica, que tienen que ver con el servicio que le ofrecen al cliente. Estos factores se detallan en las tablas 3.12 y 3.13 respectivamente.

Tabla 3.12.- Índice “DEC” (duración de interrupciones).

Naturaleza de la Interrupción		Valor / usuario – año (horas)		
		Línea Convenciona	Red Subterránea	Línea Protegida
Programada	Construcción	1.50	1.50	1.50
	Mantenimiento	2.25	0.50	0.75
	Terceros	0.40	0.20	0.25
Accidental	Propios	2.00	0.35	0.70
	Atmosféricas	4.25	0.30	0.45
	Otros	1.10	0.40	0.55
	Total	11.50	3.25	4.20

 **PRYSMIAN** Carrying Energy ... Powering the World.

Tabla 3.13.- Índice “FEC” (Frecuencia de interrupciones).

Naturaleza de la Interrupción	Valor (Interrupción / usuario – año)		
	Línea Convencional	Red Subterránea	Línea Protegida
Programada	2.4	1.5	1.7
Accidental	6.6	1.5	3.3
Total	9.0	3.0	5.0

PRYSMIAN CABLE & SYSTEMS Carrying Energy ... Powering the World.

3.18 SITUACION REAL EN MEXICO, EN CUANTO A LA UTILIZACION DE REDES DE DISTRIBUCION COMPACTAS, (DIVISION CENTRO OCCIDENTE, ZONA URUAPAN).

A continuación se ilustra y se mencionan detalladamente la situación de la CFE y los logros obtenidos con la implementación de redes aéreas compactas, en la ciudad de Uruapan Michoacán:

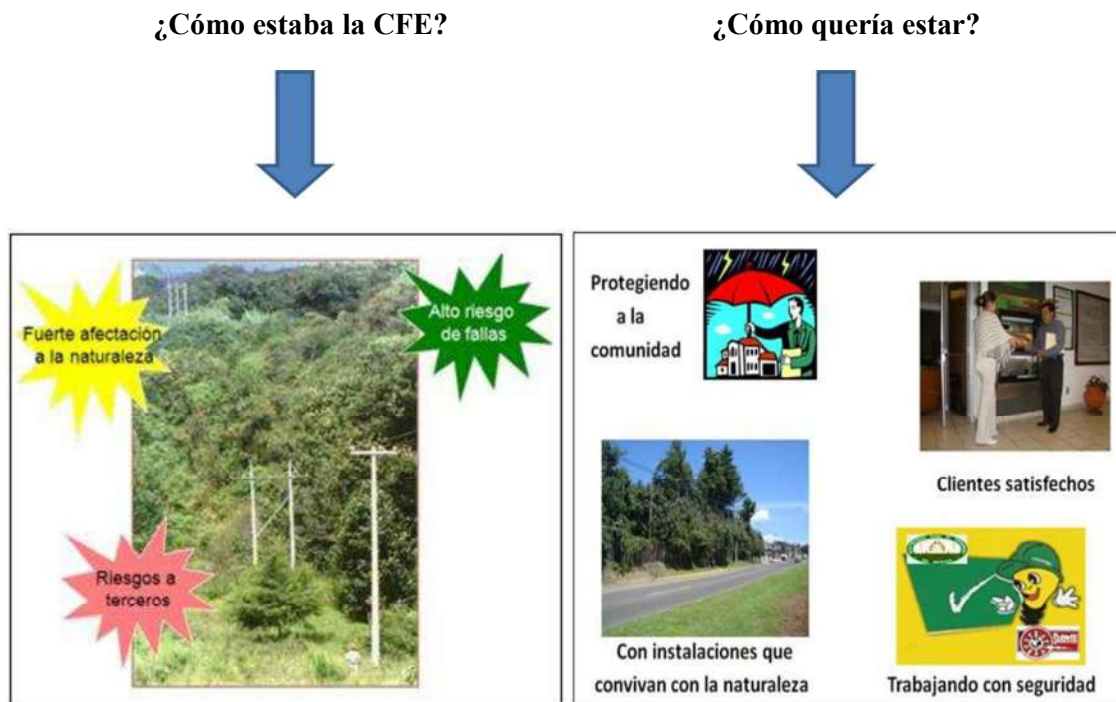


Figura 3.38.- Visión en cuanto a mejoría en el proceso de M.T de la CFE zona Uruapan.

ANALISIS CAUSA – EFECTO DEL PROBLEMA



Figura 3.39.- Factores que intervienen en la productividad del proceso de M.T en la CFE.

3.18.1 Implementación y desarrollo de redes aéreas compactas en el proceso de M.T.

Con la implementación de este sistema, la CFE ha logrado obtener beneficios importantes tanto para la empresa, como para el cliente, permitiendo con esto mejorar la relación distribuidora - cliente. Los resultados obtenidos hasta el momento se mencionan a continuación:

RESULTADOS OBTENIDOS:

1.- BENEFICIOS PARA LOS CLIENTES.

Con la construcción de instalaciones compactas la CFE ha logrado brindar seguridad a su personal, a sus propias instalaciones, y lo más importante, “el cliente”, tal y como se muestra en la figura 3.40.



Figura 3.40.- Beneficios obtenidos por el cliente con la construcción de instalaciones compactas.

2.- BENEFICIOS PARA EL PERSONAL.

Se brinda seguridad al personal de campo, ya que le permite trabajar ante condiciones más seguras, además se ve beneficiado todo el personal involucrado en la realización de las obras, desde la planeación del proyecto, hasta la ejecución de la obra, así como se ilustra en la figura 3.41.



Figura 3.41.- Ambiente laboral y logros del personal de la CFE zona Uruapan.

3.- BENEFICIOS PARA LA INSTITUCION.

Se construyeron a octubre de 2007, 17 km de línea de M.T. en el área urbana y 26 km en el área rural, tal y como se muestra en la figura 3.41. Con ello se ha logrado respetar y convivir con la naturaleza.



Figura 3.42.- Construcción de 43 km de línea de M.T. a octubre de 2007.

- TIEMPO DE INTERRUPCION POR USUARIO.

Estas obras contribuyeron a la reducción del TIU de la zona Uruapan de un valor de 77.91 minutos en el año 2000 a 37.436 minutos en octubre del 2007, figura 3.42. Con esto se ha logrado mejorar la imagen de CFE.

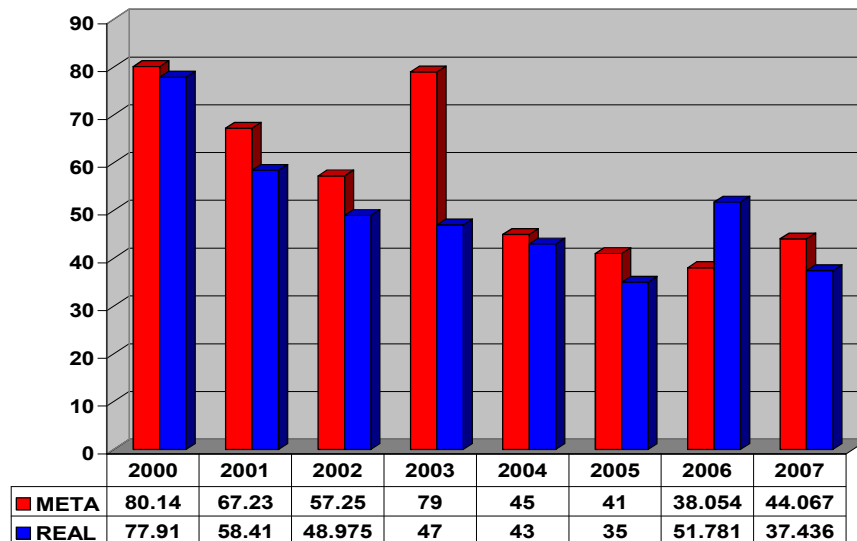


Figura 3.43. Reducción del tiempo de interrupción por usuario.

- EFICIENCIA EN DISTRIBUCIÓN.

También se ha contribuido a mejorar la eficiencia en los procesos de asesoría y cotizaciones, y constructora de M.T. de un valor de 84.94% en el 2000 a un valor de 91.14% en octubre del 2007, tal y como se ilustra en la figura 3.43.

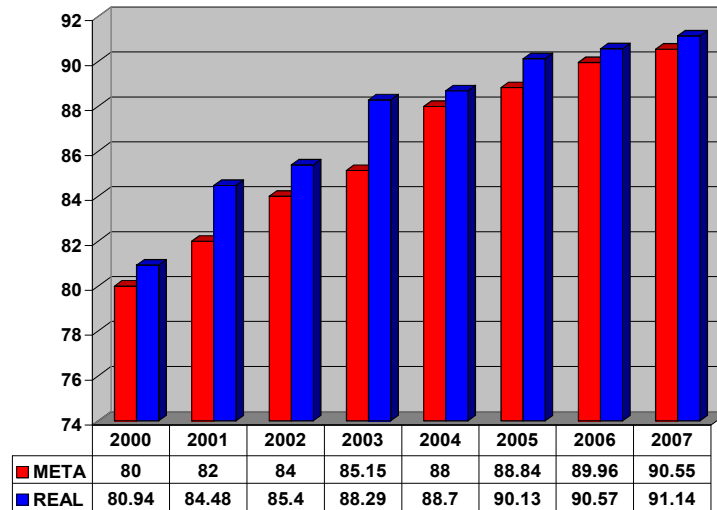


Figura 3.44.- Eficiencia lograda en el proceso de distribución de la CFE zona Uruapan.

3.18.2 Análisis beneficio – costo de las redes compactas.

Para demostrar si resulta costeable la realización de estas obras dentro de la CFE, se muestra a continuación un análisis beneficio – costo realizado al mes de octubre del 2007.

Es importante señalar que los costos por kilómetro de línea en el siguiente análisis, fueron tomados del catalogo de precios anterior y no del catalogo de precios actualizado que se muestra más adelante. Además para la realización de estas obras se utilizaron materiales existentes en el almacén del proceso constructora de Media y Baja Tensión de CFE, por lo cual contribuyeron a reducir el costo por kilómetro de línea compacta construida.

