

COORDINACION DE AISLAMIENTO DE
SISTEMAS DE DISTRIBUCION
SUBTERRANEA

Tesis previa a la obtención del título de
Ingeniero Eléctrico, especialización Potencia
de la Escuela Politécnica Nacional.

ROBERTO E. AGUIRRE ORTEGA

Quito, Febrero de 1978

DEDICATORIA :

A MIS PADRES

CERTIFICO :

El presente trabajo de tesis
ha sido realizado en su tota-
lidad, por el Señor :

Roberto Aguirre Ortega.



Ing. JULIO JURADO M.

Director de Tesis

COORDINACION DE AISLAMIENTO DE

SISTEMAS DE DISTRIBUCION

SUBTERRANEA

INDICE GENERAL

	Pag.
CAPITULO I GENERALIDADES.-	
1 .- Objetivo y alcance del trabajo.	1
2 .- Procedimiento a seguirse.	3
CAPITULO II SOBRETENSIONES EN REDES SUBTERRANEAS.-	
1 .- Generalidades.	5
2 .- Origen y tipo de las sobretensiones.	6
3 .- Cálculo de las sobretensiones.	10
4 .- Fallas que ocurren debido a las sobretensiones.	
Identificación y localización de éstas.	14
Fallas en los cables.	15
Método general para localización de averías en cables subterráneos.	18
Método del bucle de Murray.	19
Método de las caídas de tensión.	22
Método del bucle de corriente continua de alta tensión.	25
Método del bucle de Murray con voltímetro electrónico.	26
Localización exacta de averías.	27

CAPITULO III EQUIPO USADO EN DISTRIBUCION

SUBTERRANEA.-

1 .-	Descripción general del equipo.	29
	Cables.	29
	Tensión nominal del cable.	30
	Grado de aislamiento.	30
	Nivel de aislamiento.	30
	Tensión de impulso.	31
	Conductores empleados en cables subterráneos.	31
	Designación de los cables.	33
	Manguitos de empalme.	36
	Manguitos de derivación.	39
	Manguitos terminales.	41
	Manguitos terminales para interior.	41
	Manguitos terminales para intemperie.	42
	Tomas de tierra para los cables subterráneos.	47
	Transformadores usados en redes subterráneas.	48
	Potencia nominal.	48
	Sobrecarga.	51
	Pérdidas.	52
	Rendimiento.	53
	Variación de la tensión.	53
	Conexiones.	54
2 .-	Características del aislamiento requerido.	59
3 .-	Espaciamentos mínimos requeridos.	68 A
	Colocación de cables subterráneos en ductos.	68 A

	Pag.
Colocación de cables subterráneos en zanjas.	68 C
Pérdidas por la proximidad de las envolturas de los cables.	68 D
CAPITULO IV PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES.-	
1 .- Generalidades.	69
2 .- Equipo de protección utilizado.	70
Utilización de los pararrayos para la protección de circuitos subterráneos.	74
Factores variables y márgenes de protección.	76
Cortacircuitos.	80
Portafusibles seccionadores.	82
Interruptores seccionadores de potencia.	82
Cartuchos fusibles tipo NH (europeos).	82
Fusibles limitadores.	82
3 .- Selección y localización del equipo de protección.	84
CAPITULO V COORDINACION DEL AISLAMIENTO.-	
1 .- Conceptos y definiciones.	90
Coordinación de la aislación.	90
Tensión nominal de una red.	90
Aislación externa.	90
Aislación interna.	90
Red con neutro puesto a tierra.	91
Sobretensiones de la red.	91
Nivel de protección de un descargador.	91

	Pag.
Nivel de aislación de un aparato.	92
Nivel básico de aislamiento, dIL.	92
Relación de protección.	92
2.- Selección de los niveles de aislamiento.	93
Selección del nivel básico de aislamiento, dIL.	93
3.- Coordinación del aislamiento.	97
CAPITULO VI EJEMPLO DE APLICACION .-	
1.- Descripción del sistema a estudiarse.	99
2.- Coordinación del aislamiento.	102
CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .-	
1.- Conclusiones.	106
2.- Recomendaciones.	108
BIBLIOGRAFIA .-	109

INDICE DE FIGURAS

- FIG.# 1 .- Forma típica de una onda de sobretensión o de sobrecorriente.
- FIG.# 2 .- Representación de una línea en vacío.
- FIG.# 3 .- Amortiguamiento de la sobretensión.
- FIG.# 4 .- Esquema para medir la continuidad en un cable.
- FIG.# 5 .- Continuidad de un cables con el método del voltímetro - amperímetro.
- FIG.# 6 .- Representación de la falla en un cable subterráneo. Falla una fase y tierra.
- FIG.# 7 .- Falla dos conductores y tierra.
- FIG.# 8 .- Falla entre dos conductores.
- FIG.# 9 .- Aplicación del Método de Murray.
- FIG.# 10,11.-Aplicación del Método de murray.
- FIG.# 12 .- Demostración de la falla dos conductores y tierra.
- FIG.# 13,14,15.- Aplicación del método de las caídas de tensión.
- FIG.# 16 .- Demostración de la falla dos conductores y tierra por el método de las caídas de tensión.
- FIG.# 17 .- Método del bucle de corriente continua de alta tensión. Localización exacta de averías.
- FIG.# 18 .- Método del bucle de Murray con voltímetro electrónico, en localización exacta de averías.
- FIG.# 19 .- Sección transversal de un cable subterráneo típico, trifásico.
- FIG.# 20 .- Manguito de empalme de fundición de hierro, en cables con aislamiento de papel impregnado.

- FIG.# 21 .- Manguito de empalme ,para cables con aislamiento de plástico,hasta de 10 kv.
- FIG.# 22 .- instalacion de un manguito de empalme.
- FIG.# 23 .- Manguito de derivación en " T " para cables con aislamiento de papel impregnado.
- FIG.# 25 .- Manguito de derivación en " Y " para cables con aislamiento de papel impregnado.
- FIG.# 26 .- Manguito de derivación en " cruz ".
- FIG.# 27 .- Manguito terminal para interior.
- FIG.# 28 .- Manguito terminal para interior para cables con aislamiento de papel impregnado.
- FIG.# 29 .- Manguito terminal para intemperie para cables con aislamiento de papel impregnado.
- FIG.# 30 .- Terminal de cables vertical para cable tripolar armado con aislamiento de papel y runda de plomo, para 8 Kv.
- FIG.# 31 .- Variacion de la potencia del transformador, en función de la temperatura.
- FIG.# 32 .- Cable tripolar con aislamiento de papel impregnado (armado).
- FIG.# 33 .- Cable protodur de un conductor apantallado de flese de cobre.
- FIG.# I .- Disposición diferente de los cables en los canales.
- FIG.# II .- Disposición y espacios mínimos de los cables en la colocación en una zanja.
- FIG.# 34 .- Protección de un sistema utilizando unicamente fusibles.

- FIG. 35,36 .- Protección diferente en un sistema determinado.
- FIG.# 37 .- Esquema de un transformador del tipo C.S.P.B., el cual tiene un eslabón fusible, dos disyuntores, un descargador y luces de señalización.
- FIG.# 38 .- Instalación de un pararrayos en la unión de una línea aérea con el cable subterráneo.
- FIG.# 39 .- márgenes de protección empleados en la selección del pararrayos adecuado.
- FIG. #40 .- Conexión del pararrayos en forma óptima.
- FIG.# 41 .- Corrientes de paso en función de la corriente de ruptura.
- FIG.# 43 .- Cartuchos fusibles, tipo RR (europeos).
- FIG.# 44 .- Tensión máxima fase - tierra en la localización de una falla en un sistema con neutro a tierra.
- FIG.# 45 .- Característica de un pararrayos tipo estación válvula, con un nivel de aislamiento de 109 Kv.
- FIG.# 46 .- Concepto básico de coordinación del aislamiento.

INDICE DE TABLAS

- TBL.# 1 .- resistencias óhmicas por Km. a 20^o, en cables subterráneos.
- TBL.# 2 .- Características técnicas de los materiales conductores empleados en los cables subterráneos.
- TBL.# 3 .- Sección nominal de los conductores activos y del neutro.
- TBL.# 4 .- Factor de reducción de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar, para los transformadores.
- TBL.# 5 .- Factor de variación de la potencia, en los transformadores, con la temperatura ambiente.
- TBL.# 6 .- Capacidad de sobrecarga de los transformadores.
- TBL.# 7 .- Pérdidas en los transformadores de distribución.
- TBL.# 8 .- Impedancias aproximadas en los transformadores de distribución.
- TBL.# 9 .- valores de la corriente a plena carga en los transformadores , dada en Amperios.
- TBL.# 10 .- Características de los sistemas y de los cables subterráneos.
- TBL.# 11 .- Valores de cresta de la tensión de prueba por impulso para cables subterráneos.
- TBL.# 12 .- Nivel básico de aislamiento, BIL.
- TBL.# 13 .- Valores del BIL en la prueba de impulso.
- TBL.# 14 .- Nivel básico de aislamiento en transformadores secos.
- TBL.# 15 .- Tensiones en redes subterráneas y rangos recomendados en pararrayos.

TBL.# 16 .- Tipos de pararrayos, tensión y duración que deben ser consideradas.

TBL.# 17 .- Nivel básico de aislamiento para diferentes equipos.

CAPITULO I

GENERALIDADES

CAPITULO I GENERALIDADES.-

1.- OBJETIVO Y ALCANCE DEL TRABAJO.-

En los últimos años se ha incrementado en forma notable el uso de los cables subterráneos, para realizar la distribución de la energía eléctrica por el sistema subterráneo, debido, principalmente, a las ventajas que éste sistema ofrece en comparación con la distribución por el sistema aéreo convencional.

Una red de distribución subterránea, está oculta a la vista del público, desde su inicio, o sea, desde el disyuntor general que está en una sub-estación, sale el primario de alta tensión que alimenta a los transformadores en las cámaras de transformación y a los diferentes cables que se utilizan; (en nuestro caso las tensiones utilizadas son de 6.3 y 13.2 Kv) éstos cables son enterrados directamente en el suelo o colocados en ductos especiales.

Además, todo el equipo tanto de protección de alta tensión baja tensión y alumbrado, así como los transformadores, terminales de cables, etc... deben tener características especiales para interior, en donde tengan que soportar ciertas condiciones de temperatura, ventilación, humedad, etc...

Considerando que un sistema de distribución subterráneo tiene un costo más elevado que el sistema aéreo, aproximadamente de 1.25 a 10 veces más, se está tratando de unificar en todas partes el empleo de los sistemas subterráneos, por las ventajas que ofrece, especialmente en lo referente a las áreas comerciales y residenciales de las grandes ciudades. En nuestro

país se lo emplea ya, en Quito, Guayaquil, como en Cuenca y otras ciudades, especialmente en el centro comercial de las mismas.

Entre las ventajas que presenta éste sistema, se pueden anotar las siguientes:

- * Menor probabilidad de salida de servicio del sistema, debido a causas externas, tales como: descargas atmosféricas, accidentes de tránsito, fuertes lluvias, vientos, etc...
- * Las instalaciones presentan un aspecto agradable para la vista de las mismas, mejorando el ornato de las ciudades, por lo que ya no se tiene los cruces de los cables por las calles en una forma demasiado irregular, evitándose así posibles peligros para el público que transita por las calles y avenidas.
- * En lo referente a la capacidad de la red, se puede aumentar considerablemente en una red de distribución subterránea, ya que por los cables que se utilizan así como por el resto del equipo (transformadores, etc...), se puede servir a una mayor demanda de energía. Los transformadores de una red de distribución subterránea son de mayor capacidad que los de una aérea, ya que debido a su peso no se los instala en los postes, además se usa un número menor de transformadores.

Estos tres puntos anotados, se los puede considerar como los de mayor importancia dentro de las ventajas que ofrece una red subterránea, por lo cual, como se dijo anteriormente, cada día se recomienda más el empleo de éste sistema de distribución, a pesar de que como se anotó anteriormente, su costo sea muy elevado comparado con el sistema aéreo.

2.- PROCEDIMIENTO A SEGUIRSE.-

En primer lugar se hablará de las sobretensiones que se presentan en las redes de distribución subterráneas, debidas a diferentes causas, analizando en éste capítulo, el origen y tipo de las sobretensiones, así como también la manera de realizar el cálculo de éstas. Seguidamente en el mismo Capítulo II, se tratará de las fallas que ocurren en los cables utilizados como en las diferentes partes constitutivas de la red, dando los métodos que se emplean para poder realizar la localización de éstas fallas y el posible camino a seguirse para hacer las reparaciones correspondientes.

En el Capítulo III, se describirá de una manera más detallada todos y cada uno de los elementos utilizados en los sistemas de distribución subterránea: cables, transformadores, etc... Luego se tratará acerca de las características del aislamiento requerido tanto para los cables como para el resto del equipo empleado. Por último se hablará acerca de los espaciamentos mínimos que se requiere conservar para poder tener un eficiente servicio del sistema.

En el siguiente Capítulo (IV), se hablará de los diferentes métodos más eficientes para realizar las protecciones contra las posibles sobretensiones que se presenten en el sistema, analizando de una manera más ligera lo referente a las sobretensiones del sistema, ya que éste no es el propósito del presente trabajo. Se hablará acerca de la utilización de los descargadores o pararrayos para la protección de los sistemas subterráneos, dando una descripción de éstos y la manera como deben conectarse en la red.

En el mismo Capítulo se darán los pasos a seguirse para poder realizar la localización y selección de los diferentes elementos de protección utilizados en la red.

En el Capítulo V, se tratará de una forma más directa del tema de la Coordinación del Aislamiento, propiamente dicho, para lo cual se darán primeramente ciertas definiciones y conceptos que son de importancia conocerlos, tales como: Coordinación del Aislamiento, Tensión Nominal de la Red, Sobretensiones de la Red, Nivel de Protección de un Descargador, Nivel de Aislación, etc... A continuación se hablará acerca de los niveles de aislación que se deben tener en cuenta para poder tener una mejor coordinación del aislamiento entre todos los elementos que conforman la red. Luego se explicará lo referente a la coordinación del aislamiento haciendo referencia expresamente a los sistemas de protección, así como a los niveles de aislación de los diferentes equipos.

En el siguiente Capítulo, el VI, que se refiere a la realización de un ejemplo práctico, se tratará de hacer una aplicación de todo lo expuesto a lo largo del trabajo, tomando muy en cuenta todo lo referente a la coordinación del aislamiento entre todos los elementos que conforman la red en estudio.

Finalmente en éste Capítulo VII, se darán algunas conclusiones basadas en toda la realización del trabajo, así como ciertas recomendaciones que son de fundamental importancia para quienes tiene interés en realizar un estudio más profundo de éste tema.

CAPITULO II

SOBRETENSIONES EN REDES SUBTERRANEAS

CAPITULO II SOBRETENSIONES EN REDES SUBTERRANEAS.-

1.- GENERALIDADES.-

En una red de distribución subterránea, se puede producir ciertas perturbaciones las cuales dan como efecto la provocación de fenómenos eléctricos, que se manifiestan como sobretensiones o como sobreintensidades.

Las sobretensiones consisten, bien en un aumento de la tensión de servicio entre los conductores o entre un conductor y tierra, o en la aparición de diferencias de potencial anormal en los arrollamientos de los aparatos alimentados por la red.

Debido a esto, en todo servicio público de suministro de energía eléctrica se impone la necesidad de controlar el estado y funcionamiento de los elementos que intervienen en las diferentes etapas de producción, transporte y distribución.

Cuando se trata de un sistema de distribución con corriente alterna se tiene mayor probabilidad de ocurrencia de las sobretensiones en cualquiera de sus manifestaciones, que cuando, se trata de una distribución por corriente continua, por lo cual se debe tener mayor cuidado en el tratamiento y en el estudio de las sobretensiones en el primer caso, ya que estas sobretensiones afectan al equipo y en general a todos los elementos que conforman la red de distribución sea ésta aérea o subterránea, como en nuestro caso particular.

2.- ORIGEN Y TIPO DE LAS SOBRETENSIONES.-

La forma típica de una onda de sobretensión o de sobre corriente, que se puede presentar en un sistema determinado, es de la forma dada en la siguiente figura. FIG.# 1

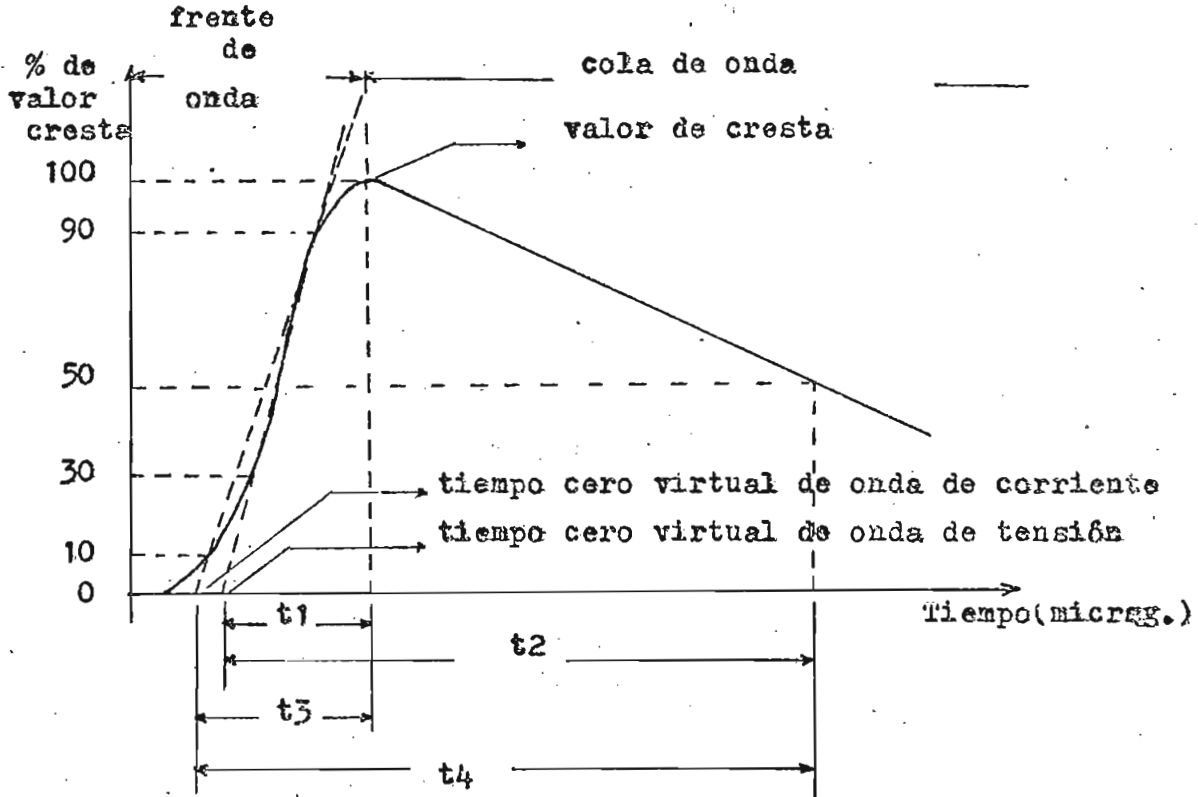


FIG.# 1

T1 = tiempo desde el "cero virtual" del frente de onda hasta que la onda alcance su valor de cresta.

T2 = tiempo desde el "cero virtual" del frente de onda, hasta que la onda de corriente o tensión alcance el 50 % del valor de cresta.

La mayoría de las sobretensiones producidas, sobretodo las provenientes de descargas atmosféricas, tiene un valor bastante elevado pero son de una duración relativamente muy corta.

Estas ondas de sobretensión o de sobrecorriente se las mide en microsegundos (una millonésima de segundo), están determinadas por dos cantidades, de la forma " a x b " microseg.; en donde se tiene:

a = tiempo en el cual la tensión crece rápidamente hasta un valor llamado de "cresta".

b = tiempo en el cual la onda de sobretensión decrece lentamente hasta un valor del 50 % del valor de cresta.

Generalmente el valor del tiempo " a " es del orden de 1 a 10 microseg.; y el valor del tiempo " b " es del orden de 20 a 150 microseg.

Por ejemplo, una onda de características 2 x 50 microseg. quiere decir que el tiempo en el cual la onda ha demorado en alcanzar el valor de cresta es de 2 microseg., y el tiempo en el que decrece lentamente hasta el 50 % del valor de cresta es de 50 microseg.

Las sobretensiones pueden producirse en el momento de un cambio de estado de la red (variaciones bruscas de carga, puestas fuera de servicio de un cable, etc...) o, también, cuando se cumplen ciertas condiciones de resonancia.

En los casos en los que la tensión varía bruscamente pueden producirse ondas de frente escarpado, que se propagan sin amortiguamiento sensible en los conductores con autoinducción y capacidad uniformemente repartidas. Si una onda de frente es-

carpado encuentra en su trayectoria un punto de cambio de impedancia, se produce una reflexión parcial de la onda inicial, éste es el caso precisamente, de una línea aérea unida a un cable subterráneo.

Si la onda de frente es carpado viene de la línea aérea y encuentra al cable, cuya impedancia es menor, una parte importante de la onda se refleja.

Si la onda de frente es carpado procede del cable y encuentra a la línea aérea, cuya impedancia es más elevada, la onda de carga transmitida a la línea aérea puede ser importante, por el contrario la onda reflejada es bastante débil.

Otra causa de sobretensión, propia de los cables subterráneos resulta, de la puesta en servicio del cable en vacío. Este aumento anormal de la tensión se debe a la capacidad de los cables y alcanza su valor máximo en el extremo de la canalización.

Cuando hay una desconexión de una línea en vacío se produce, también, una sobretensión.

Cuando en ciertos casos, particularmente cuando un cable subterráneo se une a una línea aérea, puede suceder que los valores de la autoinducción y de la capacidad conduzcan a una frecuencia propia del circuito, próxima al valor de la frecuencia de servicio. Se producen, entonces, fenómenos de resonancia, que provocan sobretensiones y sobreintensidades, las cuales pueden ser causa de averías en el material y en los equipos.

Las puestas a tierra en las redes extensas de cables subterráneos que tienen por lo tanto una elevada capacidad, pueden provocar sobreintensidades importantes.

Además pueden presentarse sobretensiones debidas a maniobras. Se entiende por Sobretensiones de Maniobra, aquellas que con frecuencia propia de la red se producen por la operación de los interruptores. Estas sobretensiones pueden ser representadas por una onda unidireccional de tipo de impulso con un tiempo frontal de $250 \text{ microseg.} + 50 \text{ microseg.}$; y tiempo del semivalor de $400 \pm 1000 \text{ microseg.}$ Se entiende que estos valores son solo representativos, ya que las frecuencias con que se dan éstas sobretensiones dependen de los parámetros del sistema en el momento de producirse la maniobra. Si bien la aparición de estas sobretensiones es importante, es posible mediante un diseño adecuado de los interruptores, limitarlas a niveles aceptables.