Los resultados obtenidos de este análisis fueron los siguientes:

ANALISIS BENEFICIO COSTO.

BENEFICIOS:	
>AHORRO ECONÓMICO POR EL TIU (ENERGÍA DEJADA DE VENDER C.F.E.)	= \$ 341,050
>ENERGÍA NO SUMINISTRADA (IMPACTO AL CLIENTE)	= \$ 620,150
>AHORRO ECONÓMICO POR LA EFICIENCIA EN M.T.:	= \$ 186,031
>AHORRO ECONÓMICO EN EL COSTO DEL PROCESO DE M.T.:	= \$ 96,950
>VALOR DE RESCATE DE 18 KM DE LINEA DE M.T. \$: 10,850 / KM	= \$ 195,300
TOTAL:	\$ 1,439,481

COSTOS:

➤ CONSTRUCCIÓN DE 43 KM. DE LINEA DE M.T. :	\$142,000 / km	= \$ 6,106,000
TOTAL:		= \$ 6,106,000

RELACIÓN BENEFICIO / COSTO (VIDA ÚTIL DE 20 AÑOS DEL PROYECTO):

$$\text{RELACIÓN BENEFICIO / COSTO} = 20 * (\$ 1,439,481 / \$ 6,106,000)$$

$$\mathbf{B / C = 4.71}$$

Lo anterior indica que por cada peso invertido en la construcción de las obras, se obtuvieron 4.71 pesos de ganancia para la empresa. Esto refleja que la construcción de estas obras ha resultado costeable para la compañía suministradora de energía eléctrica.

3.18.3 Costos de construcción de redes eléctricas en CFE.

Veamos ahora los costos que representan para la CFE la construcción de redes eléctricas aéreas desnudas, redes aéreas compactas y redes subterráneas. Los datos que se muestran en la tabla 3.14, han sido tomados del catálogo de precios del suministrador para realizar el análisis correspondiente. El catálogo completo de precios de las redes mencionadas en este párrafo se encuentra en el apéndice A.

Tabla 3.14. Lista de precios de construcción de redes eléctricas en M.T.



SUBDIRECCION DE DISTRIBUCION
CATALOGO DE PRECIOS DEL SUMINISTRADOR
COSTO POR KILOMETRO DE LINEAS DE DISTRIBUCION

PESOS AL MES DE JULIO.2009 M.N

DESCRIPCION	MATERIALES Y EQUIPO DE INSTALACION PERMANENTE	MANO DE OBRA	DISEÑO DEL PROYECTO	SUPERVICION	COSTO TOTAL/KM.	RETIRO
1C-1F-2H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	74 584.86	27 853.10	1 592.58	1 514.84	105 545.37	25 725.27
1C-2F-3H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	88 056.33	32 281.92	1 592.58	1 514.84	123 445.67	31 464.62
1C-1F-2H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	79 556.45	28 501.70	1 592.58	1 514.84	111 165.57	27 676.95
1C-2F-3H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	97 999.52	33 579.13	1 592.58	1 514.84	134 686.07	35 368.01
1C-1F-2H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	122 297.88	37 379.56	2 890.62	2 657.56	166 225.62	32 870.21
1C-2F-3H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	145 782.22	42 673.77	2 890.62	2 657.56	194 004.18	39 258.61
1C-1F-2H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	123 820.48	38 028.16	2 890.62	2 657.56	167 396.82	34 821.89
1C-2F-3H-13KV-3/0-AWG-AAC-PC (URBANA)	148 827.43	43 970.98	2 890.62	2 657.56	198 346.59	43 161.99
1C-3F-4H 13KV-3/0-AWG-SA-ACSR-PC (URBANA)	251 598.74	46 225.31	2 890.62	2 657.56	303 372.24	48 735.73
1C-3F-4H-13KV-3/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	328 415.61	81 824.24	12 589.91	19 034.29	616 639.34	1 317.59

ESTOS COSTOS NO INCLUYEN IVA.

Construcción de red eléctrica desnuda (rural):

Como se puede observar, el suministrador solamente proporciona la lista de precios para circuitos de una y dos fases, se hacen algunos ajustes para calcular el costo por km de línea desnuda para un circuito a 3 fases con neutro corrido (1C-3F-4H). Esto con la finalidad de hacer la comparación real con el sistema compacto, el cual incluye (1C-3F-4H).

Procedimiento:

Para calcular el costo por km de un circuito a 3 fases se hace lo siguiente:

Primeramente tomamos el costo total por kilómetro para los circuitos a una y dos fases con conductor 1/0, es decir,

1C-2F-3H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL): \$ 123 445.67

1C-1F-2H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL): \$ 105 545.37

La diferencia entre estas dos cantidades es de: \$ 17 900.30

Ahora tomemos como referencia al conductor 3/0 para realizar el mismo cálculo:

1C-2F-3H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL): \$ 134 686.07

1C-1F-2H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL): \$ 111 165.57

La diferencia entre estas dos cantidades es de: \$ 23 520.50

Sumando ambas diferencias y sacando su promedio, podemos obtener el valor o costo que representa la construcción de una fase más por circuito:

$$(23\,520.50 + 17\,900.30) / 2 = 20\,710.40$$

Tomando el valor anterior y sumado al valor que representa 1C-2F-3H-13KV-3/0 tenemos lo siguiente:

$$134\,686.07 + 20\,710.40 = 155\,396.47$$

Esto quiere decir que el costo total/km aproximado para construir un circuito 3F-4H rural es de:

1C-3F-4H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL): \$ **155 396.47**

Construcción de red eléctrica desnuda (urbana):

Siguiendo el mismo procedimiento, calculamos el costo por kilómetro de línea desnuda urbana:

1C-2F-3H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA): \$ 194 004.18

1C-1F-2H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA): \$ 166 225.62

La diferencia entre estas dos cantidades es de: \$ 27 778.56

Ahora tomemos como referencia al conductor 3/0 para realizar el mismo cálculo:

1C-2F-3H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (URBANA): \$ 198 346.59

1C-1F-2H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (URBANA): \$ 167 396.82

La diferencia entre estas dos cantidades es de: \$ 30 949.77

Sumando ambas diferencias y sacando su promedio, podemos obtener el valor o costo que representa la construcción de una fase más por circuito:

$$(27\,778.56 + 30\,949.77) / 2 = 29\,364.16$$

Tomando el valor anterior y sumado al valor que representa 1C-2F-3H-13KV-3/0 tenemos lo siguiente:

$$198\,346.59 + 29\,364.16 = 227\,710.75$$

Esto quiere decir que el costo total/km aproximado para construir un circuito 3F-4H urbano es de:

1C-3F-4H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (urbano): \$ **227 710.75**

Construcción de red eléctrica compacta (urbana):

Del catálogo de precios obtenemos la siguiente cantidad:

1C-3F-4H 13KV-3/0-AWG-SA-ACSR-PC (URBANA): \$ **303 372.24**

Construcción de red eléctrica subterránea:

Del catálogo de precios obtenemos la siguiente cantidad:

1C-3F-4H-13KV-3/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO): \$ **616 639.34**

Resumiendo:

1C-3F-4H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL): \$ **155 396.47**

1C-3F-4H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (URBANA): \$ **227 710.75**

1C-3F-4H 13KV-3/0-AWG-SA-ACSR-PC (URBANA): \$ **303 372.24**

1C-3F-4H-13KV-3/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO): \$ **616 639.34**

En base a los datos anteriores podemos hacer el análisis económico – inversión inicial de estas redes. Este análisis se muestra en la figura 3.44.

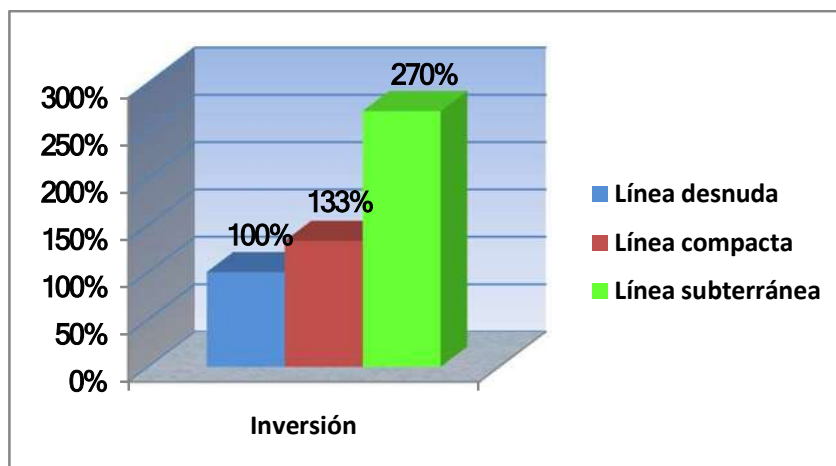


Figura 3.45.- Análisis económico – inversión inicial en CFE.

3.18.4 Estadísticas de operación y funcionamiento de las redes compactas dentro de la CFE zona Uruapan.

La CFE en un esfuerzo por mejorar la eficiencia y productividad en el área de distribución, ha optado por el desarrollo de nuevos proyectos. Uno de estos proyectos ha sido la implementación e impulso de las redes de distribución compactas, las cuales han mostrado un alto índice de confiabilidad desde la construcción de la primera obra en la ciudad de Uruapan.

Cabe mencionar que la primera obra realizada en esta ciudad fue llevada a cabo por personal de CFE en el año 2005, un año antes se había realizado la primera obra en la ciudad de Morelia. Consecuentemente se han efectuado más obras de este tipo pero ahora llevadas a cabo por parte de constructores.

Resulta notorio que este sistema de distribución tiene relativamente poco tiempo utilizándose dentro de la CFE, sin embargo es importante señalar que del 2004 al 2009 la CFE tiene reportadas únicamente 2 fallas en lo que respecta a las redes compactas. Las causas a estas fallas fueron las siguientes:

1.- Primeramente se tiene una falla ocasionada por la caída de un árbol de gran tamaño sobre la línea de media tensión, tal y como se muestra en la figura 3.45.