Debido a que en nuestro caso no tenemos un sistema de muy alto voltaje y por lo cual no tiene demasiada influencia las sobretensiones de maniobra, no se realizará un análisis más profundo acerca de estas sobretensiones.

3.- CALCULO DE LAS SOBRETENSIONES.-

La propagación de las sobretensiones, así como la velocidad con la que se propagan, se la puede determinar de la siguiente manera:

La inductancia, debida al flujo interno del conductor de un cable subterráneo, formado por un conductor de sección circular de radio " r " , un aislante o aislamiento cuya constante dieléctrica es " k " y un forro metálico de radio interior " R " , está dada por:

$$L = 2 \operatorname{Ln} \frac{R}{r} \times 10^{-7} \quad (\text{H/m}) \quad (1)$$

La capacitancia al neutro del cable, está dada por:

$$C = \frac{K}{18 \operatorname{Ln} \frac{R}{r}} \times 10^{-9} \quad (\text{F/m}) \quad (2)$$

Por lo tanto, tenemos que, la impedancia característica del cable será:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3)$$

$$= \sqrt{2 \operatorname{Ln} \frac{R}{r} \times 10^{-7} \times \frac{18}{K} \operatorname{Ln} \frac{R}{r} \times 10^{-9}}$$

$$= \sqrt{\frac{3600}{K} \left(\operatorname{Ln} \frac{R}{r} \right)^2}$$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{K}} \operatorname{Ln} \frac{R}{r} \quad (4)$$

$$Z_0 = \frac{138.156}{\sqrt{K}} Lg \frac{R}{r} \quad (5)$$

Además, se conoce que la velocidad de propagación, está dada por:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (6)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\frac{2 \ln \frac{R}{r} \times 10^{-7} \times K \times 10^{-9}}{18 \ln \frac{R}{r}}}}$$

$$= \sqrt{\frac{9 \times 10^{16}}{K}}$$

$$v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{K}} \quad (\text{ m/seg }) \quad (7)$$

Generalmente el valor de K es de 2.5 a 4; por lo tanto reemplazando en las ecuaciones anteriores, se llega al siguiente valor:

$$v' = 200000 \quad (\text{ Km/seg })$$

$$v'' = 150000 \quad (\text{ Km/seg })$$

Los valores más comúnmente usados en conductores aéreos y subterráneos, de la impedancia característica son: 400 ohms, en el caso de un aéreo; y de 30 ohms en el caso de un cable subterráneo.

Para el caso de una línea en vacío, que constituya un circuito preponderantemente capacitivo, se lo puede representar por

el diagrama de la figura adjunta, FIG. 2

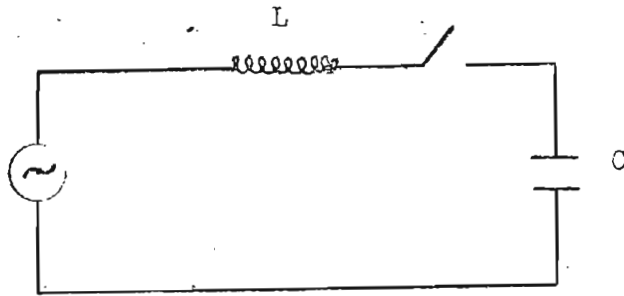
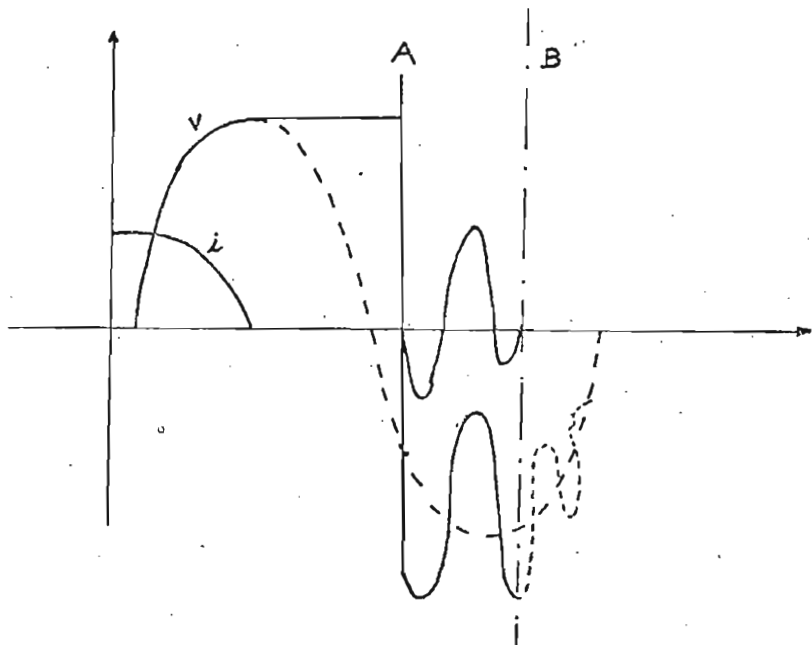


FIG. 2

La corriente capacitiva de la línea que se va a interrumpir, es de poca intensidad y está adelantada prácticamente 90° con respecto a la tensión, de manera que cuando la corriente (i) pasa por cero, la tensión (v) tiene su máximo valor. Esto se lo aprecia en la figura siguiente, FIG. 3



La capacitancia de la línea, causa que al extinguirse el arco, la línea quedé cargada a éste valor máximo. La tensión del sistema del otro lado del interruptor sigue variando en forma sinusoidal, de manera que al cabo de un semiciclo, la diferencia de tensión aplicada entre los dos contactos del interruptor, llegará a un valor de $2 V\sqrt{2}$ y éste aumento de tensión aplicado entre los contactos, puede exceder la rigidez dieléctrica del medio y producir, por ejemplo, en el instante " A " , una reignición.

El arco vuelve a establecerse y la energía de ésta carga capacitiva se descarga sobre el sistema, produciendo una oscilación de tensión y de corriente de alta frecuencia, determinada por la capacitancia de la línea y la inductancia del sistema.

La corriente (i) puede interrumpirse en uno de los pasos por cero, por ejemplo en el punto " B " , y la línea queda, entonces, cargada a la tensión que existía en ese punto, que es más elevado que el precedente.

Este fenómeno puede repetirse, o mejor, producirse varias veces y causar sobretensiones muy elevadas y por lo tanto pueden ocasionar daños a todos los elementos constitutivos de la red de distribución.

4.- FALLAS QUE OCURREN DEBIDO A LAS SOBRETENSIONES.

IDENTIFICACION Y LOCALIZACION DE ESPAS.-

Primeraamente se analizarán las fallas que se pueden presentar en los cables que se emplean en una red subterránea.

Para poder hacer éste análisis, en primer lugar se debe determinar la naturaleza del defecto, luego investigar su emplazamiento, utilizando los diferentes métodos de localización propios de cada uno de los casos.

Los defectos en los cables subterráneos, pueden ser divididos en dos grupos:

- a) Defectos en pleno cable, y
- b) Defectos en los elementos de instalación.

Los defectos en pleno cable pueden tener como causa: rotura de la cubierta de plomo, lo cual puede suceder por el rozamiento del cable sobre una superficie demasiado dura, o, por las vibraciones a las que puede estar sometido el cable.

Otra causa para tener un defecto en pleno cable, se debe a la ionización de las bolsas de aire ocluido en los cables subterráneos; ésta ionización produce una carbonización de los aislamientos de los conductores, en una forma lenta, pero que a la larga representa un peligro para éstos cables.

Los defectos o fallas, debidas a causas internas de los cables, siempre se presentan como un cortocircuito entre los conductores, o entre los conductores y la envoltura de los cables (generalmente ésta envoltura de los conductores es de plomo).

Cuando se trata de cables apantallados o triplomo, las rotu-

ras del aislamiento provocan la puesta a tierra de los conductores, ya que éstos están rodeados de una envoltura metálica puesta a tierra.

Fallas en los cables..- Cuando se realiza una falla en un cable, entre otros aspectos que se deben tomar en cuenta, está la medida de la continuidad de los conductores, para lo cual se procede así:

Un conductor cuya continuidad no está asegurada sobre cierta distancia, más que por algunos hilos, tiene una mayor resistencia eléctrica que un conductor completamente sano.

La continuidad se la comprueba midiendo la resistencia de los conductores y comparando los resultados encontrados con los valores calculados. En los catálogos de los cables que proporcionan las casas constructoras de los cables, se encuentran los valores calculados de las resistencias óhmicas por Km. de conductor a 20° . Estos valores los encontramos en la tabla siguiente, TLB. 1

Para medir la continuidad de los cables, se procede de la siguiente manera: Se puentean dos conductores en un extremo del cable, como se indica en la FIG. 4.

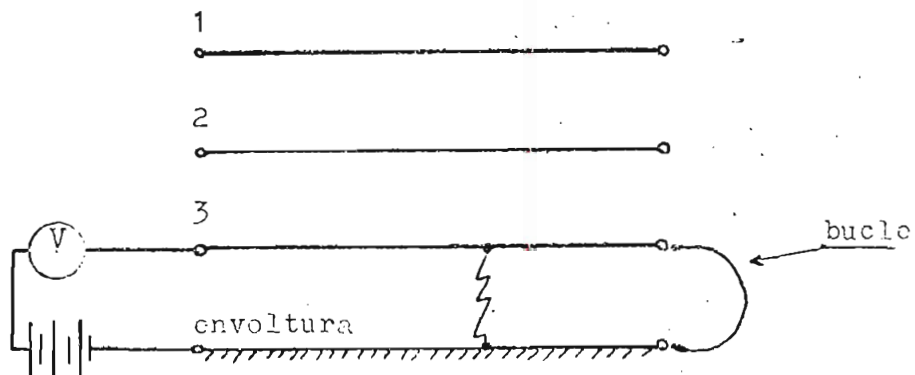


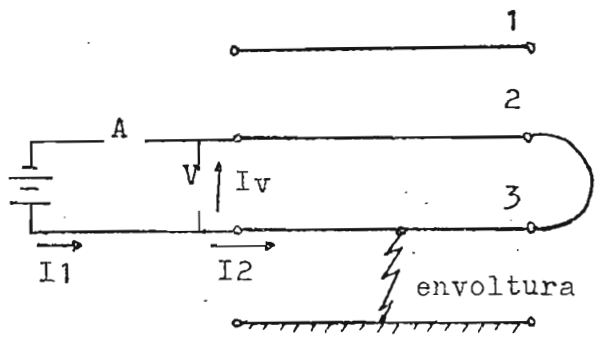
FIG. # 4.

Sécc. Nomi. mm ²	CABLES UNIPOLARES		CABLES TRIPOLARES	
	Cu	Al	Cu	Al
1.5	11.9000	---	12.1000	---
2.5	7.1400	---	7.2800	---
4.0	4.4700	---	4.5600	---
6.0	3.0200	---	3.0800	---
10.0	1.7900	---	1.8300	---
16.0	1.1300	1.8700	1.1500	1.9100
25.0	0.7120	1.1800	0.7270	1.2000
35.0	0.5140	0.8510	0.5240	0.8630
50.0	0.3790	0.6280	0.3870	0.6410
70.0	0.2620	0.4350	0.2690	0.4430
95.0	0.1890	0.3130	0.1930	0.3200
120.0	0.1500	0.2480	0.1530	0.2530
150.0	0.1220	0.2020	0.1240	0.2060
185.0	0.0972	0.1610	0.0991	0.1640
240.0	0.0740	0.1220	0.0754	0.1250
300.0	0.0590	0.0976	0.0601	0.1000
400.0	0.0461	0.0763	0.0470	0.0773
500.0	0.0368	0.0605	---	---
630.0	0.0283	0.0469	---	---

TLB. 1.- Resistencias óhmicas por Km.
a 20^o, en cables subterráneos.

en el otro extremo se mide la resistencia del bucle así formado: bastará dividir por dos el resultado encontrado, para tener la resistencia de un conductor. El puente debe realizarse mediante un shunt muy corto y de igual sección que el conductor.

El puente se efectúa entre un conductor sano y uno averiado; esto se lo puede realizar con un ohmímetro o con una batería y un voltímetro en serie, así se sabrá si el conductor averiado está cortado. Si la continuidad está asegurada, se efectuará a continuación una medida de resistencia. Se emplea para ello el método Voltímetro-Amperímetro, o un puente de Wheatstone. Para corregir el error del voltímetro, se puede hacer lo siguiente, basándose en la figura siguiente. FIG.# 5



$$I_v = \frac{U}{R_v}$$

Corriente por el bucle:

$$I_2 = I_1 - I_v$$

la resistencia buscada es:

$$R_x = \frac{U}{I_2}$$

FIG.# 5 .

En ésta figura se indica la manera de realizar la medida de la resistencia.

Método general para la localización de averías
en cables subterráneos.-

Primero se debe localizar el defecto de una forma aproximada, operando sobre la totalidad del cable.

Se analizarán las siguientes clases de fallas que pueden ocurrir en los cables:

- a) un conductor a tierra.FIG.# 6.
- b) dos conductores en cortocircuito y a tierra.FIG.# 7
- c) dos conductores en cortocircuito.FIG.# 8

Para poder tratar de realizar la localización de la falla en estos cables, se aplican dos métodos, que son:

- 1) Método del bucle de Murray.
- 2) Método de las Caídas de Tensión.

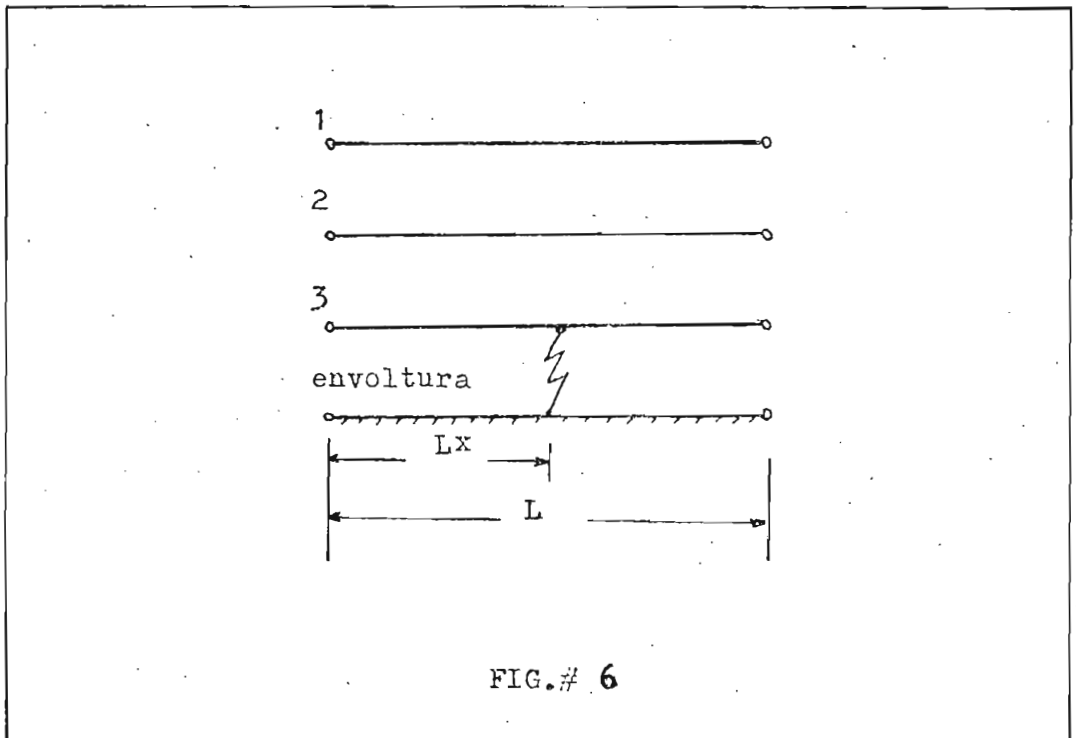


FIG.# 6

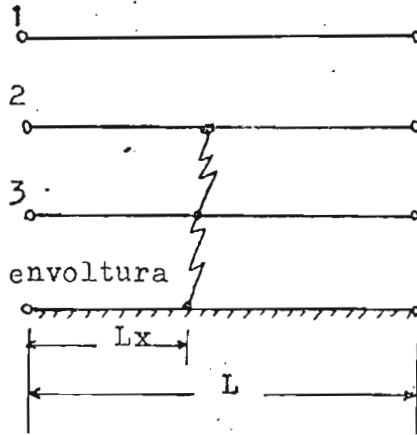


FIG.# 7

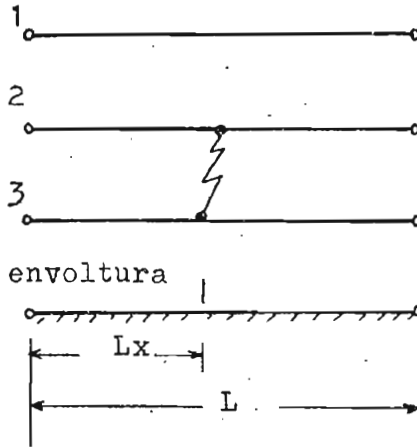


FIG.# 8

1) Método del bucle de Murray.

Al utilizar éste método, la disposición queda de la siguiente manera. FIG.# 9

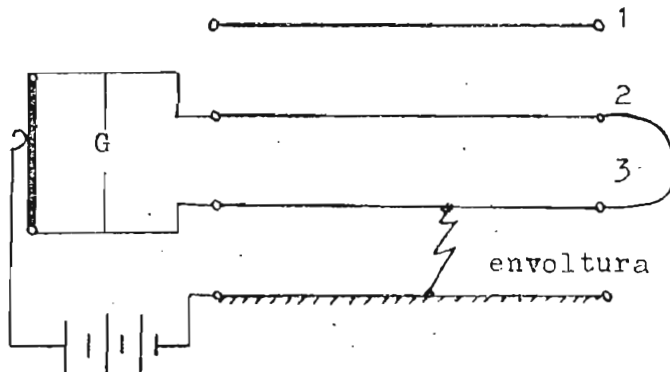


FIG.# 9

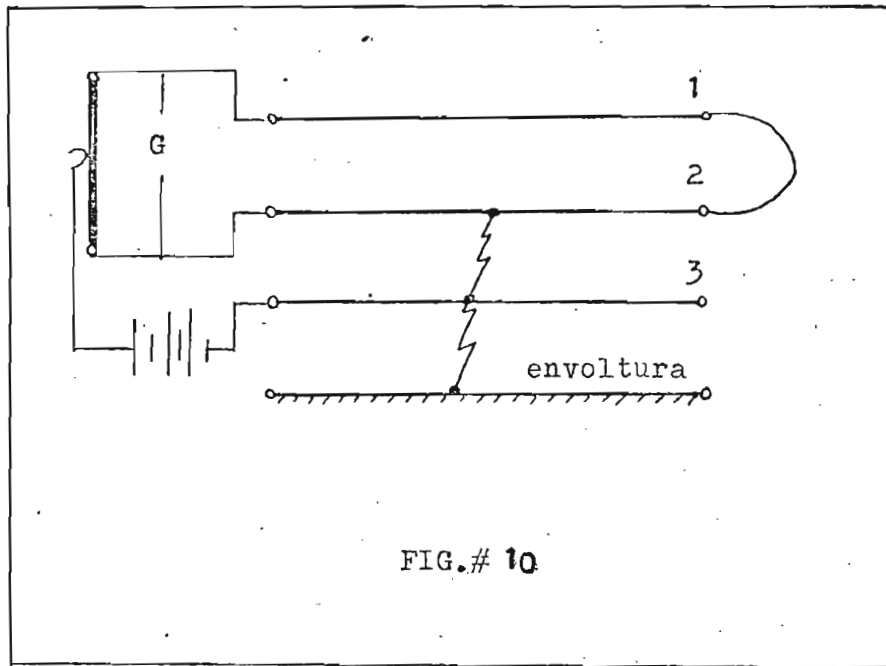


FIG.# 10

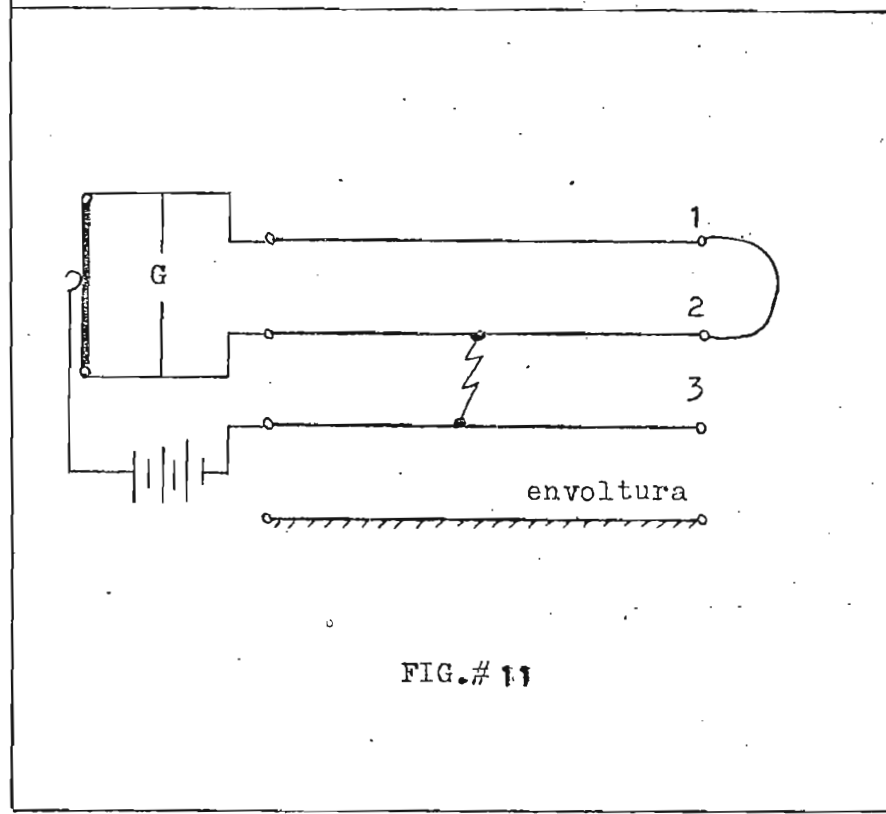


FIG.# 11

Las FIG.#9,10,11, corresponden a los casos dados en las FIG.# 6,7,8, respectivamente.

En éste método del bucle de Murray, se efectúa un puente o bucle entre un conductor sano y uno averiado; el puente deberá ser lo más corto posible y de la misma sección de los conductores.

En el otro extremo, entre los mismos conductores, se coloca un puente de hilo. El galvanómetro se conecta a los bornes del puente. La fuente de corriente se conecta entre el cursor del puente y el conductor o la cubierta de plomo que sirve de retorno.

El puente se equilibra desplazando el cursor hasta que el galvanómetro permanezca en cero, cuando se abre o cierra el interruptor. Para explicar mejor el principio de funcionamiento, tomaré como ejemplo el caso de " dos conductores en cortocircuito y a tierra " FIG.# 12

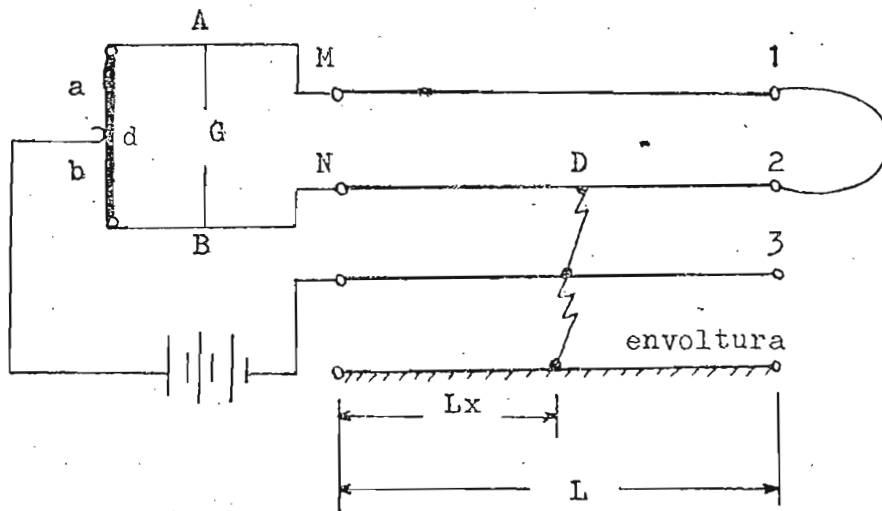


FIG.# 12

Las cuatro resistencias del puente están representadas por la longitud "a" del hilo, desde M hasta el cursor "d"; la longitud "b" del hilo, desde el punto N hasta el cursor "d"; la longitud L_x , comprendida entre el defecto y el extremo N del conductor averiado; y finalmente la longitud " $2L - L_x$ " del conductor, comprendida entre el defecto y el extremo M del conductor sano.

$$\frac{a}{b} = \frac{2L - L_x}{L_x} \quad (1)$$

$$L_x = 2L \frac{b}{a + b} \quad (2)$$

Generalmente se construye el puente de tal manera que el hilo sea:

$$a + b = 100 \text{ ; por lo tanto:}$$

$$L_x = \frac{L \cdot b}{500} \quad (3)$$

2) Método de las Caídas de Tensión.-

Las correcciones que resultan de aplicar este método se las aprecia en las siguientes figuras. FIG.# 13, 14, 15, que representan: un conductor a tierra, dos conductores en cortocircuito y a tierra y dos conductores en cortocircuito, respectivamente.

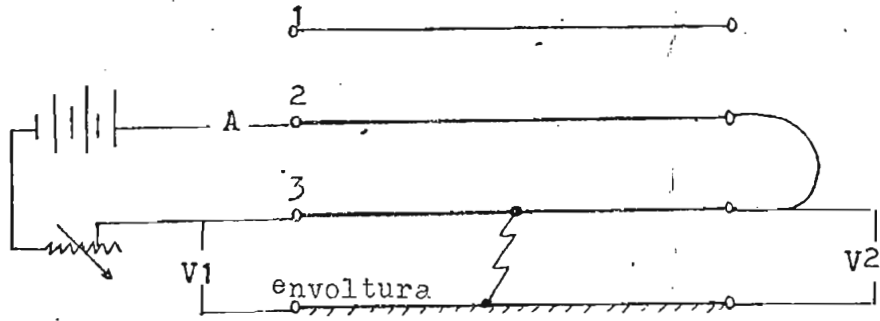


FIG.# 13

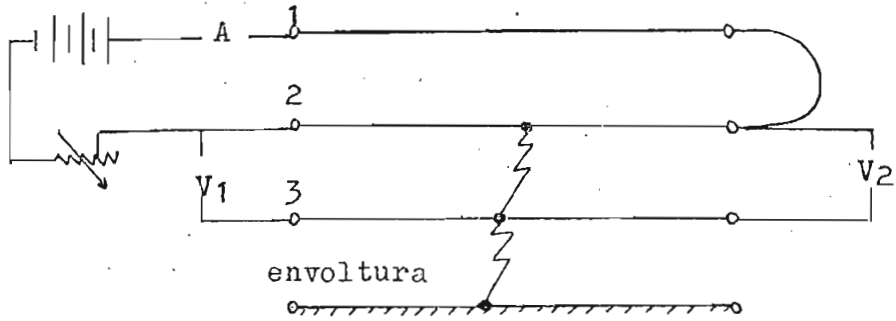


FIG.# 14

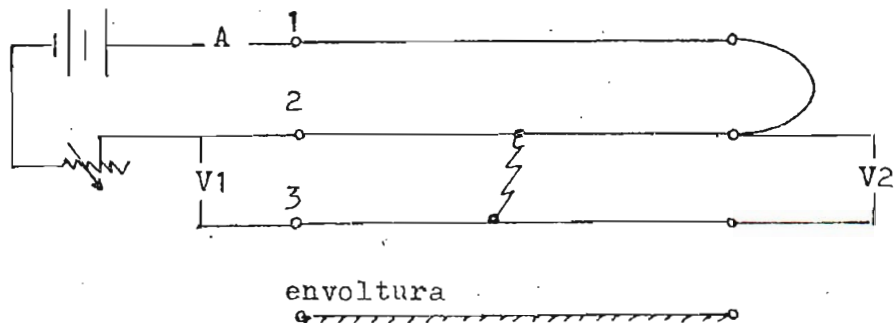


FIG.# 15

Analizando un caso particular, el de dos conductores en cortocircuito y a tierra, FIG.# 16, se tiene: un puente entre un

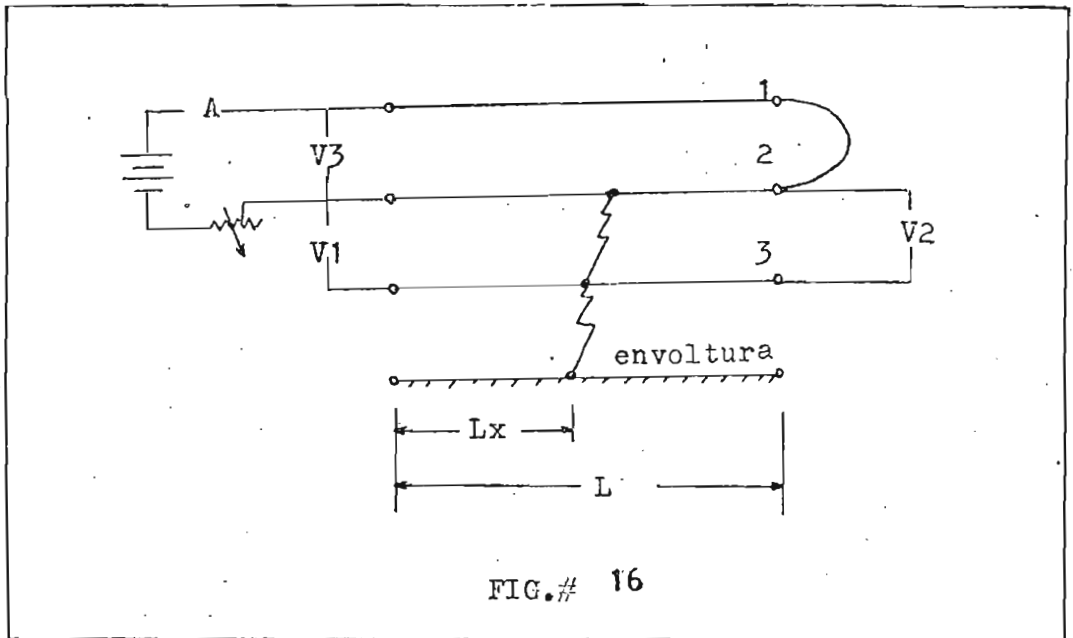


FIG.# 16

conductor sano y uno averiado. La fuente de corriente está conectada entre los bornes del otro extremo de los conductores unidos por el bucle, en serie con un reóstato destinado a mantener la corriente durante las mediciones. Un interruptor permite cortar el circuito a voluntad. Como el conductor del cable es homogéneo, las caídas de tensión son proporcionales a las longitudes. El voltímetro " V1 ", indica la caída de tensión entre el punto " A " del conductor y el defecto. El voltímetro " V2 " indicará la caída de tensión entre el defecto y el extremo " B ". Por lo tanto, la suma de estas caídas de tensión serán proporcionales a la longitud del conductor :

$$\frac{V1}{V1 + V2} = \frac{Lx}{L} \quad (4)$$

por lo tanto:

$$Lx = L \frac{V1}{V1 + V2} \quad (5)$$

Para realizar estas medidas deben ser necesarios más de un operario en cada uno de los extremos del cable, por lo que para evitar esto, se coloca un voltímetro " V3 " entre los bornes del bucle en el extremo " A " ; aquí se puede suprimir el " V2 ", luego se tiene :

$$\frac{V1}{V3} = \frac{Lx}{2L} \quad (6)$$

$$Lx = 2L \frac{V1}{V3} \quad (7)$$

Estos métodos de localización de averías son en forma aproximada. Para poder tener una idea más clara acerca de la localización en forma aproximada de averías en los cables se enumeran algunos otros métodos, tales como:

- a) Método del bucle de corriente continua de alta tensión, que se lo indica en la FIG.# 17

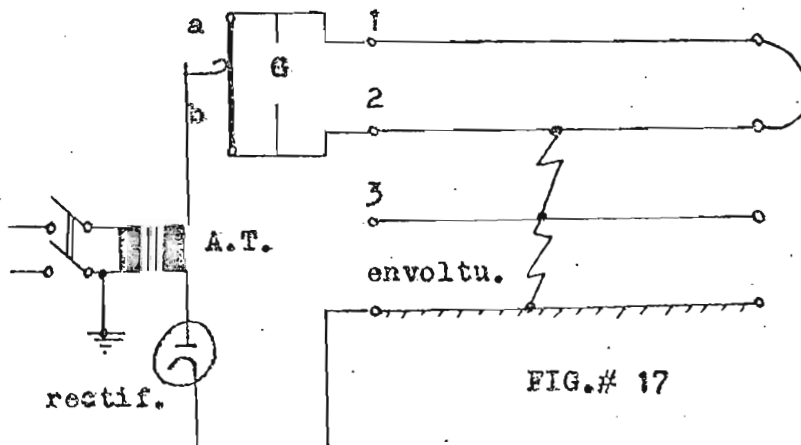


FIG.# 17

001778

b) Método del bucle de Murray con voltímetro electrónico, indicado en la FIG.# 18

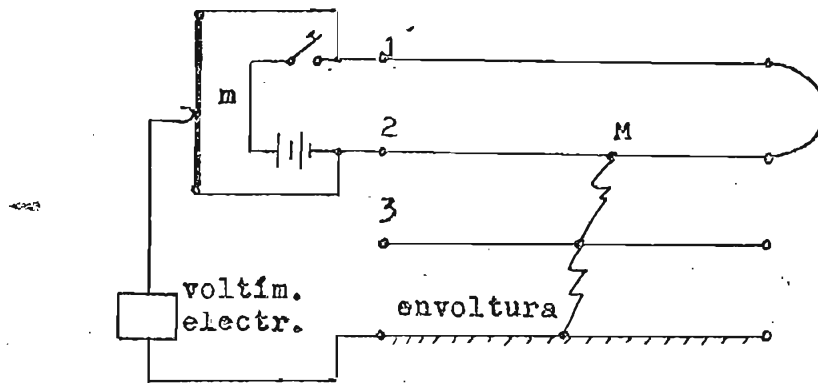


FIG.# 18

Generalmente en nuestro medio se realiza la localización de los defectos en los cables por los métodos señalados anteriormente, especialmente por el método del "Bucle de Murray". Para el caso de la E.E.Q.S.A. éste es el método usado para la localización de las averías. Caso contrario, cuando no es posible la aplicación de éste método, se procede a la rotura de la canalización por donde van instalados los cables, para poder tratar de determinar la falla. Para evitar los destrozos innecesarios en las calles, aceras, etc..., bajo los cuales van los cables, se debe tener en una forma clara y precisa un mapa geográfico del camino seguido por los cables, señalando con cuidado los puntos en los cuales existen empalmes o derivaciones de la instalación.

Aparte de estas formas de localización aproximada de fallas en los cables subterráneos, existen los métodos para una localización "exacta" de las fallas, pero debido a que para realizar

estas localizaciones " exactas " se debe tener un equipo más sofisticado y por lo tanto más caro , no se lo ha empleado aún en nuestro medio. Pero para tener una idea acerca de estos métodos, se los enumeraré a los más utilizados en otros países.

- a) Método de Bourdon
- b) Método de las caídas de tensión en envoltura de plomo
- c) Método del sentido de la corriente en la envoltura de plomo

Ahora, en lo referente a los defectos en los elementos de instalación (manguitos de empalme , de derivación y terminales) , constituyen la gran mayoría de las averías de las canalizaciones subterráneas . Se pueden presentar bajo diversas formas :

- * cortocircuito entre conductores con o sin puesta a tierra,
- * ruptura de continuidad,
- * cortocircuitos intermitentes, etc...

Algunos de estos defectos se manifiestan solamente por encima de un cierto valor de la tensión , para una tensión inferior a ésta " tensión crítica " , la canalización presenta las características de un cable sano . Generalmente, este defecto procede de una bolsa de aire que puede existir entre dos empalmes o un empalme y el cuerpo del manguito, entre los cuales , debido a la ionización del aire ocluido , puede saltar un arco cuando la tensión alcanza cierto valor . Esta bolsa de aire puede haberse producido durante el llenado del manguito con pasta aislante , a causa de una defectuosa evacuación de aire o por un enfriamiento demasiado brusco o, finalmente , por un llenado insuficiente con pasta aislante.

con pasta aislante. Por último puede suceder que, después de un primer defecto, se refrigere la materia aislante, reconstituyendo un aislamiento suficiente para hacer desaparecer el defecto; en éste caso, el cable puede ponerse bajo tensión al cabo de corto tiempo.

Para el caso de una avería en un manguito de empalme, la reparación puede consistir, simplemente, en rehacer el manguito. Caso similar puede ocurrir en los manguitos de derivación y en los terminales.

Para poder determinar las fallas que pueden ocurrir en los transformadores usados, cada uno de estos elementos tiene su propia forma de protegerse, y por lo tanto poseen indicadores de las fallas a las que puede estar sometidos.

CAPITULO III

EQUIPO USADO EN DISTRIBUCION SUBTERRANEA

CAPITULO III EQUIPO USADO EN DISTRIBUCION SUBTERRANEA.--

1.- DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO.--

En forma general, puede decirse que entre el equipo usado para la realizaci3n de una red de distribuci3n subterr3nea, se tiene los siguientes elementos:

- 1) cables que forman la red.
- 2) manguitos de empalme.
- 3) manguitos de derivaci3n.
- 4) manguitos terminales.
- 5) tomas de tierra para los cables subterr3neos, y dem3s elementos necesarios para realizar la instalaci3n de los cables. Dentro de 3sto se tiene los diferentes accesorios para los cables, tanto para alta tensi3n como para baja tensi3n.
- 6) Transformadores usados en las reds subterr3neas.
- 7) empleo de los disyuntores para proteger de las sobrecorrientes.
- 8) empleo de las bobinas de autoinducci3n.
- 9) empleo de los diferentes tipos de fusibles que se usan para proteger a la red.
- 10) uso de los pararrayos para la protecci3n de los sistemas subterr3neos.

Seguidamente se dar3n unas breves descripciones de cada uno de los elementos antes mencionados.

1.- Cables.-

Se denomina cable, en general, el conjunto formado por uno o varios conductores cableados, adecuadamente aislados, casi por

lo general provistos de uno o más recubrimientos protectores.

En la siguiente figura, se aprecia una sección transversal de un cable típico, trifásico, con todos los elementos que lo constituyen. FIG.# 19.

Para poder determinar un cable, se deben tener en cuenta ciertas definiciones, entre las cuales tenemos:

a) Tensión Nominal del Cable (E_0/E) : es la tensión nominal a frecuencia industrial para la cual el cable ha sido construido y a la cual debe poder funcionar continuamente en condiciones normales de servicio.

Esta tensión nominal está definida por dos valores que son:

- * La tensión entre cada uno de los conductores y la envoltura metálica o pantalla (E_0), y
- * La tensión entre dos cualquiera de los conductores (E) .

b) Grado de Aislamiento : es una designación empírica, que tiene en cuenta las características constructivas y de prueba del cable. su valor coincide con el de la tensión de prueba a frecuencia industrial a la cual deben someterse las piezas del cable, expresada en Kv.

c) Nivel de Aislamiento : es una designación empírica, también, que tiene en cuenta las características constructivas y de prueba del cable en relación a posibles sobretensiones de origen atmosférico. Su valor coincide con la tensión de prueba de impulso a la cual debe someterse la muestra del cable, expresada en Kv.

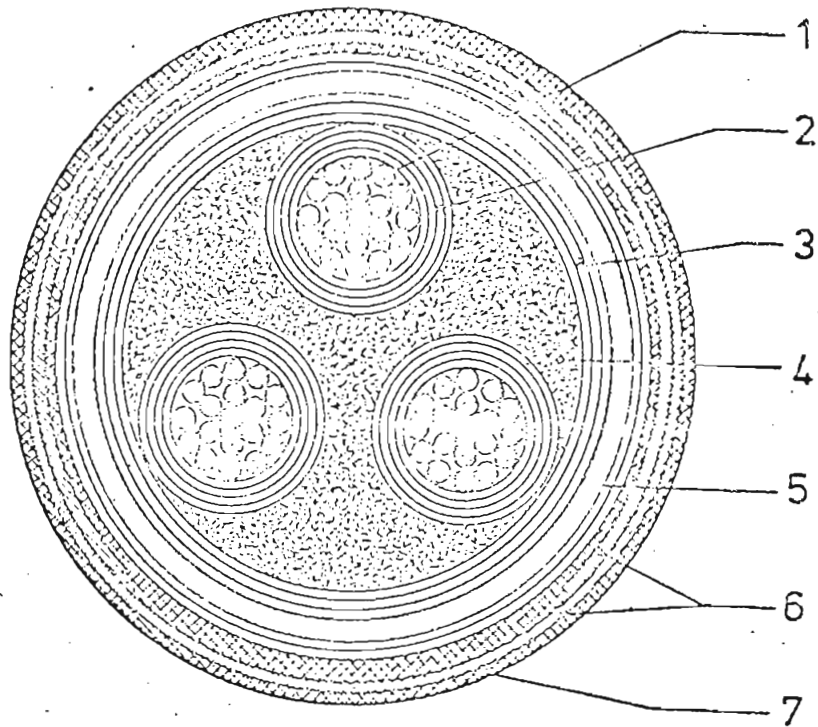


FIG.# 19 .- Sección transversal de un cable típico trifásico.

- 1 = conductores
- 2 = aislamiento
- 3 = cintura
- 4 = relleno o espesor aislante
- 5 = envoltura metálica
- 6 = armadura
- 7 = cubierta exterior

d) Tensión de Impulso (Ep) : es el valor de cresta de la
tensión comprobada a las ondas
de choque ,entre cada uno de los conductores y la pantalla o
envoltura metálica,para la cual se ha establecido el cable.

Conductores empleados en cables subterráneos .-

Los conductores
empleados en cables subterráneos,se los obtiene mediante cablea-
do de hilos de cobre electrolitico recocido,según la norma
UNE 21011 , o de hilos de aluminio semiduro,según la norma
UNE 21014 .

El resumen de lo dicho anteriormente,se lo puede indicar
en la siguiente tabla,TBL.# 2 ,la cual indica las caracterís-
ticas técnicas de los materiales conductores empleados en los
cables subterráneos.

CARACTERISTICAS	COBRE	ALUMINIO
Resistividad a 20° C, Ω mm ² /m	0.01724	0.0282
Coef. de variac. de resis/°C	0.00393	0.0040
Resis. a rotura, en Kgr/mm ²	22 -25	13-17
Alargamiento a rotura, %	30 -55	0.5-2.5
Coef. dilata. line. por °C	0.00001	0.000002
Peso especif. a 20°C, Gr/cc	8.89000	2.72000

TBL. # 2.-Características técnicas de los materiales conductores empleados en los cables subterráneos.

Cuando se considera una misma resistencia, se tiene la siguiente relación de secciones entre un conductor de cobre y uno de aluminio, por lo que tenemos:

$$\frac{S_{Al}}{S_{Cu}} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} = \frac{2.82}{1.72} = 1.64 \quad (1)$$

$$S_{Al} = 1.64 S_{Cu} \quad (2)$$

Según especifican las normas UNE , los cables pueden ser 1,2,3,4 ó más conductores iguales, o de tres conductores iguales y uno de sección reducida para el conductor del neutro o de protección. La sección nominal del neutro, respecto a la de los otros conductores, se la especifica en la siguiente tabla, TBL.# 3

Secc. nominal de cond. activos, en mm ²	16	35	50	70	95	120	150	185	240
Secc. nominal de cond. neutro, en mm ²	10	16	25	35	50	70	70	95	120

TBL.# 3 .- Sección nominal de los conductores activos y del neutro.

Generalmente se utiliza una misma sección de conductor , tanto para los conductores activos como también para el conductor del neutro, ya que de ésta manera se presta un mejor servicio en la red, así como también se dará mayor protección al sistema.

Sobre los materiales aislantes de los cables, se hablará de una forma más detallada en el siguiente punto.

Designación de los cables.-

Las normas UNE han establecido una designación abreviada para los cables subterráneos. Esta designación se efectúa por medio de las siguientes características que presentan los cables, asignándole a cada una de ellas una sigla diferente.

- a) tipo constructivo del cable.
- b) número, sección nominal, naturaleza y forma de los conductores
- c) tensión nominal, en Kv.

El tipo constructivo, se designa así:

La primera letra es el tipo de aislamiento de los conductores, para esto se emplean las siguientes letras:

P = papel impregnado.

V = policloruro de vinilo.

E = polietileno.

R = polietileno reticulado.

C = caucho natural vulcanizado.

B = caucho butílico.

K = caucho de silicona.

L = etilo-propileno.

La segunda letra indica si el cable es apantallado. Se emplean los símbolos :

Sin indicación = no apantallado

H = apantallado

La segunda letra (si no hay apantallamiento) o la tercera (si hay apantallamiento), indica la naturaleza de la envoltura metálica que rodea a los aislamientos de los conductores, de acuerdo a :

P = tubo continuo de plomo

Al = tubo continuo lizo de aluminio

A = tubo corrugado de aluminio

C = tubo corrugado de cobre

Las armaduras se designan con las letras:

F = flejs de hierro o de acero.