Figura 3.46.- Falla en línea compacta ocasionada por caída de árbol.

2.- La segunda falla que se tiene registrada fue ocasionada por una descarga atmosférica, provocando que el conductor semiaislado se trozara y callera al suelo. Las posibles causas de trozamiento establecidas por CFE son las siguientes:

2.1. Sobretenensión en exceso del NBAI del aislador + el forro.

La descarga atmosférica origina una sobretenensión -directa o inducida- que se transmite hasta el aislador, donde se encuentra un aguante al impulso (microsegundos) del orden de 130 a 150 kV (aislador + forro del cable semiaislado). Cuando la sobretenensión producida por el rayo excede el aguante del forro más el aislador: se perfora el forro y se establece un arco desde el conductor hasta la cruceta.

2.2. Se establece el arco de 60 Hz y queda aplicado en un punto muy localizado. Ya iniciado el arco, se establece la corriente de falla de 60 Hz que queda concentrada en el punto -unos tres milímetros- en el que se perforó el aislamiento del cable semiaislado y, en puntos débiles de la red, la corriente de falla puede ser pequeña y durar el tiempo suficiente para sobrecalentar y fundir el conductor.

2.3. En el punto de falla se funde el aluminio y se reduce la sección efectiva del conductor. La cantidad de aluminio fundido en un punto muy concentrado ocasiona la reducción de la sección efectiva del conductor, a tal grado que el aluminio entra en la región de deformación plástica a la tensión mecánica de trabajo.

2.4. El cable falla mecánicamente a la tensión de trabajo.

Una vez iniciada la deformación plástica del aluminio en el punto del arco, con la tensión mecánica aplicada permanentemente, la carga mecánica se traslada a la cubierta (forro) de polietileno, el cual no tiene la capacidad de aguante y, a su vez se deforma plásticamente hasta la ruptura por tensión y el conductor cae al piso. En la caída, se extingue el arco de falla y, si no se había alcanzado el criterio de disparo del circuito por sobrecorriente, para las protecciones, ya no hay falla.

2.5. El conductor energizado en el piso no es falla franca.

El conductor semiaislado energizado en contacto con el piso no es falla franca: la especificación CFE E0000-29 vigente indica que debe durar al menos 5 minutos en esa condición. Luego, la corriente de falla que se establece es fluctuante -magnitud variable- e intermitente -duración variable- por el movimiento del mismo cable y del arco no uniforme que puede establecerse a lo largo de un tramo de hasta un metro. Por esto último, esta condición es de difícil detección por las protecciones de sobrecorriente que tradicionalmente se incluyen en los alimentadores de media tensión.

Además cabe considerar que, en suelos de alta resistividad como son arena, roca o pavimentos, la corriente de falla puede ser tan pequeña que no se diferencie de la carga, con lo que puede pasar desapercibida para las protecciones.

ACCIONES RECOMENDADAS

Se estima que el modo de falla puede ser inhibido, en su desarrollo, con las siguientes acciones :

1. Instalar apartarrayos cada 200 - 400 m a lo largo del alimentador, a fin de reducir las sobretensiones durante descargas atmosféricas.
2. Dejar conductor desnudo en la proximidad de los aisladores, para que el arco no permanezca en el mismo punto del conductor.
3. En adición al punto no. 2, reforzar la sección del conductor en la proximidad del aislador, para que la sección efectiva de aluminio/ACSR resista la tensión mecánica. Se pueden usar preformados.
4. Introducir criterios de protección adicionales, más selectivos y más rápidos, para que la falla sea detectada oportunamente.

5. Por otro lado, en relación a la electroerosión del aislamiento del cable semiaislado por el alambre de aluminio con el que se hace la sujeción del cable a la cabeza del aislador, ésta se evita si se pone el alambre al potencial del conductor del cable, ya sea porque este se quede desnudo o porque intencionalmente se elimine aislamiento hasta que tenga contacto galvánico con el alambre.

Otras posibles soluciones:

- Utilizar aisladores de polietileno como los mencionados anteriormente, ya que CFE sigue utilizando aisladores de porcelana en la construcción de redes compactas, y hemos mencionado que los materiales o accesorios utilizados en estas redes deben ser de la misma constante dieléctrica para propiciar el buen funcionamiento de las mismas. El conductor lleva un aislamiento de polietileno reticulado por lo cual lo ideal es que el aislador que lo soporta en la cruceta sea de la misma característica o del mismo material. Es muy posible que la falla se registre debido a ello.
- Como segunda observación, la CFE sigue utilizando amarre de aluminio para sujetar el conductor semiaislado en el aislador, tal como lo hace para conductores desnudos. Lo ideal es utilizar preformado plástico para el amarre del conductor en el aislador o se tiene la otra opción que es la utilización del anillo de silicona para el amarre del conductor, y con esto se ahorra lo especificado en el punto 5.
- Uso de apartarrayos de sobretensión adecuados: la experiencia enseña que se deben colocar apartarrayos en todos los puntos de transición entre el SCAE y la construcción tradicional de línea desnuda. También en todas las conexiones a equipos (transformadores, derivaciones, alimentadores subterráneos, etcétera) y en todas las retenciones terminales. Se recomienda también la instalación de apartarrayos intermedios entre tramos de SCAE en regiones de alto nivel isocerámico. Además como ya se mencionó párrafos anteriores, las recomendaciones normales para puestas a tierra son como mínimo una puesta a tierra cada 150 metros con una resistencia máxima de tierra de 25 ohms.

Es muy importante señalar que las fallas presentadas, principalmente la ocasionada por descarga atmosférica tiene que ver muchísimo a que no se utilizan las estructuras o componentes adecuados en la construcción de la red. En este trabajo se han mencionado todos los accesorios indispensables para la buena operación del sistema de distribución compacto. La CFE no tiene aún normalizados cada uno de los accesorios que deben emplearse para la construcción de las mismas.

Cabe mencionar que la CFE utiliza en las redes compactas las mismas estructuras empleadas en las redes desnudas, es decir, utiliza las mismas crucetas pero modificadas o recortadas, utiliza los mismos aisladores de porcelana, los mismos amarres para el conductor, etc. Lo único que cambia es básicamente el conductor semiaislado y el espaciador.

Para hacer más clara la observación anterior, se muestra en la figura 3.46 un tramo de línea compacta construida en CFE y otro tramo de línea compacta ideal.

Red compacta construida en CFE con estructuras modificadas

Red compacta construida con herrajes normalizados

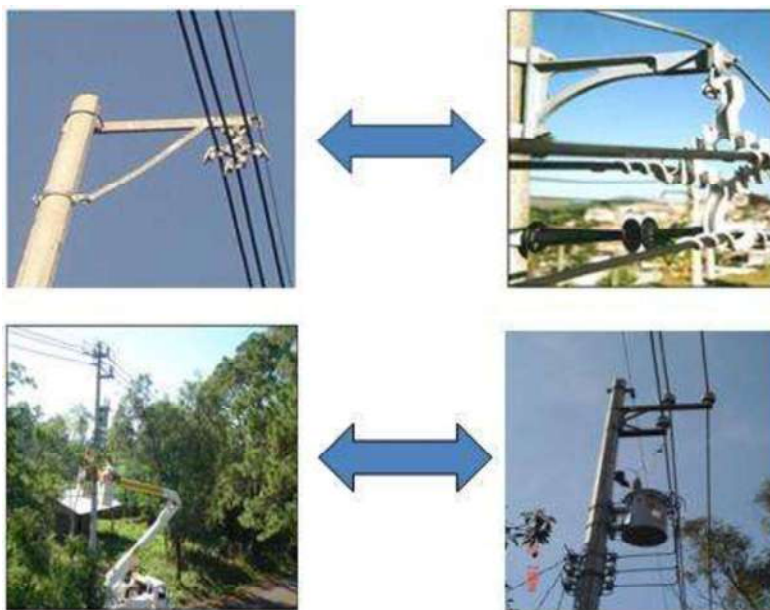


Figura 3.47. Comparación de red eléctrica compacta construida con herrajes modificados (figuras de la izquierda) y herrajes normalizados (figuras de la derecha).

3.19 APLICACIONES DE LAS REDES DE DISTRIBUCION COMPACTAS.-

Las Redes Compactas pueden aplicarse tanto a sistemas de distribución urbanos como rurales, teniendo en cuenta las siguientes particularidades:

- Para conductores protegidos de 25 y 35 mm^2 es posible utilizar como portante un cable de acero de 7 hilos de 25 mm^2 , pudiendo verificarse vanos de hasta 75 metros, Es decir que en caso de presentarse red aérea de tendido rural existente en buenas condiciones, la mayoría de ésta podrá reutilizarse.
- Para conductores protegidos desde 50 mm^2 se utilizará como portante un cable de acero de 7 hilos de 60 ó 70 mm^2 . En este caso los vanos promedios, en general, no superarán los 70 metros si se pretende utilizar postes de madera como soportes sostenes.

Las aplicaciones más comunes son las siguientes:

- Zonas densamente arboladas: Permiten menor área de poda de árboles y posibilitan una mayor periodicidad de mantenimiento preventivo de la misma. En caso de caída accidental de ramas o gajos, el cable portante sirve como reparo o protección de la red, tal y como se ilustra en la figura 3.38.



Figura 3.48.- Funcionamiento de la red de distribución compacta en zona arbolada.

- Zonas con gran incursión de aves: Protección de vida salvaje y eliminación de salidas fuera de servicio por accidentes con animales.



Figura 3.49.- Red eléctrica en zona con gran incursión de aves.

- Zonas con vanos importantes (promedio 100m): Vanos largos atravesando barrancas, ríos o arroyos, tal y como se muestra en la figura 3.40.

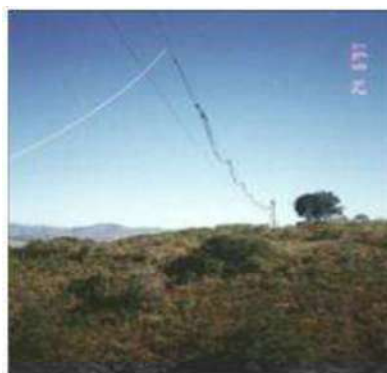


Figura 3.50.- Red eléctrica instalada sobre una barranca.