FA= flejes de aluminio

M = alambres de hierro

MA= alambres de aluminio

Q = pletinas de hierro

QA= pletinas de aluminio

La última letra de la designación, indica la naturaleza de la cubierta exterior de acuerdo a:

J = fibras textiles impregnadas

V = policloruro de vinilo

G = caucho natural galvanizado

N = neopreno o equivalente

K = caucho de silicona

En lo relativo a los conductores, se tiene:

a) la cifra que corresponde al número de conductores, seguida por una " x ".

b) sección nominal de un conductor, expresado en mm^2

c) la forma de las cuerdas :

sin indicación = cuerda convencional

C = cuerda compacta

S = cuerda sectorial

d) el material constituyente de los conductores:

sin indicación = cobre

Al = aluminio

La tensión nominal para la cual se ha construido el cable, se expresa en Kv y designará los valores de E_0 y E .

Cómo un ejemplo de lo anotado anteriormente, se tiene:

"cable tripolar, con conductores de cobre, de 35 mm^2 de sección sectoral cada uno, aislamiento de papel impregnado, bajo tubo continuo de plomo, con armadura de flejes de acero, cubierta exterior de policloruro de vinilo y tensión nominal $E_0 = 6 \text{ Kv}$."

" cable PPFV 3 x 35 S 6/10 Kv "

No se darán más detalles de los diferentes cables en si, ya que éste sería motivo de estudio aparte por lo largo del tema, y además está fuera del motivo principal del presente trabajo.

2.- Manguitos de empalme.

Estos manguitos de empalme, llamados también " cajas de empalme ", sirven, como su nombre lo indica para realizar el empalme entre conductores que debido a su longitud, necesitan que se realice esto. Generalmente estas longitudes varían entre 100 y 1000 metros.

En la gran mayoría de los casos, los cables que se empalman en estos manguitos, tienen la misma sección.

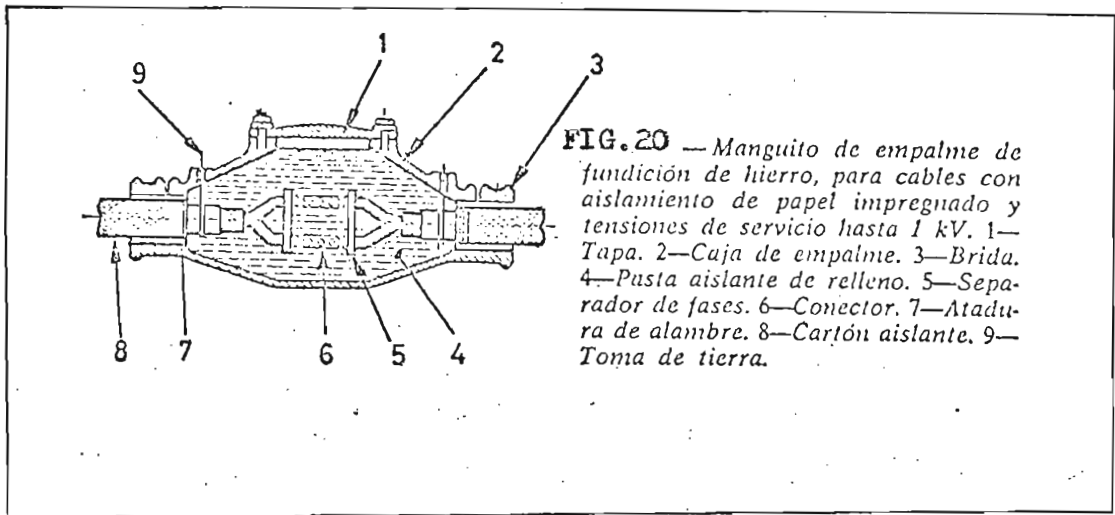
En los cables de corriente continua o alterna trifásica, que dan un campo magnético resultante nulo, los manguitos de empalme se construyen de fundición de hierro.

Un manguito de empalme debe cumplir las siguientes condiciones generales:

- a) no disminuir el aislamiento del cable.
- b) asegurar una protección mecánica suficiente.

- c) no disminuir la resistencia mecánica del cable.
- d) ocupar el menor espacio posible.

En la siguiente rigura, se puede ver un manguito de empalme de fundición de hierro, con todas sus partes constitutivas, y para una tensión de servicio hasta de 1 Kv. FIG.# 20



Recientemente se han introducido al mercado los mangitos de empalme de material plástico con pasta de relleno a base de resinas epoxídicas, las cuales se vierten en el manguito previa preparación. Estos empalmes son aplicables a todos los tipos de cables subterráneos (con aislamiento de papel impregnado, de materiales plásticos o de caucho butílico), para tensiones de servicio hasta de 10 Kv.

Estos mangitos, además, tienen la ventaja que son utilizados

para realizar el empalme con distintos tipos de cables , y cables de secciones diferentes. A éste tipo de manguito lo podemos apreciar en la siguiente figura. FIG.# 21

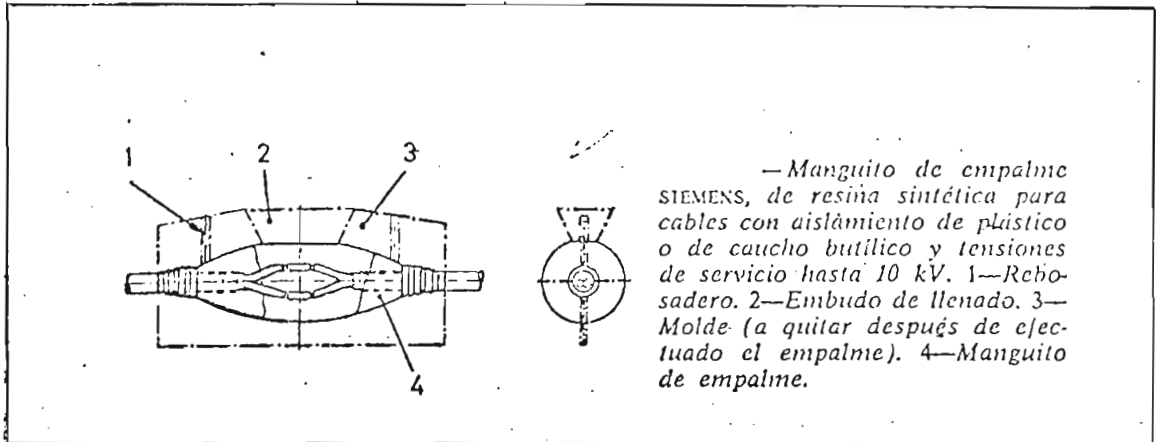


FIG.# 21.- manguito de empalme.

Para evitar los posibles esfuerzos de tracción, los manguitos de empalme deben ser instalados de la siguiente manera: el eje del manguito debe estar separado paralelamente del eje del cable, en una distancia aproximada de 0.5 a 1 metro, en otros casos, a una altura inferior a la del cable, de manera que éste forme a ambos lados del manguito un arco en forma de "S". Esto está representado en la siguiente figura. FIG.# 22

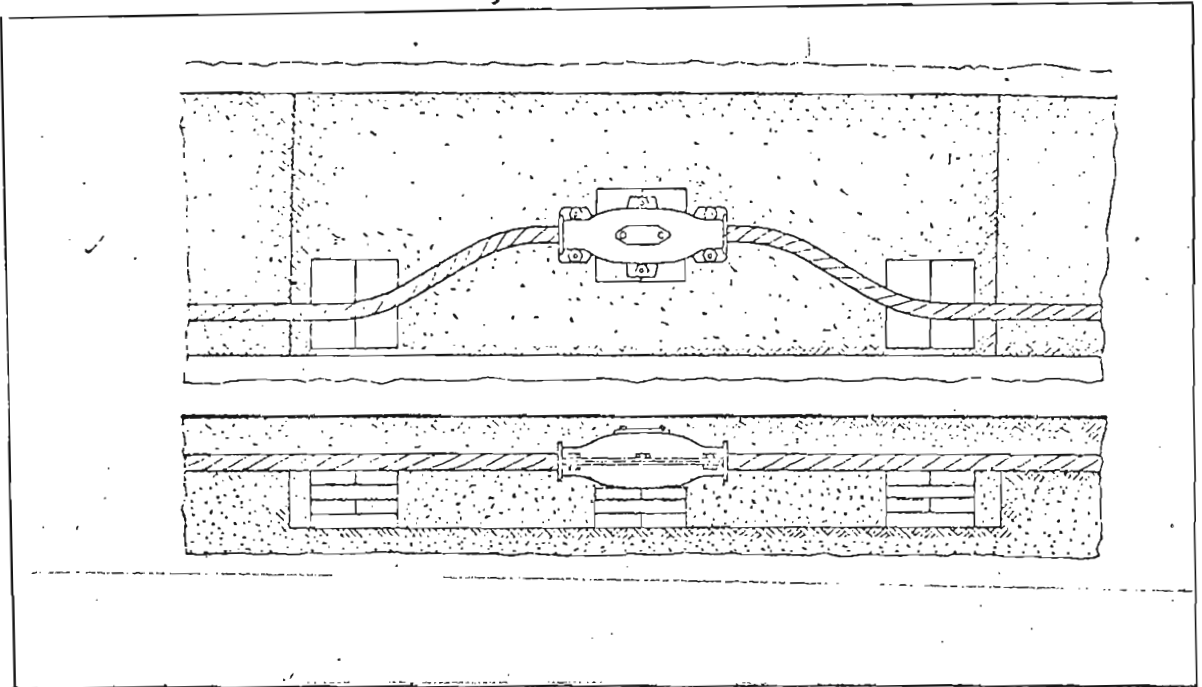


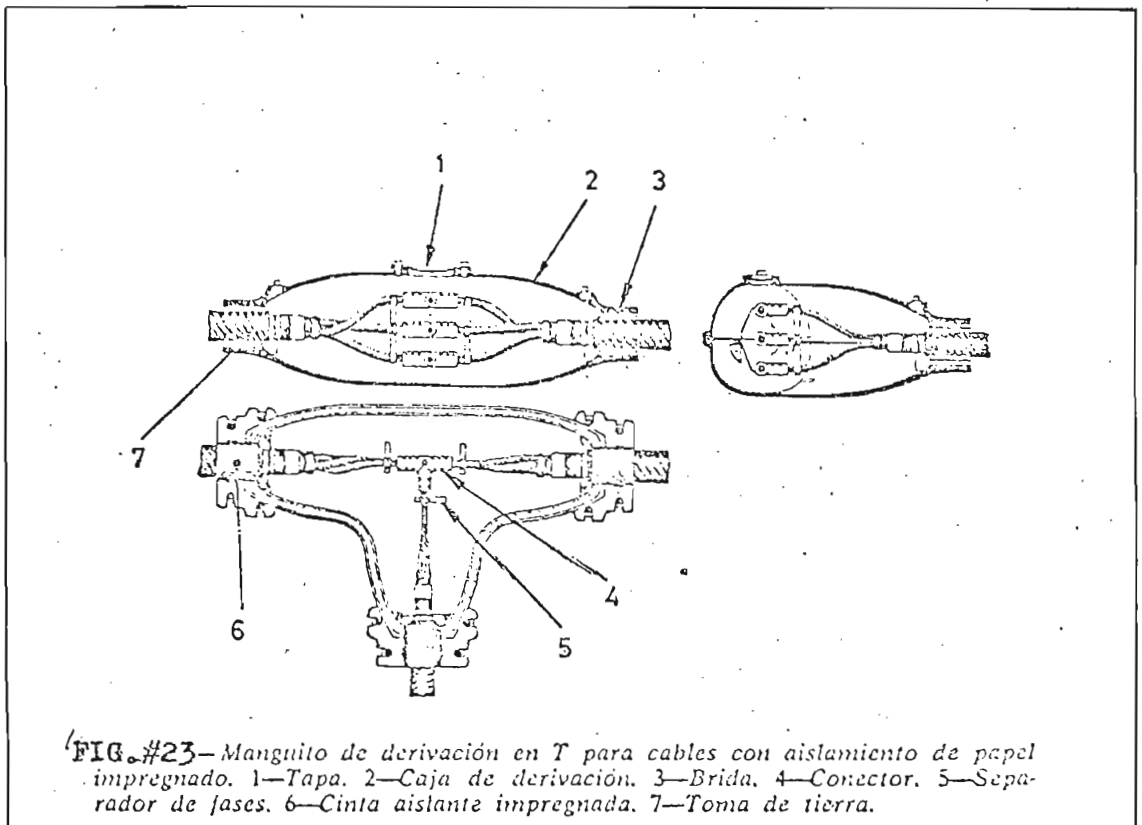
FIG.# 22 .- Instalación de un manguito de empalme.

3.- Manguitos de derivación.-

Los manguitos de derivación se utilizan para empalmar uno o más cables secundarios a otro principal, formando ramificaciones de éste, por ejemplo: en las acometidas a los usuarios. Generalmente, los cables secundarios son de menor sección que el cable principal. El campo de aplicación más extenso de estos elementos de instalación, lo constituyen las redes de baja y media tensión.

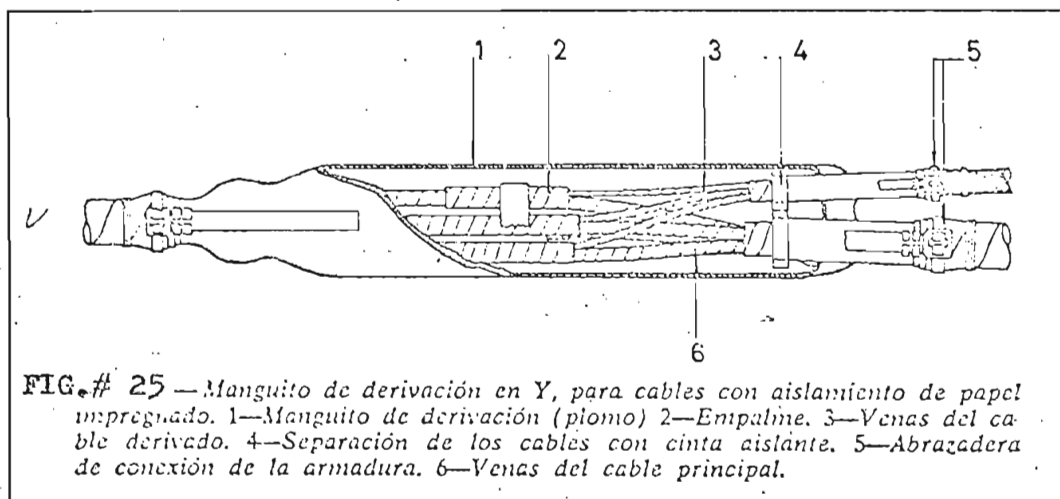
Estos manguitos se emplean, como se dijo anteriormente, en la derivación del cable principal con los secundarios. Hay dos clases más utilizados de éstos manguitos, que son del tipo " T " y del tipo " Y ", así como de dos derivaciones, los manguitos en cruz y en doble Y. Se los indica en las siguientes figuras.

FIG. # 23 ,24



En los manguitos de derivación en forma de " T " , los conductores se cortan y se unen después entre sí mediante conectores en forma de " T " , soldados con aleación de estaño a las cuerdas del cable. La capa se la rellena de pasta aislante, para lo que va , el manguito, provisto de un orificio con tapón roscado.

La ventaja que presentan las derivaciones en " Y " sobre las en " T " , es que ocupan menos espacio, además en estas derivaciones en " Y " , el cierre queda muy bien dispuesto, ya que ambos cables, el principal y el derivado, salen por el mismo extremo de la caja. Esto es apreciable en la siguiente figura. FIG.# 25



Cuando se trata de derivar dos cables secundarios a partir de una rama principal, se utilizan los manguitos de derivación en "cruz", como se lo indica en la figura, FIG.# 26 .

Para poder mantener la adecuada separación entre los conductores , se emplean separadores en forma adecuada y ya normalizados para su utilización.

4 .- Manguitos terminales .-

Se denomina manguito terminal, a todo dispositivo empleado para conectar los extremos de los cables subterráneos a los equipos, tales como : disyuntores, transformadores, generadores, motores, otras líneas aéreas o interiores, etc...

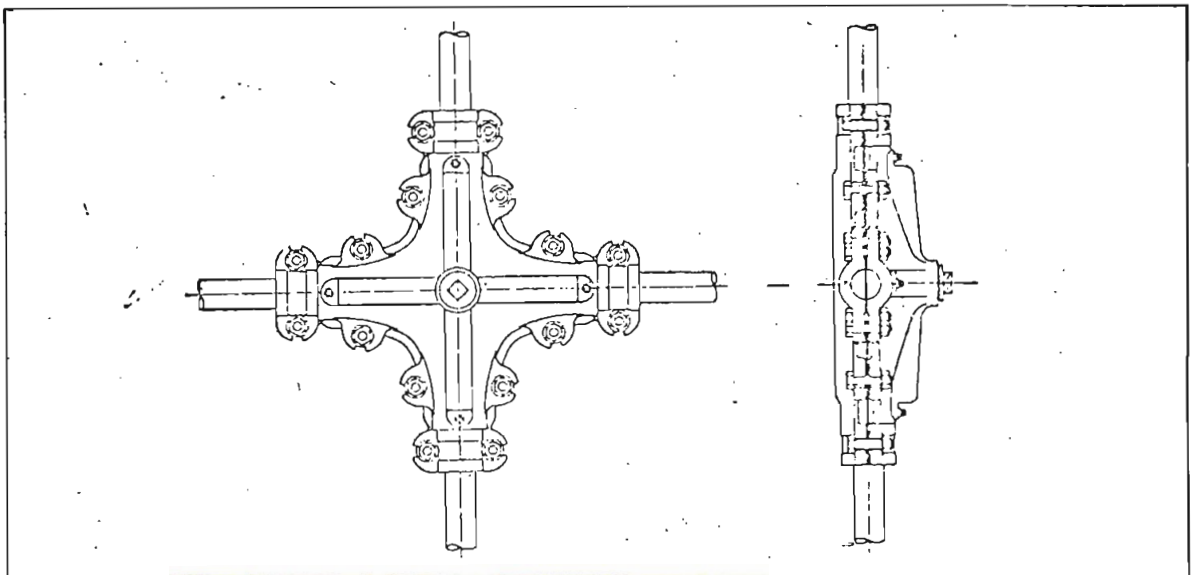


FIG.# 26 .- Manguito de derivación en " cruz " .

Debido a la variedad de tipos de manguitos terminales que pueden existir, se los divide en dos grandes grupos:

- a) Manguitos terminales para interior: es decir, para la unión

de cables subterráneos en instalaciones realizadas en el interior de edificios (centrales, estaciones transformadoras, fábricas, etc...)

b) Manguitos terminales para intemperie: destinados a la unión de cables subterráneos con instalaciones montadas al aire libre (estaciones transformadoras y de distribución al aire libre, líneas eléctricas aéreas, etc...). Estos manguitos terminales han de estar diseñados de tal forma que repelen las lluvias, evitando que la humedad llegue a los cables.

Las cajas terminales han de ser lo suficientemente grandes para permitir el entrelazamiento de conductores, si fuera necesario.

Al llenar las cajas terminales completamente cerradas, se debe dejar un espacio del 10 % del volumen total de la caja , por encima del nivel de la pasta aislante de relleno. En las figuras adyacentes, se muestran diferentes tipos de manguitos terminales. FIG. # 27 , 28 , 29

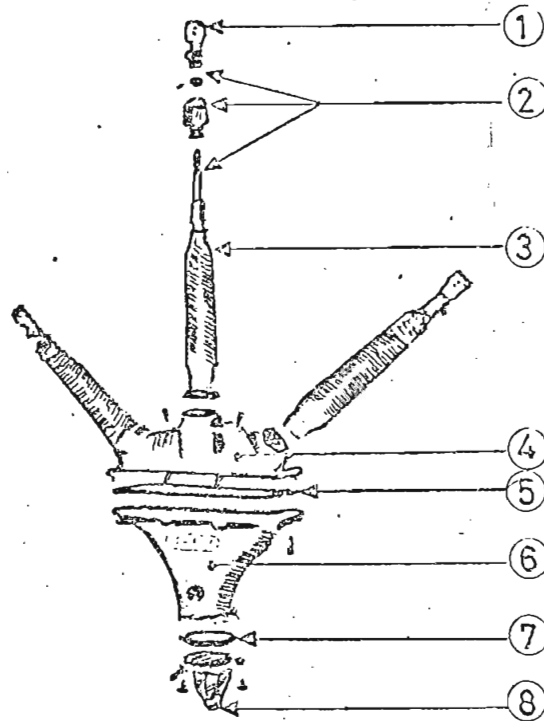


FIG.# 27 .- Manguito terminal para interior.

- 1 = terminal de conexión
- 2 = terminal de paso
- 3 = aislador de araldite
- 4 = tapa
- 5 = junta hermética
- 6 = cuerpo
- 7 = junta hermética
- 8 = boquilla de entrada de cable.

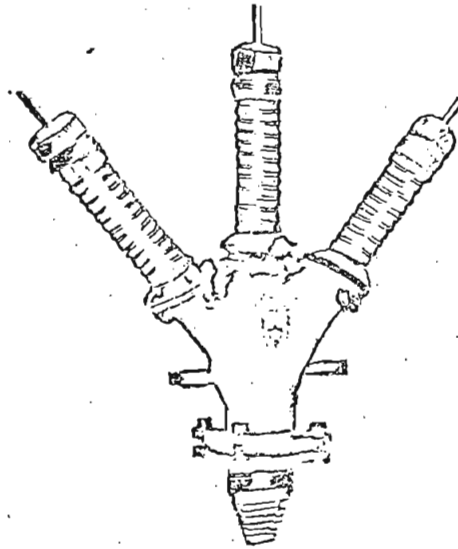


FIG.# 28.—Manguito terminal para interior PIRELLI, para cables con aislamiento de papel impregnado y tensiones de servicio hasta 15 kV, con entrada de cable recta.

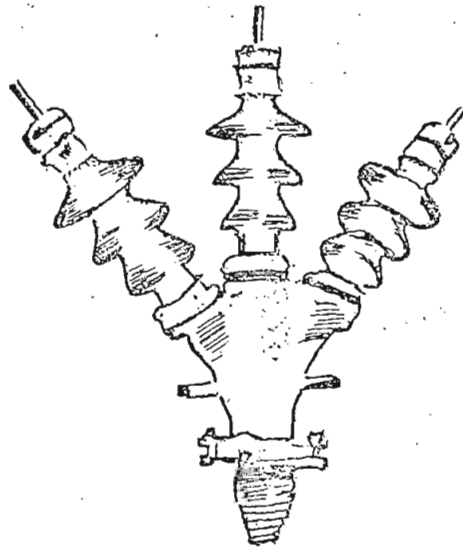


FIG.# 29.—Manguito terminal para intemperie PIRELLI, para cables con aislamiento de papel impregnado y tensiones de servicio hasta 15 kV, con entrada de cable recta.

En la siguiente figura, FIG.# 30 ,se indica un tipo de manguito terminal para intemperie, con una tensión de servicio hasta de 8 Kv, estos son los más utilizados en nuestro medio.

No se darán mayores detalles de estos elementos, debido a lo largo del tema y por lo que solo se trata de dar una idea general del equipo utilizado en la distribución subterránea

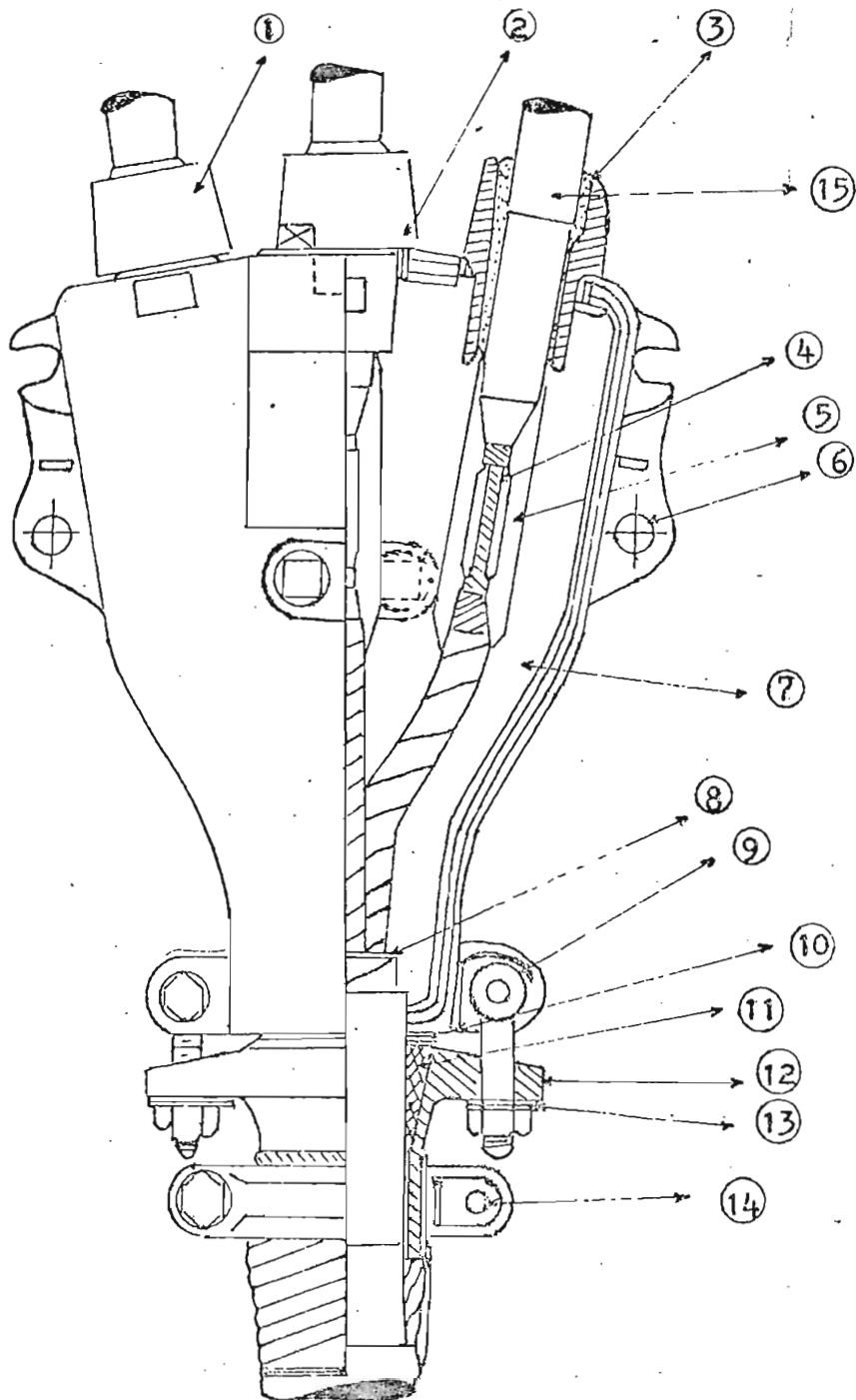


FIG.# 30 .- Terminal de cable vertical
para cable armado.

Especificaciones del terminal del cable.-

- 1 = aislador de porcelana
- 2 = empaque de caucho
- 3 = masa aislante compound, Novoid C
- 4 = manguito de unión
- 5 = cinta de algodón impregnada de brea
- 6 = orificio de 2" de diámetro
- 7 = caja de hierro fundido
- 8 = envoltura de cinta de algodón
- 9 = perno de ojo de acero dulce
- 10 = empaque de metal suave
- 11 = cono de plomo
- 12 = cono de bronce
- 13 = arandela de presión
- 14 = abrazadera de hierro fundido
- 15 = forro exterior del conductor de salida

5.- Tomas de tierra para los cables subterráneos.-

Todo cables subterráneo debe conectarse a tierra a través de la armadura metálica, o de la cubierta de plomo, o de un conductor auxiliar según los casos que se presenten. Por lo tanto se debe cuidar la continuidad eléctrica de las partes metálicas de los cables que no están sometidas a la tensión de servicio. En los manguitos de empalme, derivación y terminales, se dispone siempre de un borne de tierra.

Debe tomarse muy en cuenta la realización de las puestas a tierra de todos los elementos.

Se entiende por " puesta a tierra " a toda la ligazón metálica, sin fusibles ni protección alguna, de sección suficiente entre una parte de la instalación y un electrodo o placa metálica de dimensiones y situación tales que, en todo momento pueda asegurarse que el conjunto está prácticamente al mismo potencial de tierra.

La resistencia óhmica de una toma de tierra ha de ser inferior a 20Ω , para poder considerarse admisible.

En lo referente a los accesorios que se emplean en la instalación de los diferentes cables, tanto de alta tensión, baja tensión así como los de alumbrado, se los resumirá en el siguiente cuadro, en donde se puede notar todas las características necesarias para determinar los accesorios.

DENOMINACION	TIPO	AISLAMIENTO	TENS/NOMI.	UTILIZAC.	INSTALACION
Cajas termi.cilín.	Terminal	Masa Movoid	1 Kv.	Con cables papel inpreg.	Interior
Cajas termi.casque te, de PVC	Terminal	Casque.de PVC.cin.ais.	1 Kv.	Cables con papel inpreg.	Interior
Cierre de extremo protolín	Terminal	Resina de protolín	1 Kv.	Cables de protador	Intemperie
Empalme recto en cajas de hierro.	Empalme	Cint.aislan. nuevo Compu.	1 Kv.	Cables de papel inpreg.	En el suelo
Uniones resina a presión	Unión	Cint.aislan. resina	1 Kv.	Cables aisla. caucho sintét.	En el suelo
Empalmes en T resina a presión	Derivac.	Cint.aislan. resina	1 Kv.	Cables aisla. caucho sintét.	En el suelo

Cuadro de accesorios para cables de Baja Tensión.

DENOMINACION	TIPO	AISLAMIENTO	TENS.NOMI.	UTILIZA.	INSTALACION
Cierres extre. Protolfn	Terminal	Protolfn	30 Kv.	Term.cabl. cabl.NYCEY	Interiores.
Caja terminal vertical.	Terminal	Caja hierro fund.Movoidc	10 Kv.	Termi.cabl.	Interiores.
Cierres extre. con campanas.	Terminal	Protolfn.caja hierro.fundi.	10 Kv.	Termi.cabl. protolfn.	Intemperie.
Terminal inver.	Terminal		10 Kv.	Termi.cabl. arm.ais.pap.	Intemperie.
Manguitos de unión protolfn	Empalmes	Protolfn	10 Kv.	Uniones cabl NYCEY	En tierra o en agua.
Manguitos de uniones.	Empalmes	Caja hirr.fun. masa SP,Compound	10 Kv.	Uniones cabl arma.ais.pap.	Direct.en sue. con mang.plomo

Cuadro de accesorios paracables de Alta Tensión.

6.- Transformadores usados en redes subterráneas.

El espacio que se dispone en una cámara de transformación, es reducido, además la ventilación no es adecuada, por lo tanto todas estas consideraciones deben ser tomadas en cuenta para poder determinar el tipo de transformador a ser utilizado.

Los transformadores más usados son los trifásicos, debido a la facilidad que presenta su montaje.

Los transformadores de una red de distribución subterránea se diseñan generalmente para que tengan menos pérdidas, con lo cual se disminuyen los problemas de la ventilación.

Se hablará de las generalidades de los transformadores, especialmente de los transformadores en baño de aceite.

Según las normas comunmente aceptadas, las VDE/DIN, alemanas, y ASA/NEMA, americanas, se tiene que un transformador de este tipo tiene un conmutador de derivaciones en el lado primario, el cual se acciona solo suspendiendo la tensión. Este conmutador está conectado a derivaciones de los devanados de tal forma que, conectado o desconectado algunas espiras, es posible variar la tensión. Generalmente las derivaciones que se suministran en una red de distribución subterránea, son de $\pm 2 \times 2.5 \%$. Además, estos transformadores tienen un termómetro indicador para una vigilancia de la temperatura.

Entre las características que se deben tomar en cuenta, se tiene las siguientes:

1) Potencia nominal: depende de los siguientes factores:

1.1.-Potencia nominal, se la define como el producto de la tensión nominal, la intensidad nominal y el factor de composición de corriente trifásica $\sqrt{3}$

$$P_n = \sqrt{3} I V \quad ; \quad P_n = |KVA|$$
$$V = |Kv|$$
$$A = |A|$$

1.2.- Altura sobre el nivel del mar, a la cual se lo va a montar al transformador, ya que a más altura hay una disminución de la potencia, debido a la poca densidad del aire y la disipación del calor del tanque es menor. Debemos tomar en cuenta un factor de reducción de la potencia, de acuerdo a la altura, lo cual lo podemos apreciar en la siguiente tabla. TBL.# 4

FACTOR REDUCCION	ALTITUD (m)
1.00	1000
0.99	1200
0.98	1500
0.96	1800
0.95	2100
0.93	2400
0.92	2700
0.90	3000
0.87	3600
0.83	4200

TBL.# 4.-Factor de reducción de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar.

Según la tabla anterior, si en Quito se instala un transformador de 80 KVA, su potencia se reducirá:

$$Predu = 80 \times 0.91 = 72.8 \text{ KVA}$$

1.3.-Temperatura ambiente, si la temperatura ambiente aumenta, disminuye la potencia, y viceversa. Esto se debe tomar en cuenta para la instalación de un transformador en un lugar cerrado, como es una cámara de transformación, la cual se la debe proveer de una adecuada ventilación. En la siguiente figura se ve la variación de la potencia con la temperatura, FIG.# 31, para un transformador construido para una temperatura de 40°C.

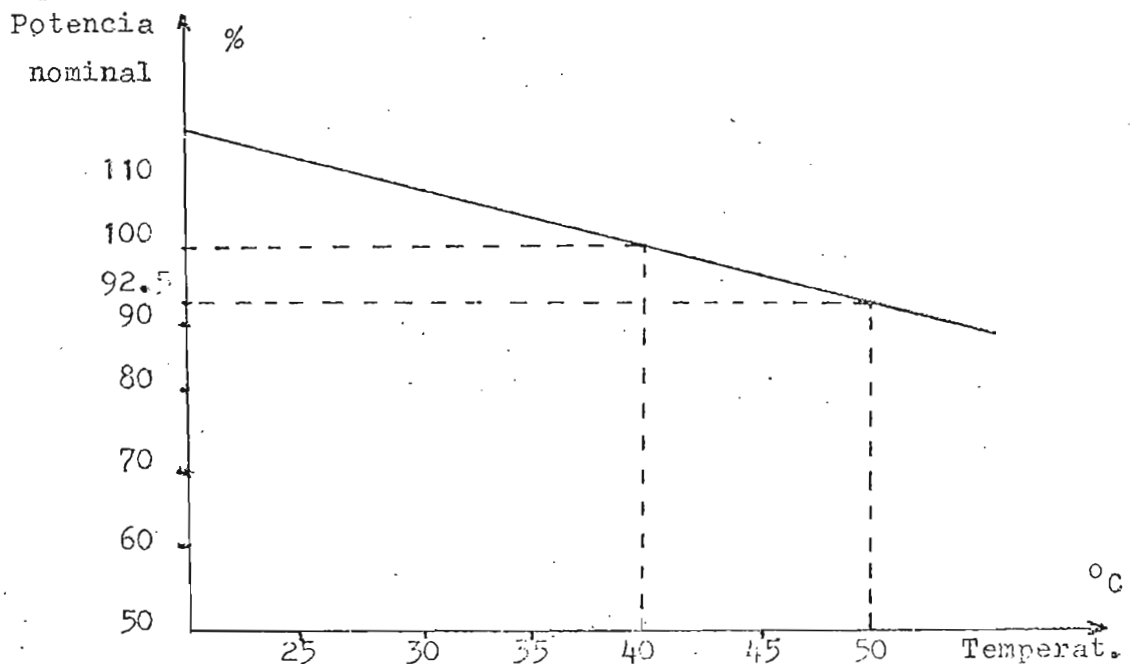


FIG.# 31

También existe un factor de variación debido a la temperatura, este factor está tabulado en la tabla siguiente, TBL.# 5.

FACTOR VARIACION	TEMPERATURA (°C)
0.96	45
1.00	40
1.04	35
1.075	30
1.11	25

TBL.# 5.-Factor de variación de la potencia con la temperatura ambiente.

2) Sobrecarga : todos los transformadores, generalmente, tienen una carga variable y más aún si ésta es una sobrecarga durante un cierto tiempo.

La capacidad de sobrecarga de los transformadores, se la puede apreciar en la siguiente tabla, TBL.# 6.

Pote. cont. anter. en % de Pnominal KVA	Tempe. inic. aceit. 25°C °C	Durac. admisi. sobrec. en % de Pn.				
		10%	20%	30%	40%	50%
50	55	3 h	90'	60'	30'	15'
75	68	2 h	60'	30'	15'	8'
90	78	1 h	30'	15'	8'	4'

TBL.# 6.-Capacidad de sobrecarga de los transformadores.

Es de fundamental importancia conocer la capacidad de sobrecarga de los transformadores, ya que de ésta manera se puede

predecir el tiempo máximo durante el cual se puede someter al transformador a ésta sobrecarga.

3) Pérdidas : las pérdidas en vacío son prácticamente constantes, éstas son las llamadas pérdidas en el hierro y no varían con la carga.

Las pérdidas en el cobre, varían directamente proporcional al cuadrado de la intensidad.

Para tener una idea más clara acerca de las pérdidas en los transformadores de distribución, se da la siguiente tabla que resume las pérdidas. TBL.# 7.

	2400/4160 Y a 120/240 v.		4800/8320 Y a 120/240 v.	
	Vatios de pér.		Vatios de pér.	
KVA	sin carga	total	sin carga	total
5	36	125	36	133
10	59	180	59	183
15	76	232	76	242
25	109	380	109	370
37.5	158	495	158	521
50	166	611	166	613
75	274	916	274	918
100	319	1192	319	1146
167	530	2085	530	2085
	240/480		240/480	
333	800	3400	800	2800
500	1100	4850	1100	4850

TBL.# 7.-Pérdidas en los transformadores de distribución.

4) Rendimiento : se lo determina por dos métodos, que son:

4.1.- Conociendo la potencia activa (KVA) y la Σ de pérdidas totales en el hierro y en el cobre (Kw), designando a la primera parte como "P_a" y a la segunda como "P_t" , se tiene que :

$$N = \frac{P_a}{P_a + P_t} \times 100 \quad (1)$$

4.2.- Aplicando la siguiente relación:

$$N = \frac{P_o + a^2 P_c}{a P \cos\varphi + P_o} \times 100 \quad (2)$$

en donde se tiene que:

N = rendimiento en %

P_o = pérdidas en el hierro, en Kw.

P_c = pérdidas en el cobre, en Kw.

P = Potencia nominal, en KVA

a = factor de carga

Cosφ = factor de potencia.

5.) Variación de la tensión : La variación de la tensión del transformador (V) (%) , se

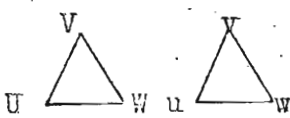
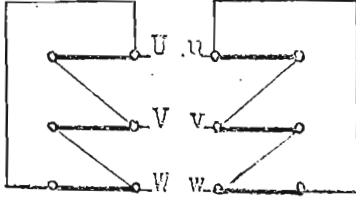
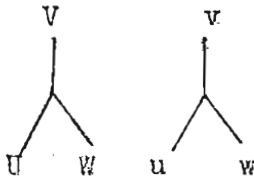
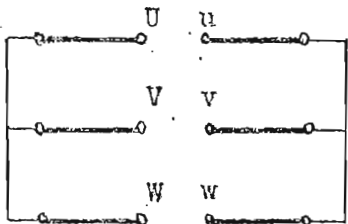
la obtiene de la tensión nominal de cortocircuito (V_{cc}) (%) y de la caída óhmica de tensión (V_r) (%), usando las relaciones siguientes:

$$V_r = \frac{P_c}{P_n} \times 100 \quad (1)$$

$$V_x = \sqrt{(V_{cc})^2 - (V_r)^2} \quad (2)$$

- V_r = caída de tensión por resistencia
- V_x = caída de tensión por reactancia
- V_{cc} = caída de tensión por cortocircuito
- P_c = pérdidas en el cobre
- P_n = potencia nominal

6) Conexiones : de acuerdo a las diferentes necesidades, se utilizan las siguientes conexiones, siendo estas las más utilizadas en nuestro medio.

<u>Designación</u>	<u>Fasores</u>	<u>Conexión</u>	<u>Relación</u>
D d 0			W1/W2
Y y 0			w1/w2

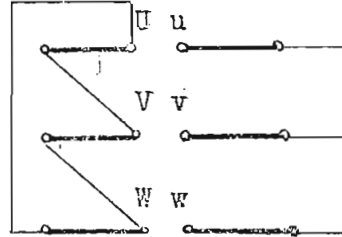
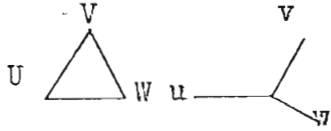
Designación

Fasores

Conexión

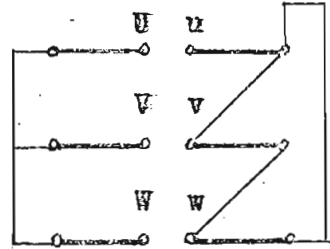
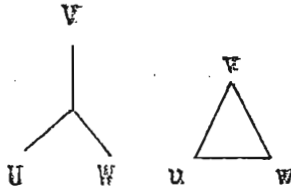
Relación

D_y 1



$$W_1 / \sqrt{3} W_2$$

Y_d 7



$$\sqrt{3} W_1 / W_2$$

Se puede tener una gran variedad de conexiones de los transformadores, pero debido a lo extenso del tema, no se hablará más acerca de esto.

Entre otros tipos de transformadores que se tiene en el uso, para las redes subterráneas, se puede anotar los siguientes:

a) Tipo sumergible : son los transformadores más usados en una red mallada, y pueden estar rellenos de líquidos, tales como aceite o inerteen. El tipo seco , ventilados con aire o rellenos de Nitrógeno o gas C_4F_2 . Estos son los que generalmente pueden estar expuestos en sitios que fácilmente pueden ser rellenos de agua.

b) Tipo seco : son ideales para ser instalados en el interior. Estos tienen el aislamiento y el enfriamiento por recorrido natural de aire, por lo que son muy seguros ya que no pueden estallar, además, no tienen escape de gas y los riesgos de fuego son muy reducidos.

Para tener una idea más general de los transformadores utilizados en distribución, se dará una tabla en la cual se puede observar la impedancia más aproximada de dos tipos diferentes de transformadores. TBL. # 8 .

	2400/4160 Y a 120/240 v. 60 Hz.			4800/8320 Y a 120/240 v. 60 Hz.		
KVA	% IR	% IX	% IZ	% IR	% IX	% IZ
5	1.9	1.6	2.5	2.2	1.6	2.7
10	1.4	1.0	1.7	1.4	1.0	1.7
15	1.2	1.2	1.7	1.2	1.2	1.7
25	1.1	1.3	1.7	1.1	1.4	1.8
37.5	0.9	1.4	1.7	1.0	1.4	1.7
50	1.0	1.2	1.6	1.0	1.2	1.6
75	0.9	1.3	1.6	1.0	1.2	1.6
100	0.9	1.6	1.8	0.9	1.4	1.7
167	0.9	1.7	1.9	0.9	1.7	1.9
240/480			240/480			
250	0.8	2.9	3.0	0.8	2.9	3.0
333	0.8	3.2	3.3	0.8	3.2	3.3
500	0.7	3.2	3.3	0.7	3.2	3.3

TBL.# 8.-Impedancias aproximadas en los transformadores de distribución.

Se tiene además una tabla en la que se da la corriente a plena carga que pueden soportar los transformadores de distribución, la cual está tabulada en la tabla, TBL.# 9.

Esta corriente a plena carga, está normalizada por la AMERICAN NATIONAL STANDARD, y es la siguiente:

MONOFASICOS						
KVA	120 v.	240 v.	480 v.	2400 v.	7200 v.	13200 v.
5	41.7	20.8	10.4	2.08	0.69	0.38
10	83.3	41.7	20.8	4.17	1.39	0.76
15	125	62.5	31.3	6.25	2.08	1.14
25	208	104	52.1	10.4	3.48	1.89
37.5	313	156	78.1	15.6	5.21	2.84
50	417	208	104	20.8	6.94	3.79
75	625	313	156	31.3	10.4	5.68
100	833	417	208	41.7	13.9	7.58
TRIFASICOS						
KVA	208 v.	240 v.	480 v.	2400 v.	7200 v.	13200 v.
15	41.6	36.1	18.0	3.61	1.20	0.66
30	83.3	72.2	36.1	7.22	2.41	1.31
45	125	108	54.1	10.8	3.60	1.97
75	208	180	90.2	18.0	6.01	3.28
112.5	312	271	135	27.1	9.02	4.92
150	416	361	180	36.1	12.0	6.56
225	625	541	271	54.1	18.0	9.84
300	833	722	361	72.2	24.1	13.1
500	1388	1203	601	120	40.1	21.9
750	2082	1804	902	180	60.1	32.8

TBL.# 9.- Valores de la corriente a plena carga en los transformadores, tanto en los monofásicos como en los trifásicos, dada en AMPERIOS.

2.- CARACTERISTICAS DEL AISLAMIENTO REQUERIDO .-

Refiriéndose primcramente a los cables que se utilizan, se debe tratar de los diferentes medios que se emplean para poder elegir un cable subterráneo.

Para la elección de un cable subterráneo, se toman en cuenta cuatro factores fundamentales:

- a) tensión de la red y régimen de explotación
- b) intensidad que debe transportar el cable.
- c) intensidad de cortocircuito y tiempo de cortocircuito,
- d) caídas de tensión en régimen de intensidad máxima prevista.