- Tendidos de configuración múltiple: Estructuras congestionadas. Debido al poco espacio que ocupa este tipo de configuración, permite la instalación de varios circuitos en una misma estructura. Con una compactación de las redes se tiene la posibilidad de instalar hasta cuatro circuitos en una misma estructura sin necesidad de recurrir a postes muy altos, tal y como se indica en la figura 3.41.

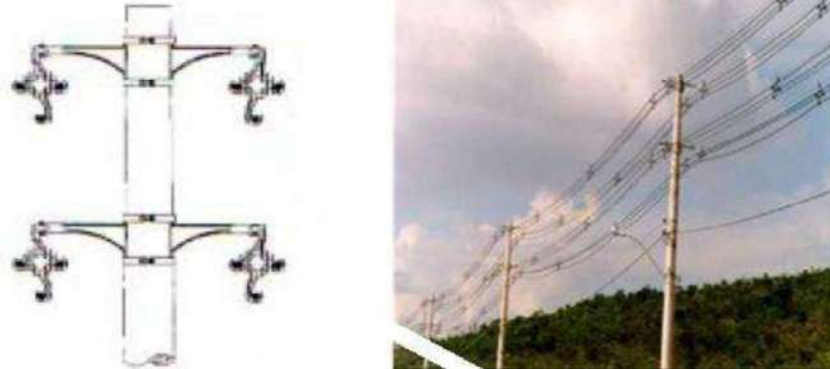


Figura 3.51.- Configuración múltiple que se obtiene con el uso de redes compactas.

- En áreas de difícil convivencia de las redes convencionales con las edificaciones, tal como se ilustra en la figura 3.52.



Figura 3.52.- Red eléctrica cercana a las edificaciones.

- Regiones con grandes incidencias de descargas atmosféricas: El cable portante, al ser tratado como un cable de guarda, es un elemento muy importante como atenuante de las descargas atmosféricas.
- Calles estrechas: Áreas congestionadas tales como pasajes urbanos.
- Áreas donde se exige un alto índice de confiabilidad debido a las características de los consumidores, tales como hospitales, emisoras de televisión, centros de procesamiento de datos, empresas altamente automatizadas y otras.
- En áreas con frecuentes actos de vandalismo, en este caso la implantación de la red compacta deberá ser solamente en los sectores detectados de vandalismo.
- En áreas rurales con vegetación preservada por ley.
- Reemplazo de conductores en líneas existentes.
- Salidas de subestaciones: Se presentan como alternativa de redes subterráneas, en caso de reducción de espacio por otras redes existentes.
- Necesidad de reducción del impacto ambiental.

- Tendido de líneas de distribución bajo líneas de transmisión, eliminando la necesidad de postes intermedios.

Restricciones de utilización: Las restricciones de utilización son fundamentalmente dos, zonas muy próximas al mar y zonas industriales con atmósfera agresiva. La razón de esta restricción es la contaminación de la cubierta externa del cable protegido, con elementos que posibilitan la conducción de corrientes superficiales en la cobertura polimérica, causando el fenómeno de tracking (degradación del aislante del conductor).

Para estas situaciones existen soluciones alternativas, del mismo modo que para el caso de las líneas desnudas tales como:

- Elevación del nivel básico de impulso de la red, manteniendo la configuración compacta. Pudiendo utilizarse por ejemplo accesorios para tensión nominal de 35 kV, en tensiones nominales de 13,2 kV.

Capítulo 4

Ventajas y desventajas de las redes de distribución compactas ante las convencionales.

4.1 Ventajas.

Con relación a las redes convencionales que conocemos, las REDES COMPACTAS presentan importantes ventajas que debemos conocer:

- Reducción de costos operativos: Menor intervención en la red con reducción de costos de mantenimiento correctivo y preventivo.
- Seguridad: Reduce los riesgos de accidentes del personal operativo, recuérdese que por cuestiones de seguridad las redes compactas se deben tratar como si se tratara de conductor desnudo y por ello los trabajos de mantenimiento se hacen con el mismo procedimiento de seguridad como si fuera una línea convencional desnuda, tal y como se muestra en la figura 4.1.



Figura 4.1.- Mayor seguridad para el personal de campo al realizar alguna maniobra.

- Confiabilidad: reducción de la duración media de interrupciones por corte de servicio (DMI) y de la frecuencia media de interrupciones (FMI), mejoran la calidad del servicio técnico debido a la drástica reducción de las interrupciones accidentales y cortes programados.
- Medio ambiente: Presentan un menor impacto ambiental al reducir considerablemente los espacios de montajes y franjas de seguridad. Se reducen las podas de árboles tanto en frecuencia como volumen. Presentan una mayor estética y armonía con el medio ambiente, ver figuras 4.2 y 4.3.

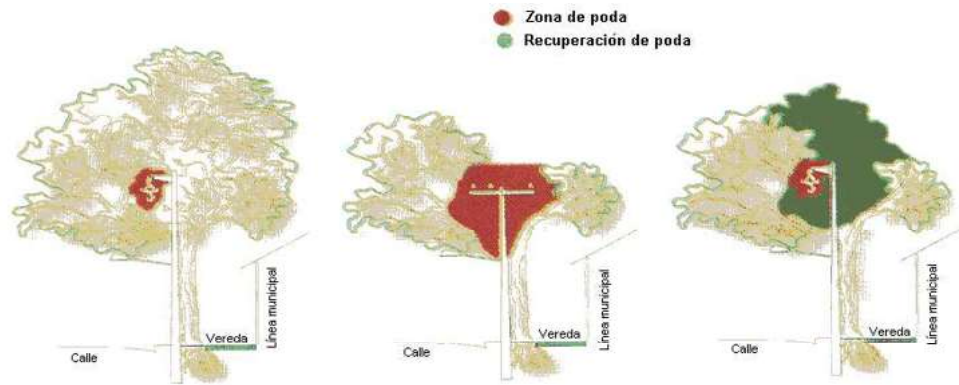


Figura 4.2.- Reducción y recuperación de poda utilizando red eléctrica compacta.

O bien:

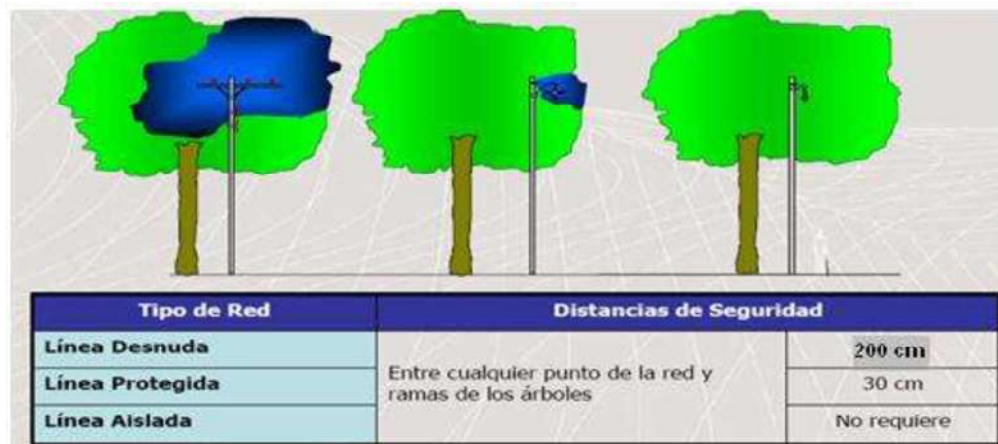


Figura 4.3.- Distancias de seguridad requeridas ante diferentes tipos de sistemas de distribución.

- **Potencia transmitida:** Este tipo de instalación permite el montaje de circuitos múltiples manteniendo las alturas de los soportes convencionales. La instalación de alimentadores de hasta cuatro circuitos por poste disminuye la inversión inicial y posibilita una mayor potencia transmitida, tal y como se muestra en la figura 4.4.

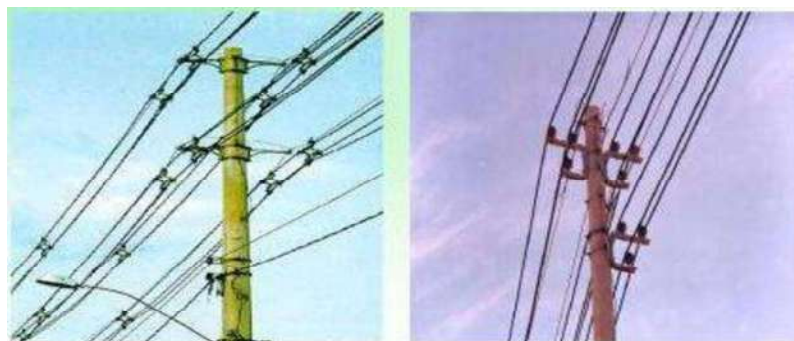


Figura 4.4.- Instalación de 4 circuitos de distribución en el mismo poste.

- Disminución de fallas por contacto con ramas: Permite el contacto no prolongado de las ramas de los árboles e incluso de árboles pequeños con los conductores, sin provocar falla en el sistema.
- Menor salida de servicio por descargas atmosféricas: Debido a que cuenta con el hilo portante, este permite atenuar las descargas atmosféricas ya que actúa como hilo de guarda.
- Disminución del campo electromagnético: Si la magnitud de los campos (eléctricos y magnéticos) es idéntica, se cancelaran el uno al otro y la magnitud del campo electromagnético será cero. Esto depende mucho de la proximidad de los conductores.
- Mejoramiento en las relaciones distribuidora – cliente: Permite a la empresa suministradora, ofrecer un servicio confiable al cliente reduciendo las salidas de servicio del sistema (figura 4.5).



Figura 4.5.- Clientes satisfechos.