En lo referente a la tensión de servicio de los cables subterráneos, depende de los siguientes datos:

- 1) sistema trifásico, monofásico o de corriente continua.
- 2) frecuencia de la red.
- 3) tensión nominal de la red, es decir la tensión entre fases dado en Kv eficaces.
- 4) Tensión más elevada del sistema, excluidas las variaciones temporales de tensión, debidas a averías o interrupciones imprevistas de grandes cargas.
- 5) tipo de puesta a tierra del sistema.
- 6) máxima duración admisible de funcionamiento ininterrumpido con una fase a tierra.
- 7) en cables expuestos a sobretensiones de origen atmosférico, se debe tomar en cuenta:

7.1--nivel de aislamiento de la línea aérea a la cual debe co-

nectarse el cable.

7.2- características eléctricas de los dispositivos de protección contra las sobretensiones y su emplazamiento.

Como una guía orientativa, se da la siguiente tabla para la elección de los cables subterráneos trifásicos. TBL.# 10

CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS TRIFASICOS		CARACTERISTICAS DE LOS CABLES	
TENSION NOMINAL EN Kv.	TENSION MAX. PERMI. Um Kv	CAMPO RADIAL TEN. NOMINAL Eo/E Kv	CAMPO NO RADIAL TEN. NOMINAL Eo/E Kv
1	1.2	0.6/1	0.6/1
3	3.6	2.3/3	2.3/3
6	7.2	3.6/6	3.6/6
10	12.0	6/10	6.0/10
15	17.5	8.7/15	8.7/15
20	24.0	12.0/20	12.0/15
30	36.0	26.0/30	-----

TBL.# 10.- Características de los sistemas y de los cables subterráneos.

En ésta table, se considera lo siguiente:

Cables de campo Radial: los cables unipolares, los cables H y los cables triplomo.

Cables de campo No Radial: los cables multipolares con envoltura aislante común

Se debe considerar que si un cable está destinado a ser conectado a una línea aérea, sin interposición de transformadores, puede quedar sometido a sobretensiones de origen atmosférico. En éste caso es necesario que el valor de cresta de la tensión de prueba del cable por impulso, no sea inferior a la máxima sobretensión que pueda producirse en el cable. Esto lo podemos ver en la tabla siguiente. TBL. # 11 .

TENSION NOMINAL E ₀ /E Kv	TENSIONES DE CRESTA	
	CABL. CAMPO RADIAL KV	CABL. CAMP. NO RAD. KV
2.3/3	45	45
3.6/6	60	60
6.0/10	75	75
8.7/15	110	95
12.0/15	136	125
12.0/20	136	----
15/25	160	-----
18.0/30	184	-----
26.0/30	250	-----

TBL. # 11.- Valores de cresta de la tensión de prueba por impulso para cables subterráneos.

Muchas veces el valor de la tensión de impulso U_{im} , no es igual al valor de la tensión incidente U_{i0} , por las reflexiones de la onda de sobretensión que se verifica en el

cable. Por ésta razón si entre el cable y la línea se intercala un descargador o pararrayo, previsto para un valor de U_{io} , igual a la tensión de prueba por impulso U_p del cable, puede aquel resultar insuficiente, (si $U_{im} > U_{io}$) o, superfluo (si $U_{im} < U_{io}$).

Está comprobado que la mayoría de las veces el descargador resulta superfluo; si resultara insuficiente, debería adoptarse un cable con un valor de E_o (y por lo tanto E_p) superior al valor elegido, tomando como base la tabla anterior.

En nuestro medio, y especialmente en la Empresa Eléctrica Quito, E.E.Q.S.A., se utilizan los siguientes tipos de cables:

*para tensiones de 6300 voltios=cable tripolar con aislamiento de papel impregnado y una tensión de servicio hasta de 8 Kv.

*tensiones de 13.2 y 22 Kv = cable tripolar o unipolar, con aislamiento de polietileno reticulado y con pantalla electrostática.

En las siguientes dos figuras, se indican dos tipos de cables más generalmente utilizados, dando las diferentes partes constitutivas de los mismos. FIG. # 32 , 33

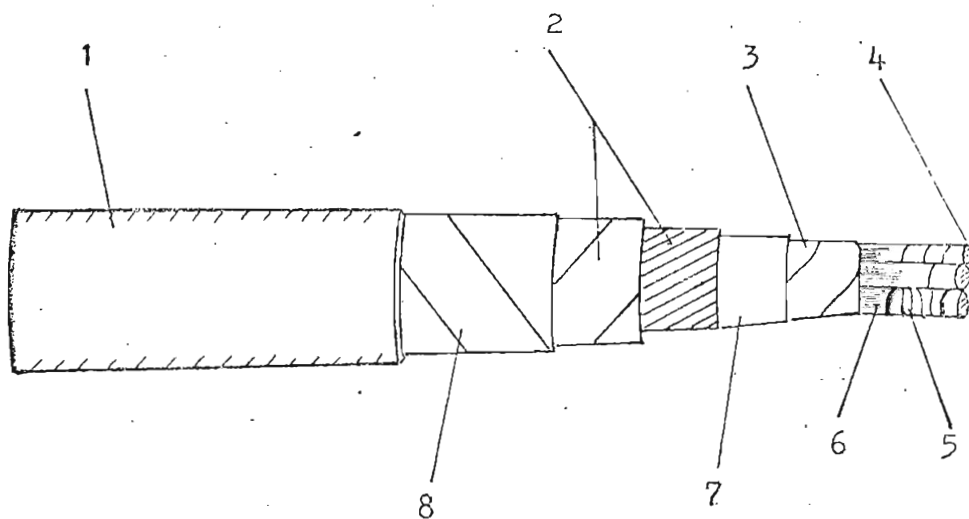


FIG.# 32 .- Cable tripolar con aislamiento de papel impregnado(armado)

- 1 = yute de asfalto
- 2 = recubrimiento interior
- 3 = aislamiento de camisa
- 4 = conductor en forma de sector
- 5 = aislamiento de papel
- 6 = relleno de intersticios
- 7 = envoltura de plomo
- 8 = envoltura de fleje de acero

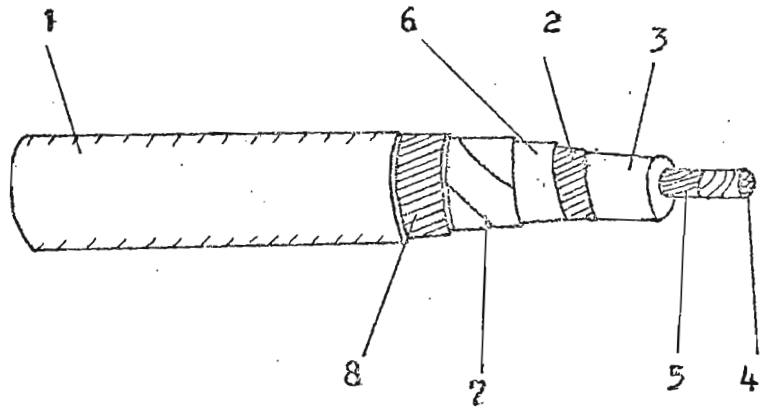


FIG.# 33 .- Cable protodur de un conductor apantallado de flese de cobre.

- 1 = envoltura protodur
- 2 = capa conductora
- 3 = aislante protodur
- 4 = conductor
- 5 = aislamiento del conductor
- 6 = cinta del conductor
- 7 = pantalla flese de cobre
- 8 = cinta.

En lo referente a las botellas terminales, para los cables de aislamiento de papel, que son cables fajados y tipo H, de tensión de servicio hasta de $E_0/E = 5.8/10$ Kv., los tubos deben llenarse hasta la mitad con la masa de sujeción, la cual generalmente es la denominada " M25 ", antes de realizar el afianzamiento de las abrazaderas.

En la gran mayoría de los sistemas eléctricos, se encuentran sujetos a sobretensiones de diferente tipo. Algunos son de larga duración y otros de más corta duración. Todos los equipos para la distribución de la energía, generalmente requieren que se realice, como mínimo, dos diferentes pruebas de dieléctricos.

La primera de éstas pruebas, se llama " de baja frecuencia " prueba a 60 ciclos, generalmente de un minuto de duración, la cual establece la capacidad de aislamiento, para poder soportar una sobretensión moderada y de una relativa larga duración.

La otra prueba es " de impulso ", la cual sirve para demostrar, o mejor, para probar que el aislamiento no se rompe o destruye bajo las condiciones de sobretensión, de alta magnitud pero de corta duración.

En lo referente al nivel básico de aislamiento, llamado BIL, se puede decir: La prueba a realizarse, consiste en la aplicación de una onda de sobretensión de $1\frac{1}{2}$ x 40 microsegundos, de un valor específico de cresta, de acuerdo con el aislamiento del equipo que se trate.

Para abreviar lo referente al nivel básico de aislamiento, BIL, tanto la JOINT COMMITTEE ON COORDINATION OF INSULATION OF

THE AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS (AIEE), THE EDISON ELECTRIC INSTITUTE (EEI), and THE NATIONAL ELECTRIC MANUFACTURERS ASSOCIATION (NEMA), establecen una serie de BIL, ya standard, que lo podemos anotar en la siguiente tabla, TBL.# 12 .

REFERENCIA Kv	BIL Kv	REFERENCIA Kv	BIL Kv
1.2	30	23.0	150
2.5	45	34.5	200
5.0	60	46.0	250
8.7	75	69.0	350
	95*	92.0	450
15.0	110	115.0	550
138.0	650	161.0	750
196.0	900	230.0	1050

TBL.# 12 .- Nivel básico de aislamiento
BIL.

* El BIL de 95 Kv, se estableció para cierto tipo de equipo con una tensión de referencia de 15 Kv.

En las pruebas de Impulso, el BIL standard, se lo estableció para equipos de distribución, así como para transformadores, y ésto lo podemos apreciar en la siguiente tabla, TBL.# 13 .

CLASE DE AISLAMIENTO Kv	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUC. SUMERGI- DOS EN ACEITE			TRANSFORMADORES DE POTENCIA SUMERGI- DOS EN ACEITE		
	Onda de prueba $1\frac{1}{2} \times 40 \mu s.$ BIL Kv.			Onda de prueba $1\frac{1}{2} \times 40 \mu s.$ BIL Kv.		
		Valor de Cresta Kv.	Tiem. mini. chis. $\mu s g.$		Valor de Cresta Kv.	Tiem. mini. chis. $\mu s g.$
	1.2	30	36	1.00	45	54
2.5	45	54	1.25	60	69	1.5
5.0	60	69	1.50	75	88	1.6
8.6	75	88	1.60	95	110	1.8
15.0	95	110	1.80	110	130	2.0

TBL.# 13 .- Valores del BIL en la
prueba de impulso.

Para el caso de los transformadores secos, es decir, los que no están sumergidos en aceite, se obtiene la siguiente combinación de la clase de aislamiento BIL.

CLASE DE AISLAMIENTO Kv.	BIL Kv.
1.2	10
2.5	20
5.0	25
8.6	35
15.0	50

TBL.# 14 .- Nivel básico de aislamiento en transformadores secos.

De acuerdo a éstas tablas, que proporcionan el nivel básico de aislamiento, BIL, se puede escoger el equipo que más conviene para poder instalarlo en el sistema que se estudie, teniendo presente que el nivel de aislamiento, BIL, debe cumplir con los requisitos mínimos necesarios para obtener una eficiente instalación y por lo tanto que ésta sea lo más confiable posible.

3 .- ESPACIAMIENTOS MINIMOS REQUERIDOS .-

Para poder determinar los espacios mínimos que se requieren respetar en las diferentes instalaciones de una red de distribución subterránea, se debe tener en cuenta la tensión a la cual va a operar el sistema, ya que dependiendo de esto, se tiene que seguir ciertas normas ya establecidas.

En nuestro caso, tenemos que la máxima tensión de servicio en distribución subterránea, es de 22 Kv, por lo que no hay una influencia directa de la separación que existe entre los diferentes conductores, así como también de las consideraciones por las pérdidas que se pueden ocasionar por la proximidad de las envolturas de los mismos. Debido a lo anotado, no se debe hacer un estudio demasiado detenido acerca de esto, ya que para la generalidad de los casos, siempre que se refiera a tensiones inferiores a los 50 Kv, se debe hacer las instalaciones de una manera más general y en una disposición adecuada de los diferentes elementos, especialmente de los conductores que son colocados en ductos o enterrados directamente a tierra.

Colocación de cables subterránea en conductos.-

La colocación de los cables en conductos se la realiza colocándolos en el interior de canales de galerías o de tuberías a todo el largo de su recorrido e interrumpiendo la canalización por medio de los " pozos de registro ", para cuando sea preciso realizar

el empalme de los diversos trozos de cable.

Los canales para los cables subterráneos, están contru-
dos de cemento y de dos piezas, una de las cuales se emplea
para alojar los cables y la otra se utiliza como tapadera.

En las siguientes gráficas se puede apreciar la disposi-
ción diferente que se puede usar en la colocación de los ca-
bles, FIG.# I .

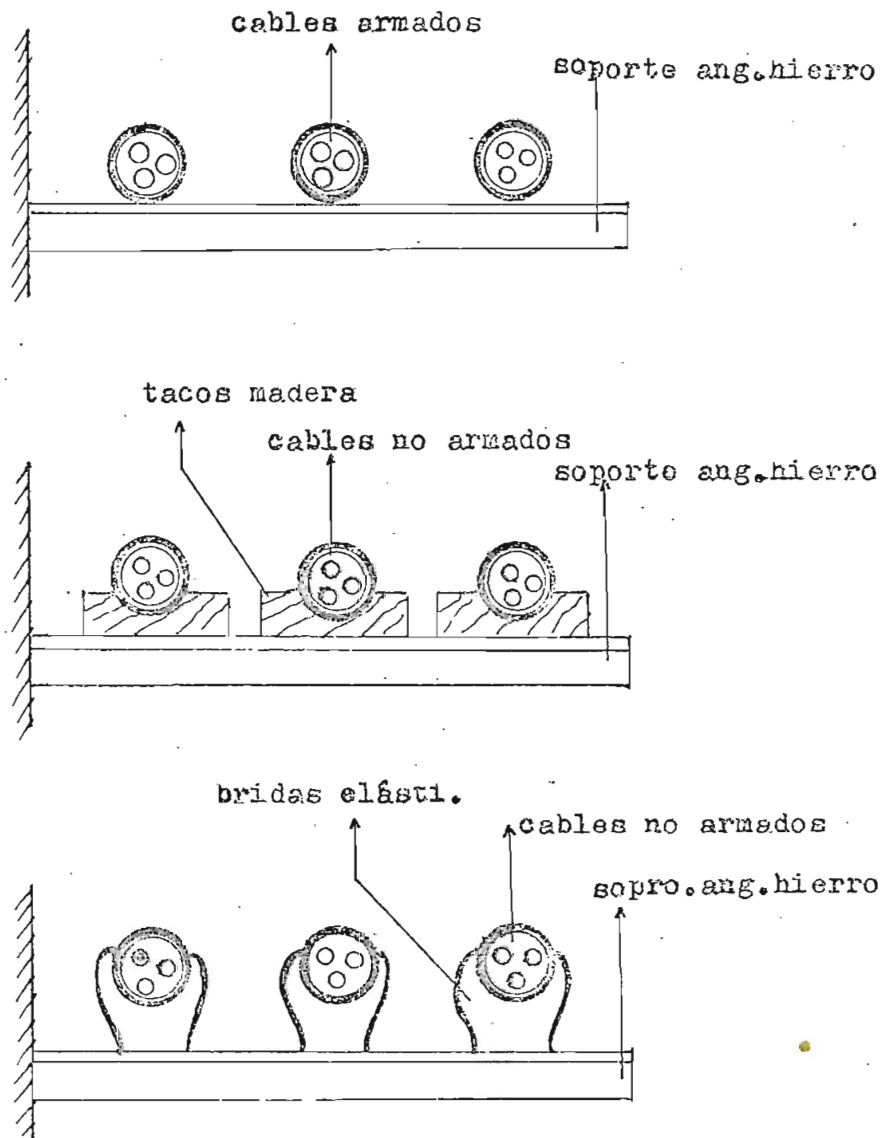


FIG.# I

Cuando se colocan los cables subterráneos directamente sobre una zanja, la disposición de los cables puede ser la indicada en la siguiente gráfica, en la cual se indica, además, la distancia mínima a la que se puede colocar los cables, teniendo en cuenta que éstas distancias ya se las puede considerar como que fueran normalizadas.

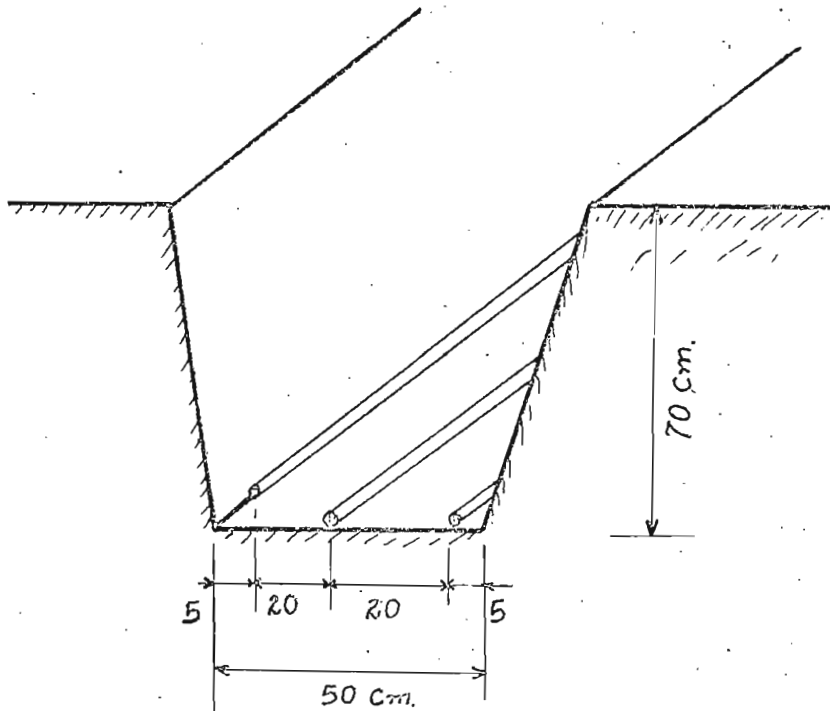


FIG.# II

Para las demás situaciones que se pueden presentar en la instalación de los cables subterráneos, se tiene, por ejemplo, el cruce de calles, cruce de cables con otros conductos tales como los de gas, teléfonos, etc..., para lo cual se tiene ya establecido las diferentes distancias mínimas que se deben respetar, teniendo en cuenta por sobretodo que se debe dar la mejor protección a los cables de energía, ya que una falla en uno de

los cables de alta tensión puede ocasionar un daño grave, tanto a la instalación como al operario que ocasionó la falla.

En lo referente a la colocación de los transformadores en la red de distribución, se siguen los mismos procedimientos que si se tratara de una red aérea, haciendo las asignaciones de las cargas de acuerdo a las zonas con más densidad de carga, teniendo presente las máximas caídas de tensión que se deben tener en cuenta para poder hacer una adecuada instalación de la red.

Solamente como una idea acerca de los efectos de proximidad de las envolturas de los cables, que se pueden presentar en una red subterránea, se dará la siguiente ecuación que resume las pérdidas causadas por lo mencionado, es decir por la proximidad de las envolturas de los cables, en los de 3 conductores, expresión que se la conoce con el nombre de RANDOLPE BURRELL

$$\lambda_s = \frac{3 r_E}{R_{dc}} \left\{ (S/C)^2 \left[\frac{1}{1 + (32.8 r_E/w)^2} \right] + (S/C)^4 \left[\frac{1}{1 + (65.6 r_E/w)^2} \right] \right\}$$

- λ_s = relación de pérdidas de circuito abierto de envoltura, con las pérdidas totales en cobre.
- r_E = resistencia de la envoltura, en microohms por pie
- R_{dc} = resistencia del conductor, en microohms por pie
- S = distancia entre centro y centro de los conductores del cable, en pulgadas.
- C = radio promedio de la envoltura, en pulgadas.
- w = $2 \times$ frecuencia, en ciclos por segundo.

Como una aplicación de lo anotado anteriormente, por ejemplo para el caso de un conductor que tenga una tensión de servicio de 12 Kv, y una sección de 500 MCM, se tiene que las pérdidas por la proximidad de las envolturas es del orden de 4 % del total de las pérdidas del conductor. Pero como en nuestro medio las tensiones son inferiores a los 60 Kv, no se debe poner mayor atención en lo referente a las pérdidas por la proximidad, y por lo tanto no se darán mayores detalles acerca de esto.

CAPITULO IV

PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES

CAPITULO IV PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES .-

1 .- GENERALIDADES.-

Como se analizó en el Capítulo II. de éste trabajo, se requiere dar primordial atención a lo referente a las sobretensiones que se presentan en las redes de distribución subterráneas. Además, anteriormente ya se puntualizó las causas para que se produzcan las sobretensiones, las cuales son de diferente tipo, y por lo tanto, se pondrá mayor énfasis en éste Capítulo, los diferentes métodos para poder controlar y proteger las instalaciones de los defectos que pueden causar las sobretensiones.

Cuando se producen las sobretensiones aparecen ondas errantes, la parte escarpada de éstas, únicamente representa un peligro para las partes de la red provista de arrollamientos.

Por el contrario la amplitud de las ondas errantes constituye un verdadero peligro para todas las partes de la red, aéreas o subterráneas.

Debido a éstas circunstancias se deben reforzar los aislamientos en el punto de unión de la línea aérea y del cable subterráneo. Particularmente, el manguito terminal debe preverse para una tensión notablemente superior a la tensión de servicio.

Se debe tener en cuenta las puestas a tierra en las redes, ya que éstas son las que generalmente, cuando son de alguna extensión, provocan sobreintensidades. Pero debido a que el análisis de éste aspecto, sobreintensidades, no corresponde al motivo del presente trabajo, no se darán mayores detalles acerca de esto.

2 .- EQUIPO DE PROTECCION UTILIZADO .-

Entre los diferentes métodos empleados para realizar la protección adecuada de los sistemas, se pueden mencionar los siguientes:

- a) Las puestas a tierra del punto del neutro de la red, por medio de bobinas de autoinducción o de resistencias apropiadas, las cuales permiten limitar los efectos de una puesta a tierra de la red. Esto se empea debido a que muchas de las veces una falla monofásica puede ser, y en muchos de los casos es, mayor que la falla trifásica, por lo cual se recomienda la conexión de éstas bobinas de autoinducción.
- b) Los fenómenos de resonancia se evitarán, investigando la frecuencia propia de la red y evitando que coincida con la frecuencia fundamental de servicio o con alguno de sus armónicos de orden superior. Con éste objeto se puede prevenir la instalación de bobinas de autoinducción para corregir la frecuencia propia de la red.
- c) Para suprimir las sobretensiones en el momento de puesta bajo tensión de un cable subterráneo en vacío, se pueden emplear disyuntores con conexión en dos tiempos.