- Resistencia a vandalismo: Las líneas desnudas pueden ser blanco fácil para la producción de un corto circuito entre sus fases, provocado por cuestiones de vandalismo.
- Mejoramiento de la calidad de servicio: Los sistemas de cable con espaciadores incrementan significativamente la calidad de servicio, eliminando virtualmente disparos instantáneos debidos a contactos fase con fase o a tierra debidos a ramas y otros desechos durante largo tiempo, sin provocar fallas.
- Mejora la estética reduciendo el impacto visual.
- Mejoría del nivel de seguridad del público.
- El costo de mantenimiento en este sistema se reduce a un 80 % aproximadamente, comparado con el sistema de distribución con conductor desnudo. Esto repercute significativamente en el personal de campo, ya que su intervención por problemas o fallas en la línea se verán reducidos notablemente.
- La menor caída de tensión que ofrecen los sistemas de cable aéreo con espaciadores con respecto a las líneas aéreas desnudas, puede resultar de interés para aplicarlos en aquellos sistemas rurales limitados por caída de tensión.

Para hacer más claro lo especificado en el párrafo anterior resolvamos el siguiente ejemplo:

Ejemplo 4.1. Un circuito aéreo trifásico transpuesto de media tensión de 6 km de longitud, alimenta una carga trifásica balanceada de 2800 kW, el voltaje en la carga de fase a neutro es de 7630 volts. Calcular:

- La reactancia inductiva por km/fase para conductor desnudo ACSR 336.4 kcm.
- Repetir el inciso (a) para red compacta con conductor semiaislado ACSR 336.4 kcm.
- La caída de voltaje en la línea, para cada uno de los incisos anteriores considerando un factor de potencia de 0.9 atrasado.

Datos:

$L = 6$ km.

$V = 7630$ volts.

$P = 2800$ kW.

Resistencia del conductor: $R = 0.19 \Omega$.

F.P. = 0.9 (-).

Radio de los conductores ACSR 336.4 kcm desnudo y semiaislado, anexo apéndice B:

$r = 0.009144$ m

Solución:

a) Para la línea con conductor desnudo y considerando una estructura tipo “T” las distancias entre conductores son:

$$D_{12} = 0.7 \text{ m}$$

$$D_{13} = 1.7 \text{ m}$$

$$D_{23} = 1.0 \text{ m}$$

La distancia equivalente se define de la siguiente manera:

$$D_{eq} = (D_{12} D_{13} D_{23})^{1/3} \quad (4.1)$$

$$D_{eq} = 1.06 \text{ metros}$$

La reactancia inductiva de un conductor, que forma parte de un circuito trifásico balanceado y transpuesto, se define por la siguiente ecuación:

$$X = (0.075398) \ln(D_{eq}/0.7788r) \Omega/\text{km} \quad (4.2)$$

Donde:

0.075398 y 0.7788 son constantes.

r: radio del conductor.

Sustituyendo valores:

$$X = 0.377 \, \Omega/\text{km}$$

b) Repetir el inciso (a) para conductor semiaislado:

Consideremos a $D_{12} = D_{13} = D_{23} = 0.19 \, \text{m}$

$$D_{eq} = (D_{12} D_{13} D_{23})^{1/3}$$

$$D_{eq} = 0.19 \, \text{metros}$$

La reactancia inductiva es:

$$X = (0.075398) \ln(D_{eq}/0.7788r) \, \Omega/\text{km}$$

$$X = 0.247 \, \Omega/\text{km}$$

c) Calcular la caída de voltaje:

Cuando se utilizan conductores de ACSR con calibres mayores o iguales al 336.4 kcm, el valor de la resistencia es mucho menor que la reactancia inductiva, por lo que la componente de la impedancia que más contribuye a la caída de voltaje es la reactancia inductiva X. Por ello para este análisis consideremos que la resistencia de los conductores 336 kcm desnudo y semiaislado es la misma.

Para el conductor desnudo tenemos:

$$Z_{\text{Linea}} = (R + jX) \, \Omega$$

La longitud de la línea es de 6 km, por lo tanto:

$$Z_{\text{Linea}} = 6(0.19 + j0.377) = 1.14 + j2.262 = 2.53 \, \text{Cis}(63.25^\circ) \, \Omega/\text{fase}.$$

El F.P. es 0.9 atrasado, por lo tanto:

$$\cos^{-1}(0.9) = -25.84^\circ$$

Calculando la corriente de fase:

$$I = \frac{2800}{3 \times 7.63 \times 0.9} = 135.91 \, \text{Cis}(-25.84) \, \text{Amp} \quad (4.3)$$

La caída de voltaje es:

$$V_1 - V_2 = ZI \text{Cis}(\phi + \alpha) \quad (4.4)$$

ϕ = Ángulo definido por el factor de potencia.

α = Ángulo definido por la impedancia Z, es decir, 63.25°

Sustituyendo valores en (4.4) tenemos:

$$V_1 - V_2 = 2.53 \cdot 135.91 \text{ Cis}(37.41^\circ)$$

Por lo tanto la caída de tensión en la línea desnuda es de:

$$V_1 - V_2 = \mathbf{343.85 \text{ Cis}(37.41) \text{ Volts.}}$$

Ahora para el conductor semiaislado tenemos:

$$Z_{\text{Linea}} = 6(0.19 + j0.247) = 1.14 + j1.482 = 1.86 \text{ Cis}(52.43) \Omega/\text{fase.}$$

Calculando la corriente de fase:

$$I = \frac{2800}{3 \times 7.63 \times 0.9} = 135.91 \text{ Cis}(-25.84) \text{ Amp}$$

La caída de voltaje es:

$$V_1 - V_2 = Z I \text{ Cis}(\phi + \alpha)$$

Sustituyendo valores:

$$V_1 - V_2 = 1.86 \cdot 135.91 \text{ Cis}(26.59^\circ)$$

Por lo tanto la caída de tensión en la línea compacta es de:

$$V_1 - V_2 = \mathbf{252.79 \text{ Cis}(26.59) \text{ Volts.}}$$

Del ejemplo anterior podemos concluir que:

La reactancia inductiva de la línea compacta ha disminuido un 34.48%, que se refleja en una caída de voltaje mucho menor en el conductor, esto es un 26.48% menos de caída de tensión.

4.2 Desventajas.

Así mismo las líneas de distribución compactas presentan algunas desventajas que vale la pena mencionar:

- La instalación de los espaciadores en barrancas, ríos o lagos se dificulta por lo cual se hace necesario la utilización de silletas, así como se ilustra en la figura 4.5.



Figura 4.6.- Dificultad para utilizar canasta en barrancas para la colocación de los espaciadores.

- Entre un 30 y 50 % de las veces que se encuentran cables caídos, estos aun están energizados cuando se llega al lugar del accidente, aumentando el riesgo de que haya un contacto físico entre el conductor y alguna persona, tal y como se muestra en la figura 4.6. En este aspecto cabe mencionar que la cubierta del cable lo hace más robusto y esto permite hacer al cable más visible, además si hubiese un contacto físico con la cubierta del conductor no seria causa de electrocución al menos que el contacto se hiciera con la parte final del conductor donde se trozó.



Figura 4.7.- Conductor semiaislado reventado por descarga atmosférica, cayendo en camino de personas.

- El cambio o reemplazo de una de las líneas cuando así se requiere, se hace más complicado y tardado que en las líneas desnudas convencionales, ya que esto representa la desinstalación de cada uno de los espaciadores con los que cuente el tramo de línea a reemplazar, (5 espaciadores aproximadamente entre poste y poste).
- El costo inicial para construcción de este sistema, es entre un 30 o 40 % más elevado que para la construcción de un sistema de línea desnuda.

Capítulo 5

Conclusiones.-

5.1 Problemas presentados.

Durante la realización de este trabajo, me pude dar cuenta que las redes de distribución compactas tienen relativamente muy poco tiempo utilizándose en México, (10 años aproximadamente), comparándolo con países extranjeros por ejemplo Estados Unidos quien ha utilizado este sistema de distribución por mas de 40 años.

En el tiempo que estuve realizando mis prácticas profesionales en la C.F.E. división zona Uruapan, se llevó a cabo una obra de distribución de energía en esta ciudad del tipo compacta, por lo cual me pareció algo interesante y novedoso como para pensar en la realización de mi tesis sobre este tema. Fue así como comencé mi tesis y conforme fui avanzando en la investigación, me pude dar cuenta que la implementación de este sistema de distribución de energía no era tan reciente como yo creía, ya que como se mencionó en el párrafo anterior lleva alrededor de 10 años utilizándose en México y aproximadamente 50 años utilizándose en Estados Unidos. Esto sin duda fue algo que me sorprendió pero al mismo tiempo resultó de gran ayuda para obtener la mayor información posible acerca del sistema.

Debido al poco impulso que se le ha dado a este sistema compacto aquí en México y a que no existe bibliografía textual todavía, se me presentaron algunos problemas para obtener información, que me permitiera conocer el desarrollo de este sistema de distribución de energía eléctrica, y de esta manera conocer los principales estados de la república mexicana que lo han puesto en practica, así como los resultados o ventajas que han obtenido de el.

5.2 Conclusiones generales.

Las empresas de distribución en todas partes del mundo experimentan situaciones que no pueden ser resueltas en forma confiable y/o económica por la construcción tradicional de línea aérea desnuda. El uso del concepto SCAE ha posibilitado resolver muchos problemas asociados con la construcción de líneas aéreas que sufren las distribuidoras de energía.

Mediante el uso de combinaciones de tecnologías existentes y emergentes se pueden solucionar la mayoría de los problemas que afectan a un servicio eléctrico confiable y económico para los clientes. El SCAE es una de las tecnologías existentes que le ha dado a las distribuidoras una opción para solucionar problemas que de otra forma requerirían compromisos en la confiabilidad del servicio, flexibilidad del sistema y/o costo total.

Los aspectos ambientales que afectan a los sistemas eléctricos de las distribuidoras varían de región a región a través de todo el mundo. Sin embargo, las características básicas de operación de los sistemas son muy similares.

5.3 Conclusiones particulares.

Las redes eléctricas compactas representan sin duda alguna un salto tecnológico sobre las líneas convencionales desnudas, proporcionando básicamente 2 aspectos importantísimos que la empresa suministradora puede ofrecer a sus clientes, estos elementos son principalmente la calidad y continuidad del servicio, seguido de las muchísimas ventajas que se obtienen con su operación.