Durante el primer tiempo, se insertan resistencias en el circuito y limitan la onda de carga; durante el segundo tiempo, se establecen los contactos definitivos del disyuntor y las resistencias quedan eliminadas.

d) Otro sistema de protección utilizado en el caso de cortocircuito que comprenda una línea aérea y un cable subterráneo, consiste en insertar en el punto de conexión de ambas líneas, una bobina de autoinducción shuntada por una resistencia para bloquear las sobretensiones. Estas se desvían a tierra por medio de un descargador o pararrayos, situado entre las bobinas de autoinducción y el manguito terminal del cable.

Los primarios de los transformadores de intensidad, podrán shuntarse por medio de resistencias apropiadas. De esta manera se evitarán los fenómenos de reflexión de las ondas errantes y al propio tiempo, se asegurará la protección de los propios transformadores.

La resistencia ha de tener un valor tal, que no influya excesivamente sobre la relación de transformación. Pero este procedimiento generalmente se lo empea en líneas de alto voltaje, especialmente en las líneas de transmisión, por lo que no se dan mayores detalles acerca de esto.

En lo referente a las protecciones para las fallas, en las cuales aparecen sobrecorrientes, se puede anotar lo siguiente:

a) En el caso, como el de la figura, FIG. # 34 , las fallas se

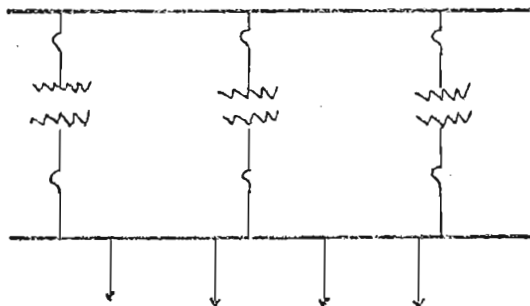


FIG. # 34

despejan por sí solas cuando se queman los conductores en el punto de falla y quedan aislados, para lo cual los fusibles de protección de los circuitos de baja tensión son del tipo lento.

b) Para el siguiente caso, FIG.# 35 , los transformadores, es-

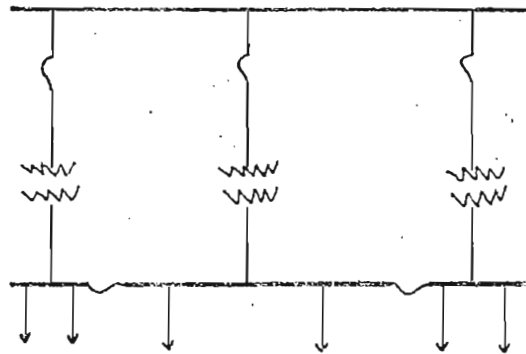


FIG.# 35

tán sólidamente conectados en la red de baja tensión, pero en los puntos intermedios existen fusibles seccionadores. Al producirse la falla ésta no se despeja por sí sola al quemarse los conductores, sino que se queman los fusibles de baja tensión y uno de alta tensión adyacente a la falla.

c) En el caso del sistema de la figura, FIG.# 36 , como pro-

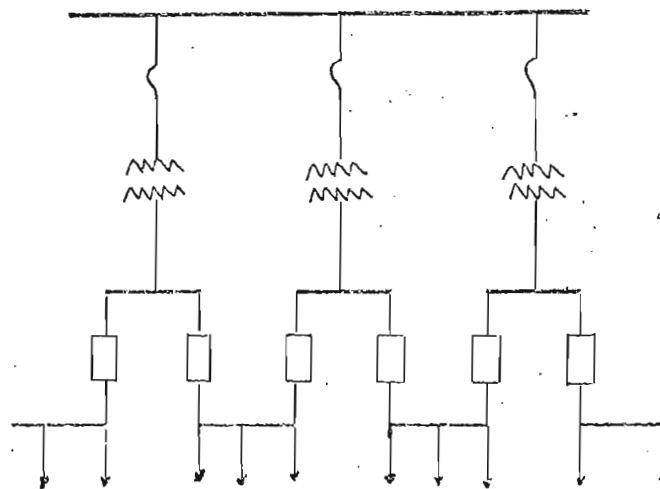


FIG.# 36

tección de baja tensión, se usan disyuntores o interruptores automáticos, con lo que se consigue mayor seguridad en el despeje de las fallas.

Además se puede usar un transformador del tipo C.S.P.E. que tiene un eslabón fusible primario, dos disyuntores secundarios, que pueden operarse desde fuera, luces de señalización y una protección contra los rayos, (descargador). Este diagrama se lo puede observar en la FIG.# 37 .

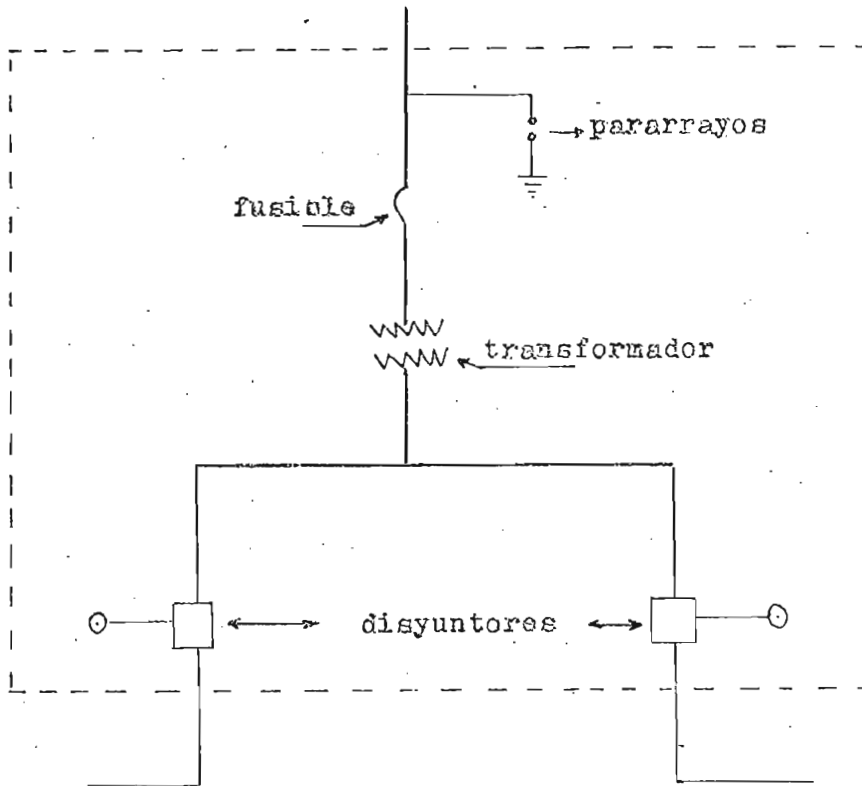


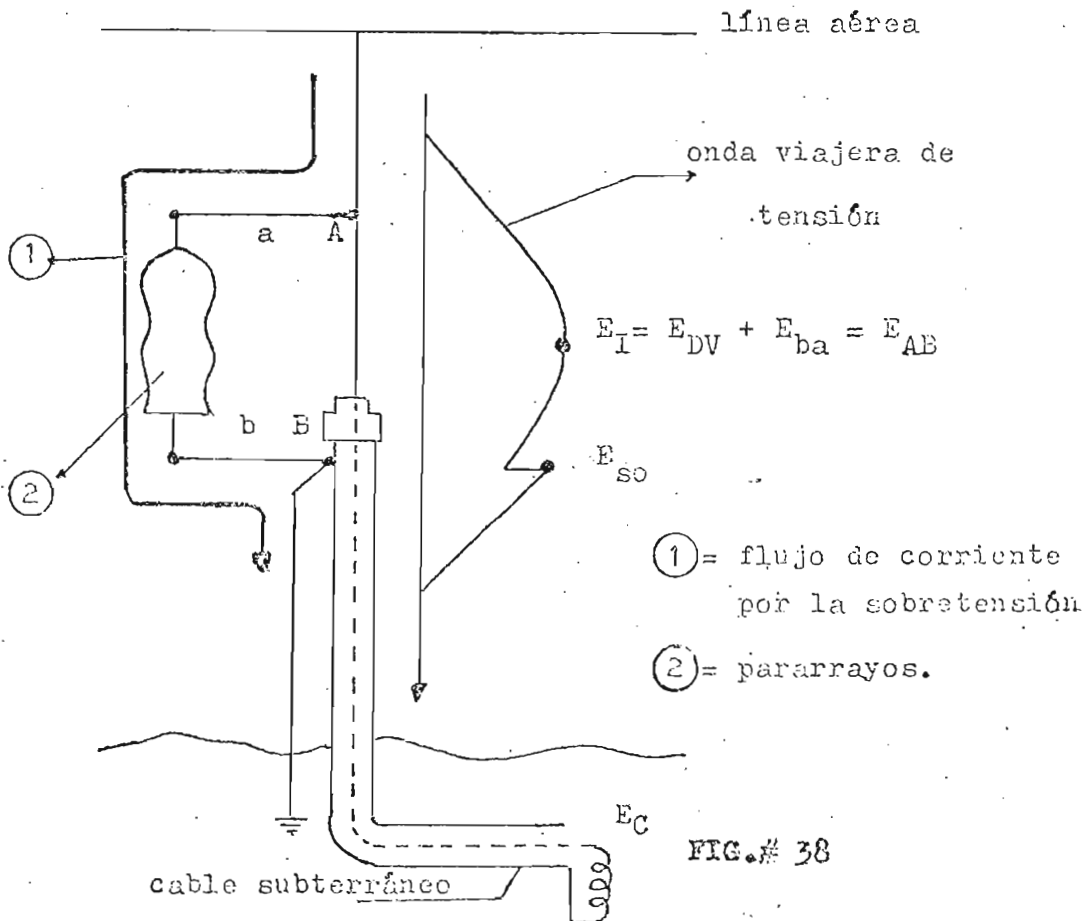
FIG.# 37

Este tipo de transformador es muy usado en los E.E.U.U. y en los países en los cuales la técnica ya está muy adelantada y por lo tanto las condiciones económicas así lo permiten.

Utilización de los pararrayos para la protección de los circuitos subterráneos.-

Tensiones consideradas.-

Debido al fenómeno de aumento de la tensión al doble de su valor en una onda viajera, cuando se abre el sistema subterráneo en un punto cualquiera, la tensión al final del cable es función del primario. Esta tensión se la indica en la siguiente figura, FIG.#38 .



La tensión mencionada es la llamada " E_c ". Si E_c es adecuadamente controlada y se mantiene bajo el nivel de aislamiento del equipo subterráneo, estará protegido todo el sistema.

Como se puede apreciar en la siguiente figura, FIG.# 39 la onda de sobretensión viajera, desde la línea aérea, tiene dos componentes:

(1) E_{SO} = la magnitud a la cual la onda viajera de tensión del sistema aéreo será creciente antes del pararrayo, en el sector del apagachispas.

(2) E_I ó E_{AB} = la tensión desarrollada entre los puntos A y B debido al flujo de corriente de la sobretensión. Esta consiste en la suma aritmética de E_{DV} (la tensión de descarga del pararrayos) y E_{ab} (la caída de tensión en los conductores "a" y "b").

Al variar las características de la tensión de descarga del pararrayos, la magnitud y el porcentaje creciente del flujo de corriente debido a la sobretensión a lo largo de la distancia entre "a" y "b".

E_{ab} = es la tensión desarrollada justo a lo largo de "a" y "b" en paralelo con el circuito que será protegido. Esto se lo puede expresar de la siguiente manera:

$$E_{ab} = (a + b) L \frac{di}{dt}; \text{ en donde:}$$

L = inductancia de los conductores, la cual tiene un valor aproximado de 0.4 microhenrios/pie.

$\frac{di}{dt}$ = porcentaje de incremento de la corriente por el flujo de sobretensión, el cual puede ser 4000 Amperios/microsegundo ó más alto.

Debido a la caída de tensión en la línea, se puede añadir 1.6 Kv/pie ó un valor mayor, al valor de E_{DV} .

Como la sobretensión puede duplicarse, en un punto abierto del sistema, se puede asumir que sin un pararrayos, al abrir el final del circuito y bajo las condiciones establecidas, se tiene:

$$E_C = 2 E_{SO} \quad ; \quad y$$

$$E_C = 2 E_I$$

En realidad, todo lo que se requiera para una selección y localización de un pararrayos, está controlado por el valor de E_C , así como ésta magnitud debe estar controlada y mantenida bajo el nivel del aislamiento del equipo.

Factores variables y márgenes de protección.-

Un número de factores variables afectan al valor de E_{SO} y E_I , los cuales a su vez, determinan el valor de E_C . Algunos de estos factores son controlables y otros no.

Estos factores son determinados utilizando tensiones standard así como ondas de corriente.

El control se lo puede realizar en el lugar de la localización del pararrayos, con el fin de mantener la distancia de "a" y "b" (otra variable) lo más corta posible.

Las ondas de rayos naturales son anchas y variadas, pero son ondas de forma standard. En general la localización del equipo de un sistema subterráneo está limitado por algunos sitios o lugares específicos. Todos los factores mencionados anteriormente, son controlables, los cuales pueden afectar el valor de E_{SO} y E_I ; algunos de éstos factores son favorables y otros no. Acerca de los factores no favorables que se presentan, se tiene lo siguiente:

- 1) Ondas de frentes escarpado de sobretensiones (voltajes)
- 2) Ondas de frentes escarpados de sobreintensidad (corriente)
- 3) Gran magnitud de sobrecorrientes.
- 4) Deterioro de la aislación del equipo con el tiempo.

Respecto a los factores favorables, se tiene:

- 1) Atenuación a lo largo de todo el cable.
- 2) Menos efecto de la duplicación de la tensión a la terminación del cable, para distancias cortas de cable.
- 3) Reducción del porcentaje de crecimiento o aumento de la tensión en los cables de cambio de impedancia en los puntos terminales.

Para poder apreciar estos factores desfavorables e incontrolables, un factor de margen de protección se lo aplica a los polos de la tensión, para comparar con los factores controlables

ya conocidos (características de , los polos del pararrayos y de la caída de tensión de la línea), con el equipo de aislamiento. Generalmente, éste margen de protección no necesita ser tan grande en un circuito subterráneo, como lo es en un circuito aéreo, debido a que los factores favorables e incontrolables ayudan a reducir el valor de E_C .

Ya que, las dos tensiones debieran ser consideradas, dos márgenes de protección son empleados. Esto se lo expresa en las siguientes relaciones; además se lo indica en la FIG. # 39

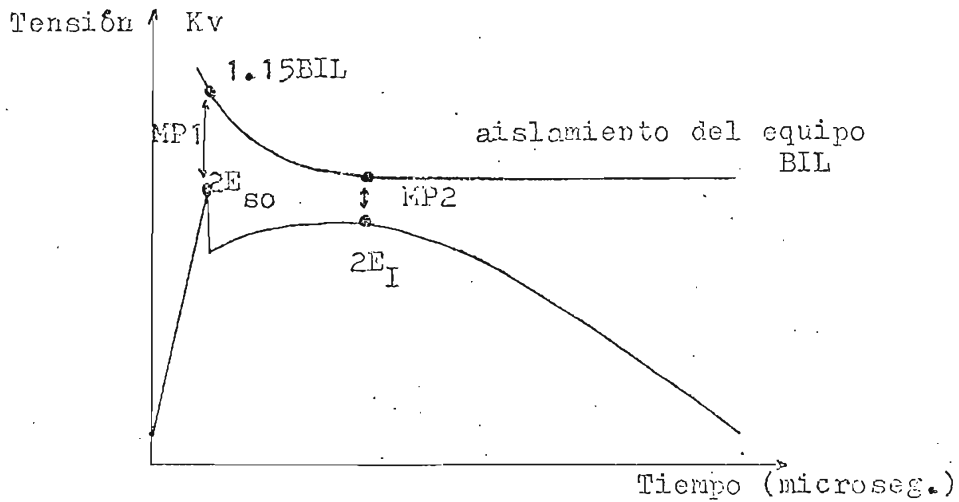


FIG. # 39

$$MP1 = \frac{1.15 \text{ BIL} - 2 E_{so}}{2 E_{so}} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

$$MP2 = \frac{\text{BIL} - 2 E_I}{2 E_I} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$MP2 = \frac{BIL - 2 (E_{DV} + E_{ab})}{2 (E_{DV} + E_{ab})} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

Para evitar una caída de tensión en una línea, se puede realizar una conexión del pararrayos de la siguiente manera, indicada en la figura, FIG.# 40, pero ésta solo es una co-línea aérea

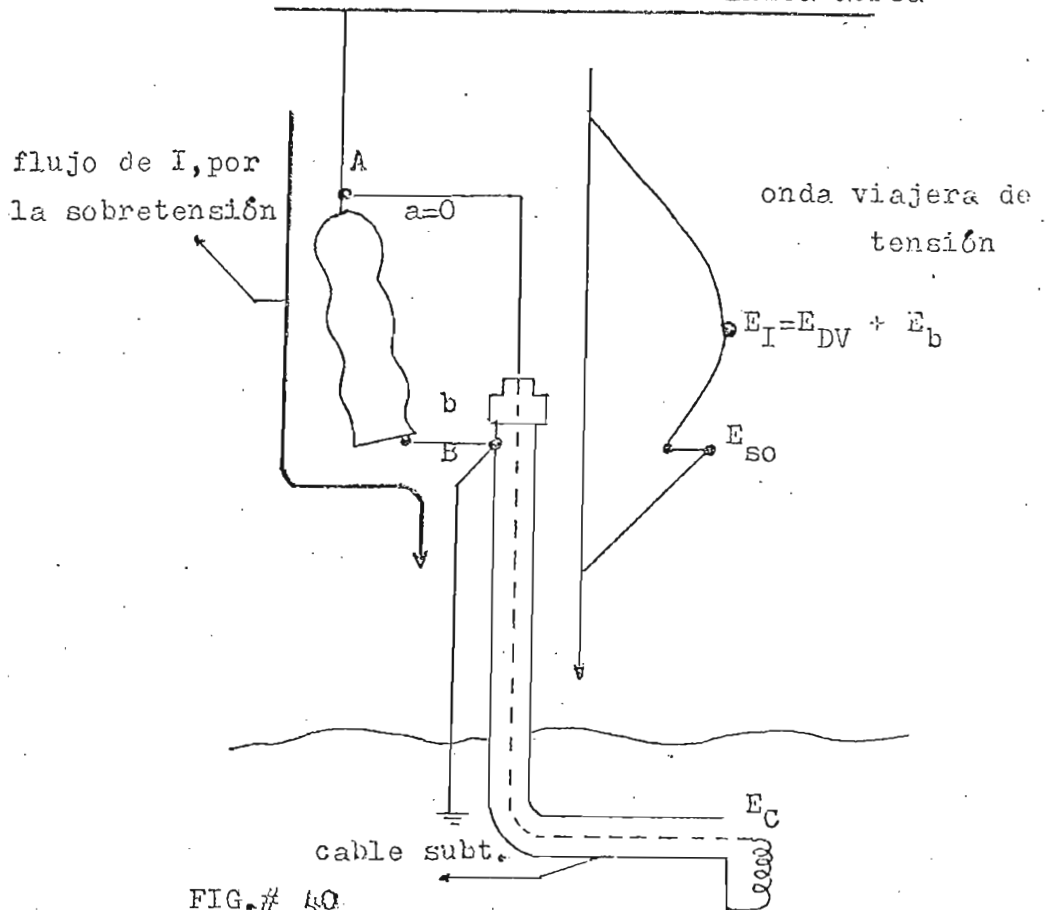


FIG.# 40

nexión teórica y por lo tanto no se la puede realizar en la práctica con suma facilidad.

Como una idea general se darán unas breves indicaciones de los elementos que son utilizados para proteger a las redes especialmente de los efectos de sobreintensidades. No se dan detalles más específicos, ya que el propósito del presente trabajo es el de tratar de las sobretensiones y de las diferentes maneras de poder proteger el equipo de los efectos producidos por éstas.

Entre los elementos usados como protección, en la parte de alta tensión, tenemos:

1.) Cortacircuitos : tipo abierto de accionamiento, que puede ser unipolar o tripolar. Tienen la misión de interrumpir el paso de una corriente de cortocircuito, por fusión de un conductor fusible.

Cuando aparecen sobreintensidades, los fusibles se desintegran desde el centro hacia ambos extremos hasta llegar a la longitud de arco eléctrico necesario para extinción por evaporación de una parte suficientemente grande del fusible.

El valor máximo de corriente que pasa por el cortacircuito, depende de la corriente nominal de éste y de la magnitud de la posible corriente de cortocircuito. Esto se lo ve en la gráfica siguiente, FIG. # 47

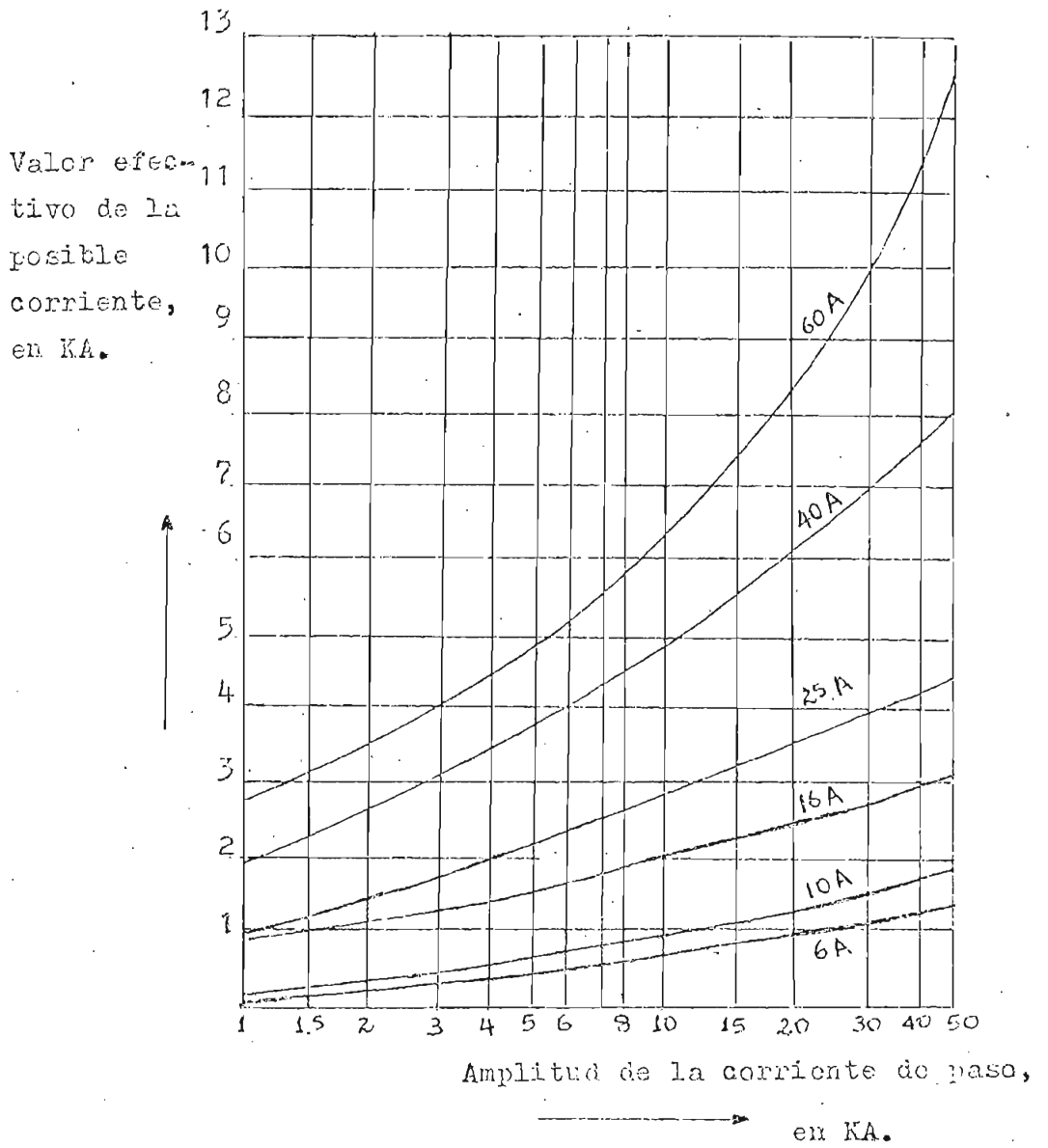


FIG. 47.- Corrientes de paso en función de la corriente de ruptura.