Es un sistema competitivo, ya que la inversión inicial es ligeramente superior a las redes convencionales (30 o 40 %), pero su costo de operación y mantenimiento resulta en un 80 % menor, por lo cual resulta costeable su construcción y puede ser muy utilizado en México principalmente en regiones con gran incidencia de descargas atmosféricas.

La inversión inicial es proporcional a la cantidad de circuitos que se requiera distribuir, ya que si tomamos en cuenta que se requieren cuatro circuitos de distribución en la misma zona, la inversión inicial utilizando el sistema compacto resultaría mucho menor que en el sistema de línea desnuda, esto es porque en el mismo poste se pueden instalar los cuatro circuitos ahorrándose de manera considerable la postería, espacio y herrajes que se utilizarían con cuatro circuitos independientes de línea desnuda, o en su caso dos circuitos, considerando doble nivel de distribución por poste.

Los sistemas de cable con espaciadores ofrecen una solución a los problemas de congestión, de derecho de vía, y de poda reducida, brindando al mismo tiempo un nivel mucho más alto de calidad y confiabilidad de servicio.

Las empresas suministradoras de energía eléctrica pueden estar seguras que durante el paso de tormentas, los circuitos de cable con espaciadores representan las porciones más seguras de todo su sistema, adecuados para soportar todos los eventos, salvo los más catastróficos.

Además, después de la tormenta, el circuito de cable con espaciadores es capaz de funcionar por largos períodos de tiempo (semanas o meses) con basuras, hielo y ramas de árboles haciendo puente entre las fases y el neutro, hasta que por las operaciones normales de mantenimiento de línea se descubre la necesidad de hacer una limpieza. Y lo más importante: el circuito de cable con espaciadores mantiene la calidad y confiabilidad del servicio a través de todo el período considerado.

Puede ser que en cuanto a innovaciones o desarrollos tecnológicos los países extranjeros nos lleven cierta ventaja, aunque también es cierto que las condiciones climáticas de nuestro país son muy diferentes a las de estos países, y que por ello el desarrollo o avance de este sistema se lleve de manera más lenta o no sea de gran relevancia aún en México. Debemos también considerar que la CFE busca proporcionar el mejor servicio al usuario al menor costo posible, pero que seguramente conocidas las ventajas, la disminución del mantenimiento correctivo y preventivo, además de las aplicaciones de este sistema, se puede impulsar un poco más su construcción en las zonas que así se requiera.

5.4 Trabajos futuros.

Pienso que este trabajo puede servir como base para la implementación de una nueva norma de distribución de energía eléctrica dentro de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E) para configuración múltiple, o simplemente modificación de la norma existente, para estandarizar cada uno de los componentes utilizados para la construcción de la red.

Se podría de igual manera implementar dentro de esta norma un esquema cuya función sea la realización de mantenimiento programado en vez de intervención de emergencia, que permita reducir las salidas de servicio del sistema y minimizar de esta manera, los costos y tiempo que representan la puesta en operación del servicio después de haber sufrido una falla. Con esto se logra disminuir significativamente el mantenimiento correctivo salvo ante condiciones adversas y así dar un servicio de calidad al cliente al menor costo posible.

Apéndice A



SUBDIRECCION DE DISTRIBUCION
CATALOGO DE PRECIOS DEL SUMINISTRADOR
COSTO POR KILOMETRO DE LINEAS DE DISTRIBUCION SUBTERRANEA
(CONDUCTORES DE ALUMINIO)

JULIO.2009

DESCRIPCION	MATERIALES Y EQUIPO DE INSTALACION PERMANENTE	MANO DE OBRA	OBRA CIVIL	DISEÑO DEL PROYECTO	PRUEBAS PARA PUESTA EN OPERACION	SUPERVISION	COSTO TOTAL/KM.	RETIRO
1C-1F-2H-13KV-1/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	107 085.86	24 279.99	121 328	4 683.36	3 160.09	7 261.75	267 802.00	439.2
1C-1F-2H-13KV-3/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	131 281.34	30 643.21	121 328	5 258.91	3 485.11	8 291.83	300 288.35	439.2
1C-1F-2H-23KV-1/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	139 596.45	24 279.99	121 328	4 683.36	3 160.09	7 261.75	300 312.59	439.2
1C-1F-2H-23KV-3/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	163 100.30	30 643.21	121 328	5 258.91	3 485.11	8 291.83	332 107.31	439.2
1C-1F-2H-33KV-1/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	159 610.82	24 279.99	121 328	4 683.36	3 160.09	7 261.75	320 326.96	439.2
1C-1F-2H-33KV-3/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	204 704.83	30 643.21	121 328	5 258.91	3 485.11	8 291.83	373 711.83	439.2
1C-3F-4H-13KV-1/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	274 125.48	66 206.22	167 026	12 017.37	7 424.71	18 004.21	544 803.54	1317.59
1C-3F-4H-13KV-3/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	328 415.61	81 824.24	167 026	12 589.91	7 749.73	19 034.29	616 639.34	1317.59
1C-3F-4H-13KV-500 KCM-AL-XLP (NO URBANIZADO)	641 199.28	86 912.84	181 783	13 499.61	8 266.16	20 670.96	952 331.68	1912.64
1C-3F-4H-23KV-1/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	371 657.25	66 206.22	167 026	12 017.37	7 424.71	18 004.21	642 335.32	1317.59
1C-3F-4H-23KV-3/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	423 872.50	81 824.24	167 026	12 589.91	7 749.73	19 034.29	712 096.22	1317.59
1C-3F-4H-23KV-500 KCM-AL-XLP (NO URBANIZADO)	776 448.94	97 538.57	181 783	13 499.61	8 266.16	20 670.96	1 100 207.07	1912.64
1C-3F-4H-33KV-1/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	431 700.38	66 206.22	167 026	12 017.37	7 424.71	18 004.21	702 378.45	1317.59
1C-3F-4H-33KV-3/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	548 686.07	81 824.24	167 026	12 589.91	7 749.73	19 034.29	836 509.80	1317.59
1C-3F-4H-33KV-500 KCM-AL-XLP (NO URBANIZADO)	951 533.30	97 538.57	181 783	13 499.61	8 266.16	20 670.96	1 273 251.44	1912.64
2C-3F-4H-13KV-1/0 AWG-AL-XLP (NO URBANIZADO)	524 664.90	129 095.57	351 281	23 013.89	13 821.55	34 117.92	1 076 014.59	2635.19

ESTOS COSTOS NO INCLUYEN IVA.

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 1 FASE: \$ 381.19

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 2 FASES: \$ 444.73

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 3 FASES: \$ 508.26

**SUBDIRECCION DE DISTRIBUCION
CATALOGO DE PRECIOS DEL SUMINISTRADOR**

**COSTO POR KILOMETRO DE LINEAS DE DISTRIBUCION SUBTERRANEA
(CONDUCTORES DE COBRE)**

JULIO 2009

DESCRIPCION	MATERIALES Y EQUIPO DE INSTALACION PERMANENTE	MAHO DE OBRA	OBRA CIVIL	DISEÑO DEL PROYECTO	SUPERVISION	PRUEBAS PARA PUERTA EN OPERACION	COSTO TOTAL (KM)	RETIRO
1C-1F-2H-13 KV-1A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	238 935,13	24 279,99	121 328	4 686,36	7 261,75	3 160,09	399 651,27	439,20
1C-1F-2H-13 KV-3A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	237 024,75	30 643,21	121 328	5 259,91	8 291,83	3 485,11	466 031,76	439,20
1C-1F-2H-23 KV-1A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	259 566,85	28 558,61	121 328	4 686,36	7 261,75	3 160,09	424 561,62	439,20
1C-1F-2H-23 KV-3A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	351 555,97	34 185,12	121 328	5 259,91	8 291,83	3 485,11	524 104,89	439,20
1C-1F-2H-33 KV-1A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	308 460,20	28 558,61	121 328	4 686,36	7 261,75	3 160,09	473 454,96	439,20
1C-1F-2H-33 KV-3A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	396 918,10	34 185,12	121 328	5 259,91	8 291,83	3 485,11	569 467,02	439,20
1C-3F-4H-13 KV-1A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	659 673,28	66 206,22	167 026	12 017,37	18 004,21	7 424,71	940 351,34	1 317,59
1C-3F-4H-13 KV-3A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	825 645,83	81 824,24	167 026	12 589,91	19 034,29	7 749,73	1 113 869,56	1 317,59
1C-3F-4H-13 KV-500 KCM-CU-XLP (NO URBANIZADO)	1 896 343,05	108 079,30	181 783	13 499,61	20 670,96	8 266,16	2 218 641,91	1 912,64
1C-3F-4H-23 KV-1A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	731 568,48	79 042,11	167 026	12 017,37	18 004,21	7 424,71	1 015 082,44	1 317,59
1C-3F-4H-23 KV-3A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	989 239,50	92 449,97	167 026	12 589,91	19 034,29	7 749,73	1 288 088,97	1 317,59
1C-3F-4H-23 KV-500 KCM-CU-XLP (NO URBANIZADO)	2 043 047,38	108 079,30	181 783	13 499,61	20 670,96	8 266,16	2 375 346,24	1 912,64
1C-3F-4H-33 KV-1A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	878 248,49	79 042,11	167 026	12 017,37	18 004,21	7 424,71	1 161 762,45	1 317,59
1C-3F-4H-33 KV-3A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	1 125 325,87	92 449,97	167 026	12 589,91	19 034,29	7 749,73	1 424 175,33	1 317,59
1C-3F-4H-33 KV-500 KCM-CU-XLP (NO URBANIZADO)	2 310 677,76	119 172,56	181 783	13 499,61	20 670,96	8 266,16	2 654 059,89	1 912,64
2C-3F-4H-13 KV-1A) AWG-CU-XLP (NO URBANIZADO)	1 315 780,51	129 095,57	351 281	23 013,89	34 117,92	13 821,65	1 667 110,20	2 635,19

ESTOS COSTOS NO INCLUYEN IVA.

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 1 FASE: \$ 403.57

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 2 FASES: \$ 470.83

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 3 FASES: \$ 538.10

PESOS AL MES DE JULIO.2009 M.N

DESCRIPCION	MATERIALES Y EQUIPO DE INSTALACION PERMANENTE	MANO DE OBRA	DISEÑO DEL PROYECTO	SUPERVICION	COSTO TOTAL/KM.	RETIRO
1C-1F-2H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	74 584.86	27 853.10	1 592.58	1 514.84	105 545.37	25 725.27
1C-1F-2H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	79 556.45	28 501.70	1 592.58	1 514.84	111 165.57	27 676.95
1C-1F-2H-13KV-266.8-AWG-ACSR-PC (RURAL)	91 650.11	28 501.70	1 592.58	1 514.84	123 259.23	27 676.95
1C-1F-2H-23KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	76 449.79	27 853.10	1 592.58	1 514.84	107 410.30	25 725.27
1C-1F-2H-23KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	81 421.39	28 501.70	1 592.58	1 514.84	113 030.50	27 676.95
1C-1F-2H-23KV-266.8-AWG-ACSR-PC (RURAL)	93 515.03	28 501.70	1 592.58	1 514.84	125 124.15	27 676.95
1C-1F-2H-33KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	77 760.71	27 853.10	1 592.58	1 514.84	108 721.22	25 725.27
1C-1F-2H-33KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	82 732.31	28 501.70	1 592.58	1 514.84	114 341.42	27 676.95
1C-1F-2H-33KV-266.8-AWG-ACSR-PC (RURAL)	94 825.97	28 501.70	1 592.58	1 514.84	126 435.08	27 676.95
1C-2F-2H-13KV 1/0 AWG-AAC-PC RURAL	67 483.03	29 186.52	1 622.00	1 560.88	99 852.42	30 628.74
1C-2F-2H-13KV 1/0 AWG ACSR-PC RURAL	72 994.89	29 186.52	1 622.00	1 560.88	105 364.28	26 725.37
1C-2F-3H-13KV-1/0-2-AWG-CU-PC (RURAL)	151 916.01	32 281.92	1 592.58	1 514.84	187 305.35	31 464.62
1C-2F-2H 13KV 1/0 AWG CU-PC RURAL	122 017.34	29 186.52	1 622.00	1 560.88	154 386.74	26 725.37
1C-2F-3H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	88 056.33	32 281.92	1 592.58	1 514.84	123 445.67	31 464.62
1C-2F-2H 13KV 3/0 AWG ACSR-PC RURAL	82 938.08	30 483.72	1 622.00	1 560.88	116 604.68	30 628.74
1C-2F-2H 13KV 3/0 AWG AAC-PC RURAL	76 040.09	30 483.72	1 622.00	1 560.88	109 706.68	30 628.74
1C-2F-3H-13KV-3/0-1/0-AWG-CU-PC (RURAL)	205 723.97	33 579.13	1 592.58	1 514.84	242 410.52	35 368.01
1C-2F-3H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	97 999.52	33 579.13	1 592.58	1 514.84	134 686.07	35 368.01
1C-2F-3H-13KV-266.8-AWG-ACSR-PC (RURAL)	122 186.84	33 579.13	1 592.58	1 514.84	158 873.39	35 368.01
1C-2F-3H-13KV-2-AWG-CU-PC (RURAL)	132 568.01	32 281.92	1 592.58	1 514.84	167 957.35	31 464.62
1C-2F-2H 13KV 2 AWG CU-PC RURAL	102 669.33	29 186.52	1 622.00	1 560.88	135 038.72	26 725.37
1C-2F-3H-23KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	91 003.41	31 955.64	1 592.58	1 514.84	126 066.47	31 219.91
1C-2F-3H-23KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	100 946.61	33 252.84	1 592.58	1 514.84	137 306.86	35 123.30
1C-2F-3H-23KV-266.8-AWG-ACSR-PC (RURAL)	125 133.91	33 252.84	1 592.58	1 514.84	161 494.17	35 123.30
1C-2F-3H-33KV-1/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	92 392.25	31 955.64	1 592.58	1 514.84	127 455.31	31 219.91
1C-2F-3H-33KV-3/0-AWG-ACSR-PC (RURAL)	102 335.44	33 252.84	1 592.58	1 514.84	138 695.70	35 123.30

ESTOS COSTOS NO INCLUYEN IVA.

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 1 FASE: \$ 1 160.27

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 2 FASES: \$ 1 482.57

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 3 FASES: \$ 1 680.16

PESOS AL MES DE JULIO.2009 M.N

DESCRIPCION	MATERIALES Y EQUIPO DE INSTALACION PERMANENTE	MANO DE OBRA	DISEÑO DEL PROYECTO	SUPERVICION	COSTO TOTAL/KM.	RETIRO
1C-1F-2H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	122 297.88	37 379.56	2 890.62	2 657.56	166 225.62	32 870.21
1C-1F-2H-13KV-3/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	123 820.48	38 028.16	2 890.62	2 657.56	167 396.82	34 821.89
1C-1F-2H-13KV-266.8-AWG-AAC-PC (URBANA)	131 052.72	38 028.16	2 890.62	2 657.56	174 629.06	34 821.89
1C-1F-2H-23KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	125 928.20	37 379.56	2 890.62	2 657.56	168 855.95	32 870.21
1C-1F-2H-23KV-3/0-AWG-AAC-PC (URBANA)	127 450.80	38 028.16	2 890.62	2 657.56	171 027.14	34 821.89
1C-1F-2H-23KV-266.8-AWG-AAC-PC (URBANA)	134 683.04	38 028.16	2 890.62	2 657.56	178 259.38	34 821.89
1C-1F-2H-33KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	128 228.02	37 379.56	2 890.62	2 657.56	171 155.76	32 870.21
1C-1F-2H-33KV-3/0-AWG-AAC-PC (URBANA)	129 750.63	38 028.16	2 890.62	2 657.56	173 326.97	34 821.89
1C-1F-2H-33KV-266.8-AWG-AAC-PC (URBANA)	136 982.85	38 028.16	2 890.62	2 657.56	180 559.20	34 821.89
1C-2F-2H-13KV 1/0 AWG-AAC-PC URBANA	125 890.20	42 729.02	2 890.62	2 910.66	174 417.50	40 783.45
1C-2F-2H-13KV 1/0 AWG ACSR-PC URBANA	131 402.06	42 729.02	2 890.62	2 910.66	179 929.36	36 880.07
1C-2F-3H-13KV-1/0-2-AWG-CU-PC (URBANA)	209 641.90	42 673.77	2 890.62	2 657.56	257 863.86	39 258.61
1C-2F-2H 13KV 1/0 AWG CU-PC URBANA	141 345.25	44 023.23	2 890.62	2 910.66	191 169.77	40 783.45
1C-2F-3H-13KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	145 782.22	42 673.77	2 890.62	2 657.56	194 004.18	39 258.61
1C-2F-2H 13KV 3/0 AWG ACSR-PC URBANA	141 345.25	44 023.23	2 890.62	2 910.66	191 169.77	40 783.45
1C-2F-2H 13KV 3/0 AWG AAC-PC URBANA	134 447.26	44 023.23	2 890.62	2 910.66	184 271.77	40 783.45
1C-2F-3H-13KV-3/0-AWG-AAC-PC (URBANA)	148 827.43	43 970.98	2 890.62	2 657.56	198 346.59	43 161.99
1C-2F-3H-13KV-3/0-1/0-AWG-CU-PC (URBANA)	263 449.86	43 970.98	2 890.62	2 657.56	312 969.03	43 161.99
1C-2F-3H-13KV-266.8-AWG-AAC-PC (URBANA)	163 291.89	43 970.98	2 890.62	2 657.56	212 811.06	43 161.99
1C-2F-2H-13KV 2 AWG CU-PC URBANA	161 076.51	42 726.02	2 890.62	2 910.66	209 603.82	36 880.07
1C-2F-3H-13KV-250-1/0-AWG-CU-PC (URBANA)	322 792.46	43 970.98	2 890.62	2 657.56	372 311.62	43 161.99
1C-2F-3H-23KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	152 682.65	41 482.11	2 890.62	2 657.56	199 712.94	38 364.85
1C-2F-3H-23KV-3/0-AWG-AAC-PC (URBANA)	155 727.85	42 779.31	2 890.62	2 657.56	204 055.34	42 268.23
1C-2F-3H-23KV-266.8-AWG-AAC-PC (URBANA)	170 192.32	42 779.31	2 890.62	2 657.56	218 519.81	42 268.23
1C-2F-3H-33KV-1/0-AWG-ACSR-PC (URBANA)	155 839.32	41 482.11	2 890.62	2 657.56	202 869.61	38 364.85
1C-2F-3H-33KV-3/0-AWG-AAC-PC (URBANA)	158 884.54	42 779.31	2 890.62	2 657.56	207 212.03	42 268.23

ESTOS COSTOS NO INCLUYEN IVA.

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 1 FASE: \$ 760.90

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 2 FASES: \$ 1 007.41

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 3 FASES: \$ 1 280.78

SUBDIRECCION DE DISTRIBUCION
CATALOGO DE PRECIOS DEL SUMINISTRADOR
COSTO POR KILOMETRO DE LINEAS DE DISTRIBUCION AEREA COMPACTA

PESOS AL MES DE JULIO.2009 M.N

DESCRIPCION	MATERIALES Y EQUIPO DE INSTALACION PERMANENTE	MANO DE OBRA	DISEÑO DEL PROYECTO	SUPERVICION	COSTO TOTAL/KM.	RETIRO
1C-3F-3H 13KV 1/0 AWG SA-AAC-PC URBANA	202 943.08	42 036.96	2 890.62	2 151.36	250 022.02	43 176.72
1C-3F-3H 13KV 3/0 AWG SA-AAC-PC URBANA	235 697.29	42 036.96	2 890.62	2 151.36	282 776.22	43 176.72
1C-3F-4H 13KV-3/0-AWG-SA-ACSR-PC (URBANA)	251 598.74	46 225.31	2 890.62	2 657.56	303 372.24	48 735.73
1C-3F-4H-13KV-3/0-AWG SA-AAC-PC (URBANA)	251 598.74	46 225.31	2 890.62	2 657.56	303 372.24	48 735.73
1C-3F-4H-13KV-266.8-AWG-SA-ACSR-PC (URBANA)	334 092.56	46 225.31	2 890.62	2 657.56	385 866.05	48 735.73
1C-3F-3H 13KV 266 AWG SA-AAC-PC URBANA	274 534.41	39 625.05	3 191.38	2 421.59	319 772.43	29 718.84
1C-3F-4H-13KV-266.8-AWG-SA-AAC-PC (URBANA)	274 994.61	46 225.31	2 890.62	2 657.56	326 768.10	48 735.73
1C-3F-4H-13KV-336.4-AWG-SA-ACSR-PC (URBANA)	348 130.08	46 225.31	2 890.62	2 657.56	399 903.57	48 735.73
1C-3F-3H 13KV 336 AWG SA-AAC-PC URBANA	340 697.91	39 625.05	3 191.38	2 421.59	385 935.94	29 718.84
1C-3F-4H-13KV-336.4-AWG-SA-AAC-PC (URBANA)	298 390.47	46 225.31	2 890.62	2 657.56	350 163.96	48 735.73
1C-3F-3H 23 KV 1/0 AWG SA-AAC-PC URBANA	264 427.61	44 364.95	2 890.62	2 657.56	314 340.75	44 922.65
1C-3F-4H-23 KV 3/0 AWG-SA-ACSR-PC (URBANA)	285 008.24	46 225.31	2 890.62	2 657.56	336 781.73	48 735.73
1C-3F-4H-23 KV-3/0-AWG-SA-AAC-PC (URBANA)	285 008.24	46 225.31	2 890.62	2 657.56	336 781.73	48 735.73
1C-3F-3H-23 KV 3/0 AWG SA-AAC-PC URBANA	269 106.79	44 364.95	2 890.62	2 657.56	319 019.92	44 922.65
1C-3F-3H 23 KV 266 AWG SA-AAC-PC URBANA	297 181.82	44 364.95	2 890.62	2 657.56	347 094.95	44 922.65
1C-3F-4H-23 KV-266.8-AWG-SA-ACSR-PC (URBANA)	355 195.83	46 225.31	2 890.62	2 657.56	406 969.32	48 735.73
1C-3F-4H-23 KV-266.8-AWG-SA-AAC-PC (URBANA)	313 083.28	46 225.31	2 890.62	2 657.56	364 856.77	48 735.73
1C-3F-3H 23 KV 336 AWG SA-AAC-PC URBANA	350 711.55	44 364.95	2 890.62	2 657.56	400 624.68	44 922.65
1C-3F-4H-23 KV-336.4-AWG-SA-AAC-PC (URBANA)	366 613.01	46 225.31	2 890.62	2 657.56	418 386.50	48 735.73
1C-3F-4H-23 KV-336.4-AWG-SA-ACSR-PC (URBANA)	366 613.01	46 225.31	2 890.62	2 657.56	418 386.50	48 735.73
1C-3F-3H 33 KV 1/0 AWG SA-AAC-PC URBANA	306 883.22	45 356.31	2 890.62	2 657.56	357 787.74	45 666.21
1C-3F-4H-33 KV-3/0-AWG-SA-ACSR-PC (URBANA)	314 018.22	46 225.31	2 890.62	2 657.56	365 791.71	48 735.73
1C-3F-4H-33 KV-3/0-AWG-SA-AAC-PC (URBANA)	314 018.22	46 225.31	2 890.62	2 657.56	365 791.71	48 735.73
1C-3F-3H-33 KV 3/0 AWG SA-AAC-PC URBANA	297 524.87	45 356.34	2 890.62	2 657.56	348 429.40	45 666.21
1C-3F-4H-33 KV- 266.8-AWG-SA-AAC-PC (URBANA)	330 910.04	46 225.31	2 890.62	2 657.56	382 683.53	48 735.73
1C-3F-3H 33 KV 266 AWG SA-AAC-PC URBANA	314 416.69	45 356.34	2 890.62	2 657.56	365 321.21	45 666.21

ESTOS COSTOS NO INCLUYEN IVA.

COSTO POR CONEXIÓN DE LINEA DE 1 FASE: \$ 1 345.24

Apéndice B

Cable de energía semiaislado en media tensión Ecolat 15, 25 y 38 kV										Características generales			
Calibre AWG o kcmil	Conductor		Número de alambres		Espesor nominal de aislamiento mm			Diámetro exterior nominal mm			Peso kg/km		
	Tipo	Diámetro nominal mm	Aluminio	Acero	15 kV	25 kV	38 kV	15 kV	25 kV	38 kV	15 kV	25 kV	38 kV
1/0	AAC	9.19	19	-	2.56	4.09	5.43	15.42	18.46	21.17	278	357	440
3/0	AAC	11.58	19	-	2.56	4.11	5.43	17.80	20.90	23.56	394	485	576
266.8	AAC	14.86	7	-	3.07	4.11	5.43	22.10	24.46	26.84	635	722	814
336.4	AAC	16.85	19	-	3.07	4.11	5.43	24.10	26.19	28.84	754	835	948
1/0	ACSR	10.12	6	1	2.56	4.09	5.43	16.35	19.38	22.08	373	456	543
3/0	ACSR	12.75	6	1	2.56	4.11	5.43	19.99	22.07	24.73	570	639	735
266.8	ACSR	16.30	26	7	3.07	4.11	5.43	23.55	25.63	28.28	824	903	1,013
336.4	ACSR	19.31	26	7	3.07	4.11	5.43	25.83	27.64	30.29	1,019	1,103	1,209
1/0	Cobre	9.19	19	-	2.56	4.09	5.43	15.42	18.46	21.17	625	704	787
3/0	Cobre	11.58	19	-	2.56	4.11	5.43	17.80	20.90	23.56	944	1,035	1,126

Características de conductores desnudos.

Calibre (AWG o KCMIL)	Material	Hilos	Área (mm ²)	Diámetro (mm)	Peso (Kg/1000 m)	Kg/1000 m 3 Conductores ± 6%	Carga de ruptura (Kg)	Capacidad (Amperes)	Equivalente en sección
2	Cu	7	33.62	8.14	305	931	1312	230	-
1/0	Cu	7	53.48	9.36	485	1479	2155	310	-
3/0	Cu	7	85.01	11.8	771	2352	3341	420	-
250	Cu	19	126.7	15.24	1149	3505	5048	540	-
3/0	AAC	7	85.01	12.75	234.4	715	1377	330	Cu 1/0
266.8	AAC	19	135.2	16.31	372.8	1137	2784	440	Cu 3/0
336.4	AAC	19	170.5	18.29	470.1	1434	2730	510	Cu 4/0
477	AAC	19	241.7	21.77	666.4	2033	3773	640	300
1/0	ACSR	6/1	62.4	10.11	216	659	1940	240	Cu 2
3/0	ACSR	6/1	99.23	12.75	343	1046	3030	315	Cu 1/0
266.8	ACSR	26/7	157.22	16.28	545	1662	5100	455	Cu 3/0
336.4	ACSR	26/7	198.3	18.31	689	2101	6375	530	Cu 4/0
477	ACSR	26/7	281.1	21.8	977	2980	8820	660	300

Características tomadas de:

Especificación CFE

Descripción

E0000-12	Cables de aluminio con cableado concéntrico y alma de acero (ACSR).
E0000-30	Cables de aluminio desnudo (AAC).
E0000-32	Alambre y cable de cobre desnudo (CU).

Referencias

Libro:

[Hernández 2006]

F. Hernández. El Arte de Distribuir Energía Eléctrica, Morelia Mich:
Universidad Michoacana de San Nicolás de hidalgo, 2006.

Internet:

[Schneider electric 2007]

Schneider electric. La distribución eléctrica en media tensión y la continuidad de servicio. 5 de marzo de 2009
<http://www.energetica21.com/articulos/electyelec/Schneider.pdf>

[Coidea S.A.]

Coidea S.A. COIDEA SA.- Soluciones integrales para redes eléctricas.
2 de Marzo de 2009
<http://www.coidesa.com>

[Grupo PRYSMIAN 2008]

PRYSMIAN. Microsoft Power Point - Modulo 10 - Redes Compactas de MT. 2 de Marzo de 2009.
http://www.prysmian.com.ar/export/sites/prysmian-esAR/attach/pdf/Redes_Compactas_de_MT.pdf

[Hendrix Wire & Cable]

Hendrix Wire & Cable. About Hendrix. 2 de marzo de 2009.
<http://www.hendrix-wc.com/hendrix/about-sp.htm>

[Hendrix Wire & Cable 1998]

Hendrix Wire & Cable. Redes eléctricas sacif. 5 de marzo de 2009
http://www.redeselectricas.com.ar/news/main_hendrixrural.html

[El prisma]

El prisma. Línea eléctrica de distribución en media tensión compacta.
15 de marzo de 2009
<http://www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=9242>

[Electroindustria]

Electroindustria. Electroindustria.com > información de productos eléctricos o notas
20 de abril de 2009
http://www.electroindustria.com/nuevo/aplicacion_info.asp?id_nota=60

[UTE]

UTE. Especificación técnica E.T.40.07/0 accesorios para líneas aéreas.

10 de Abril de 2009

<http://www.ute.com.uy/empresa/lineas/distribucion/normalizacion/docs/ET40070.pdf>

Institución:

[CFE 2009]

CFE. Notas de redes de distribución compactas. Uruapan Mich. 5 de Enero de 2009

[CFE 2009]

CFE. Normas de distribución – construcción – instalaciones aéreas en media y baja tensión. Uruapan Mich. 5 de Enero de 2009

[CFE 2009]

CFE. Normas de distribución de líneas compactas. Uruapan Mich. 5 de Enero de 2009

[CFE 2009]

CFE. Catálogo de precios del suministrador, costo por kilómetro de líneas de distribución aéreas y subterráneas. Uruapan Mich. 22 de Julio de 2009