2) Portafusibles Seccionadores: en cajas de porcelana, el más usado es el fabricado por la casa LINE MATERIAL INDUSTRIES, de acuerdo a las normas NEMA.

Tiene un rango de tensión de 5.2 y 7.8 Kv. , ofrecen buena protección desde una ligera sobrecarga hasta una corriente de falla. La caja de porcelana ofrece aislamiento, donde existe un estrecho espacio. Para poder mejores detalles, se debe referir a los catálogos proporcionados por cada una de las casas constructoras, ya que cada una tiene sus especificaciones técnicas propias.

3) Interruptores Seccionadores de potencia: se usan para protección de transformadores de capacidad superior a los 200 KVA. Pero se los usa en redes con valores superiores para las potencias de cortocircuito siempre y cuando, se utilicen fusibles de alta capacidad como protección de cortocircuito de la red.

Para la protección de los equipos de baja tensión, se usan los siguientes elementos:

1) Cartuchos fusibles tipo NH (europeos): se los construye de acuerdo a la siguiente figura, FIG. # 43 ; el fusible propiamente dicho está encerrado en una cápsula de material refractario que anula el arco y la explosión que se produce al quemarse el fusible. Para el montaje se usan bases portafusibles unipolares o tripolares, según sea el caso.

2) Fusibles limitadores: son diseñados para cortar las co -

rrientes de cortocircuito rápidamente, aunque las características de tiempo-corriente de la sobrecarga eléctrica a la cual no será dañado el aislamiento del cable, pueden ser soportadas por largos tiempos. Por lo tanto el limitador es destinado a la protección del cortocircuito y no meramente a despejar sobrecargas como un fusible ordinario.

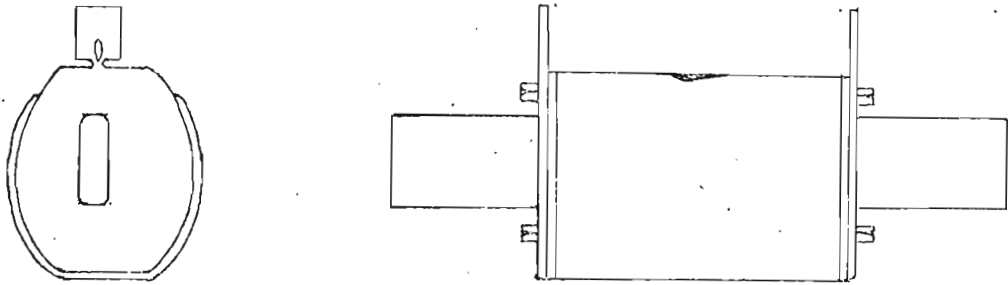


FIG. # 43 -- Cartucho fusible, tipo NH
(europeos).

3 .- SELECCION Y LOCALIZACION DEL EQUIPO DE PROTECCION.-

Cuando aparecen sobretensiones, en una red sea aérea o subterránea, la manera más generalmente usada y eficiente de protegerlas ; es mediante el empleo de descargadores o para-
rrayos.

Se hablará de una manera más detenida acerca de su selección así como de la localización haciendo referencia especialmente a lo referente a los sistemas subterráneos.

El aumento de la tensión en una red, requiere una clasificación de los pararrayos de acuerdo a la sobretensión, así como de sus características de protección. Los niveles de aislación de los equipos, sin embargo, no se aumentan o incrementan proporcionalmente.

El primer criterio para la selección de un pararrayos es seleccionar el rango en el cual puede ser aplicado en un sistema de tensión dado.

Generalmente cuatro sistemas de tensión diferentes, son usados en distribución subterránea, lo cual lo podemos apreciar en el siguiente cuadro, o tabla, TEL. # 15.

En la presente tabla, además se puede observar los rangos recomendados para los pararrayos y la relación proporcional del sistema así como la aislación.

SISTEMA Kv.	BIL Kv.	RELACION DE SIST.	RELACION DEL BIL	SOBRET.RECOM. Kv.
13.2Y/7.62	95	X	Y	10
24.9Y/14.4	125	1.89X	1.32Y	18
34.5Y/19.9	150	2.62X	1.58Y	27
34.5Y/19.9	125	2.62X	1.32Y	27

TBL.# 15 .- Tensiones en redes subterráneas, y rangos recomendados en pararrayos.

El camino óptimo para el control de E_G , refiriéndose a la figura, FIG.# 38, es con el uso adecuado de un pararrayos del tipo " polo levantado ", conocidos como de "riser pole", el cual dará un margen adecuado de protección. Este esquema es el más simple y económico.

Si no se tiene a disposición un pararrayos con adecuado margen de protección y de una duración aceptable, se deben considerar otros esquemas de protección. A continuación se dan tres esquemas de protección adecuados:

- 1) Un pararrayos del tipo conocido como "riser pole", debe ser seleccionado para dar una protección óptima al sistema propuesto.
Como una alternativa, se tiene, que se pueden montar dos pararrayos en paralelo, de los del tipo "riser pole", siempre que los puntos terminales del "apagachispas" de los pararrayos, estén siempre en contacto.
- 2) Un pararrayos en el punto terminal del circuito subterráneo además de uno del tipo llamado de "riser pole", colocado en la forma normalmente acostumbrada. Si a la tensión E_C (referida a la figura anteriormente definida, FIG. # 38) no se la puede mantener en un valor bajo, solo con el pararrayos de "riser pole" conectado en la forma convencional, se realiza la conexión del pararrayos adicional. Este esquema depende de la facilidad física de poder ser instalado el pararrayos al final del circuito subterráneo.
- 3) Instalar un pararrayos adicional a cualquiera de los lados del pararrayos original, del tipo de "riser pole", en una cierta distancia alejada de la línea aérea. Esta es una alternativa para poder controlar la tensión E_C , siempre que el esquema dado en el punto "2" no pueda ser aplicado.

Refiriéndose principalmente al caso de una tensión de servicio en una red de distribución subterránea de un valor 13.2Y/7.6 Kv., se tiene:

De acuerdo a la tabla, TBL. # 15, se debe tener un nivel básico de aislamiento, BIL, dado en la tabla: BIL = 95 Kv., además, de

la misma tabla se obtiene el dato de usarse un pararrayos de 10 Kv. (estos datos están dentro de los márgenes de valores usados en nuestro medio).

La siguiente tabla, TBL. # 16, compara la tensión y la duración a ser considerada para varios tipos de pararrayos, llamados de "riser pole", datos dados por la casa constructora, McGraw-Edison.

TIPO DE PARARRAYO	E_{SO} Kv.	E_{DV} Kv.	MP1 %	MP2 %	RELA. DE DURACION	FUEN. DE I, MP2=10
E7	43	41	27	3.7	X	15KA.
H	35	39	57	8.4	0.75X	19
PARA.E6	46	36	19.5	16.5	1.50X	25
PARA.H	35	36	57.0	16.5	1.10X	30
RP	38	31.5	45.0	39.5	1.75X	70

TBL. # 16 .- Tipos de pararrayos, tensión y duración que son consideradas.

Tomando como un ejemplo, un pararrayos del tipo "E7", dado en la tabla anterior, se tienen los siguientes márgenes de protección, los cuales se los obtiene según las fórmulas dadas anteriormente, fórmulas (1), (2), (3) del presente capítulo.

Márgen de protección:

$$MP1 = \frac{1.15 BIL - 2 E_{SO}}{2 E_{SO}} \times 100$$

$$= \frac{1.15(95) - 2(43)}{2(43)} \times 100$$

$$\underline{MP1 = 27\%}$$

$$MP2 = \frac{BIL - 2 (E_{DV} + E_{ab})}{2 (E_{DV} + E_{ab})} \times 100$$

$$= \frac{95 - 2(41 \pm (3 \times 1.6))}{2(41 + (3 \times 1.6))} \times 100$$

$$\underline{MP2 = 3.7\%}$$

Se tiene que :

E_{DV} = tensión máxima de descarga a 20 KA.

E_{ab} = Caída de tensión a lo largo de la línea
(a+b) en un determinado tiempo, $L \frac{di}{dt}$

además se considera:

$$a + b = 3 \text{ pies}; y$$

$$L \frac{di}{dt} = 1.6 \text{ Kv/pie}$$

Como se puede apreciar en el siguiente ejemplo, el para-
rrayos del tipo " E7 ", da un márgen de protección de frente de
onda, pero no es adecuado para el valor dado por " MP2 ", debién-

dose ésto principalmente a la distancia " a + b " que es de 3 pies. En el caso que se reduzca la distancia a 1 pie, se obtiene un valor de $MP2 = 11.5\%$, el cual es un valor más admisible.

En lo referente á la selección y localización de los demás equipos de protección, tales como: fusibles cortacircuitos, cartuchos fusibles, portafusibles seccionadores, etc... depende del tipo de red que se trate, así tenemos las redes tipo radial simple, banqueadas, malladas, etc... debido a que los diferentes tipos de red, necesitan de mayor o menor número de elementos de protección, para poder brindar una mejor confiabilidad al sistema que se trate de protegerlo.

CAPITULO V

COORDINACION DEL AISLAMIENTO

1.- CONCEPTOS Y DEFINICIONES:-

Acerca de los conceptos y definiciones que se deben tener en cuenta para la realización de una efectiva coordinación del aislamiento, se pueden anotar los siguientes:

a) Coordinación de la Aislación:

Es el conjunto de normas o disposiciones que se toman, en vista de evitar que las sobretensiones causen daño a los equipos eléctricos, y que cuando los arcos de defecto no pueden ser evitados con medios que resulten económicos, sean localizados en puntos del sistema donde produzcan la mínima afectación al funcionamiento y a las instalaciones de éste último.

b) Tensión Nominal de una Red:

Es el valor eficaz de la tensión entre fases, con la cual la red se denomina.

c) Aislación Externa:

Es la aislación de las partes externas de un aparato, constituida por distancias en aire o superficies aislantes en contacto con aire y sometidas al mismo tiempo a la sollicitación dieléctrica y a la influencia de condiciones o agentes exteriores tales como: humedad, polvo, impurezas, etc...

d) Aislación Interna:

Es la aislación de las partes internas de un aparato que no está sujeta a la influencia de las

condiciones atmosféricas o agentes exteriores tales como: humedad, polvo, etc...

e) Red con Neutro Puesto a Tierra:

A través de una bobina de extinción, llamada "red compensada con bobina de extinción", es la red cuyo neutro está unido a tierra a través de una bobina, cuya reactancia es de valor tal que en el caso de una falla entre fase y tierra, la corriente inductiva a frecuencia industrial que circula entre la falla y la bobina, compensa la componente capacitiva de la frecuencia fundamental de la corriente de falla.

f) Sobretensiones de la Red:

Son elevaciones de valor superior a la tensión máxima de la red, cuyo origen puede ser: atmosférico o interno de la red (debido a fenómenos transitorios). Los máximos valores de sobretensión que pueden producirse en servicio, están determinados bien por su origen y por la estructura de la red, bien por las características de los dispositivos de protección.

g) Nivel de Protección de un Descargador:

A las ondas de impulso, es el mayor valor de cresta de la tensión de impulso que puede aparecer entre los terminales del descargador bajo las condiciones prescriptas. Este nivel de protección está expresado numéricamente por el valor máximo de las siguientes magnitudes:

- * Tensión de descarga sobre el frente de onda, dividida por 1.15
- * Tensión de descarga con onda de impulso de 1.2/50
- * Tensión residual (de descarga) para una corriente de descarga dada.

h) Nivel de Aislación de un Aparato:

Combinación de los valores de tensión de ensayo a frecuencia industrial y de impulso que caracterizan la aislación de éste material con respecto a su aptitud para soportar las oscilaciones del dieléctrico.

i) Nivel Básico de Aislación, BIL:

Es el nivel de aislación a impulso del equipo más importante de la red (generalmente los transformadores de potencia).

j) Relación de Protección:

Relación existente entre el BIL y el nivel de protección.

2 .- SELECCION DE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO .-

Selección del nivel básico de aislamiento, BIL :

Este nivel básico de aislamiento, deberá seleccionarse con respecto al equipo que será protegido, en un valor adecuadamente aceptable.

La mejor protección contra las sobretensiones que se presentan en una red, se la obtiene con los modernos modelos de los descargadores o pararrayos.

El margen entre el BIL y el dispositivo de protección, tiene una consideración fundamentalmente económica, entre la protección más eficiente que se brindará y el modo más fácil como se la puede realizar.

En todo caso, el BIL de aislamiento del equipo, deberá ser más alto que la máxima sobretensión que se pueda esperar que ocurra en el descargador seleccionado.

Como una idea acerca de la selección del BIL en un transformador, que opere a 138 Kv., que está solidamente puesto a tierra y las relaciones de las impedancias en el terminal del transformador son tales que :

$$X_0/X_1 = 2.0$$

$$R_0/X_1 = 1.0$$

$$R_1/X_1 = 0.1$$

$$R_1 = R_2$$

$$X_1 = X_2$$

Para estas condiciones, la tensión máxima a tierra en los

terminales del transformador, durante cualquier tipo de falla en el sistema, para una resistencia cualquiera de falla, es de 74 % de la tensión normal fase - fase ; esto se lo obtiene de la siguiente figura, FIG.# 44.

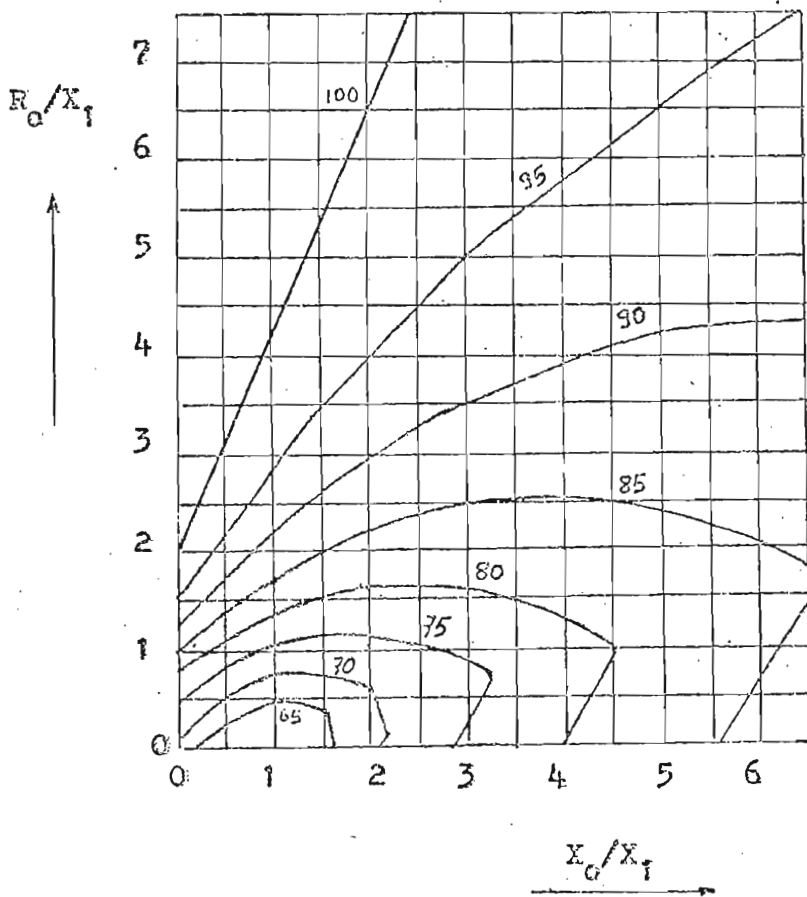


FIG.# 44

Generalmente se tiene un 5 % de sobretensión en el sistema, lo cual da como resultado :

$$(1.05) (74) = 77.7 \% , \text{ que en Kv se tiene:}$$

$$(77.7 \%) (138) = 107.2 \text{ Kv.}$$

Para este caso especial se requerirá de un descargador de por lo menos 109 Kv. En la siguiente figura, FIG.# 45 , se puede apreciar las características de un pararrayos estación tipo válvula con un nivel de 109 Kv, asumiendo una onda de características 10 x 20 microsegundos, de 5000 Amperios.

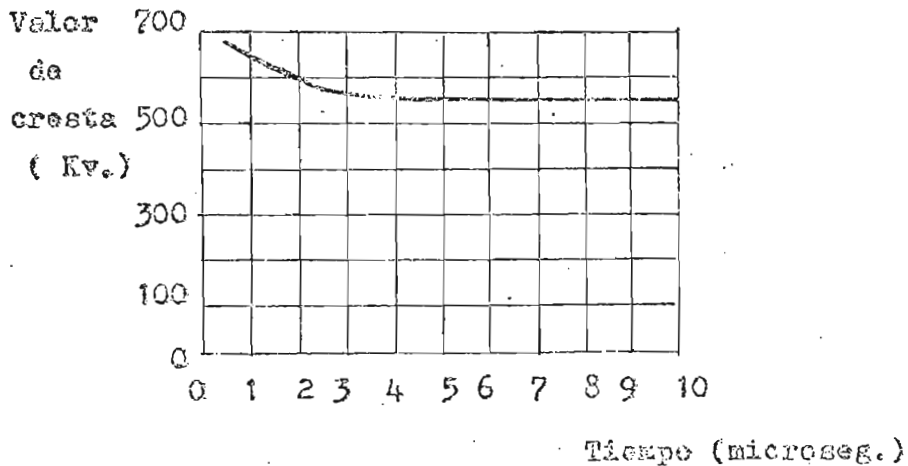


FIG.# 45

De lo expuesto anteriormente, se puede deducir que para poder tener una adecuada selección de los diferentes niveles de aislación para los equipos, se debe tomar en cuenta la mayor sobretensión que se pueda presentar en el sistema, para de acuerdo a ésta realizar la selección del adecuado margen de aislamiento, teniendo en cuenta que debe ser siempre un porcentaje mayor, para que de ésta manera se brinde una mejor protección al sistema que se trate.

3.- COORDINACION DEL AISLAMIENTO .-

El concepto básico de la coordinación del aislamiento se lo indica en la siguiente figura, FIG.# 46 .

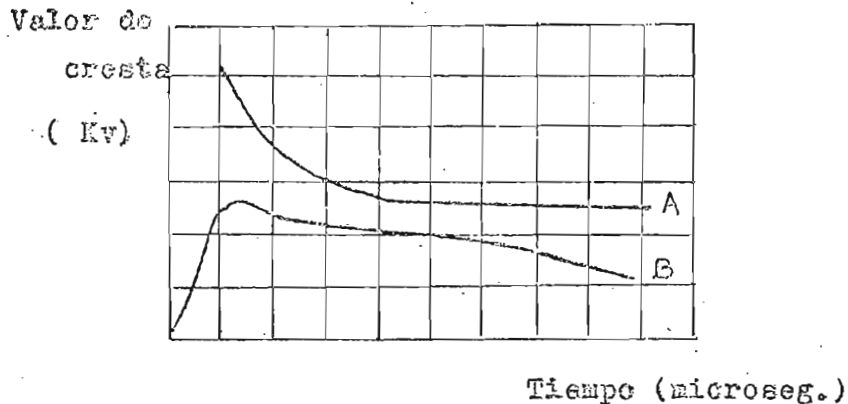


FIG.# 46

La curva " A " representa el nivel de aislamiento de un equipo eléctrico. La curva " B " indica el nivel de aislamiento del descargador o pararrayos que se ha seleccionado para dar protección al equipo mencionado.

Como se puede apreciar en la gráfica, se tiene que el nivel de protección dado por el descargador es adecuado y por lo tanto se ha realizado una efectiva coordinación del aislamiento.

Para poder lograr una coordinación efectiva del aislamiento entre los diferentes elementos que conforman una red de distribución, se debe tratar de hacer que los niveles de aislamiento de los equipos sean los adecuados y estén en un margen de protección dado por las tablas y recomendados por los diferentes fabricantes de los elementos.

Se debe llegar a realizar una coordinación efectiva entre los cables y los equipos, así como también entre los cables y los sistemas de protección que se utilicen, especialmente cuando se está utilizando un descargador para la protección de un circuito subterráneo, se debe tener en cuenta los márgenes de protección que brindan los descargadores y por lo tanto se debe seleccionar y localizar en forma adecuada a los elementos que servirán para proporcionar la protección más eficiente.

CAPITULO VI

EJEMPLO DE APLICACION

1.- DESCRIPCION DEL SISTEMA A ESTUDIARSE .-

El siguiente sistema que servirá para el presente ejemplo, tiene las siguientes características :

Tipo del sistema : radial simple

Tensión del primario : 6300 voltios

Tensión del secundario : 210/120 voltios

Clase de sistema : trifásico con neutro

Capacidad del transformador : 250 KVA

La capacidad del transformador, está repartida en 4 diferentes usuarios, los cuales consumen 60 KVA cada uno, asumiendo que son del tipo residencial de primera, y además que tienen una carga uniformemente repartida.

Entre otras características que se deben tener en cuenta en el sistema, se tienen las siguientes :

* Caídas de tensión máximas admisibles:

Primario = 3 %

Secundario = 6 %

Acometidas = 1 %

* Tipos de cables utilizados :

Alta Tensión : cable aislado de papel impregnado en aceite hasta de una tensión de servicio de 8 Kv, de cobre, sección de 4/0 AWG, enterrados directamente en el suelo.

Baja Tensión : conductores unipolares de cobre, aislamiento de caucho butyl con funda externa de neopreno para 1 KV de servicio, para las tres fases;

el neutro desnudo de igual sección que las fases, enterrado directamente en el suelo, mínima sección 1/0 AWG.

Red de Alumbrado: no será considerada en el siguiente caso.

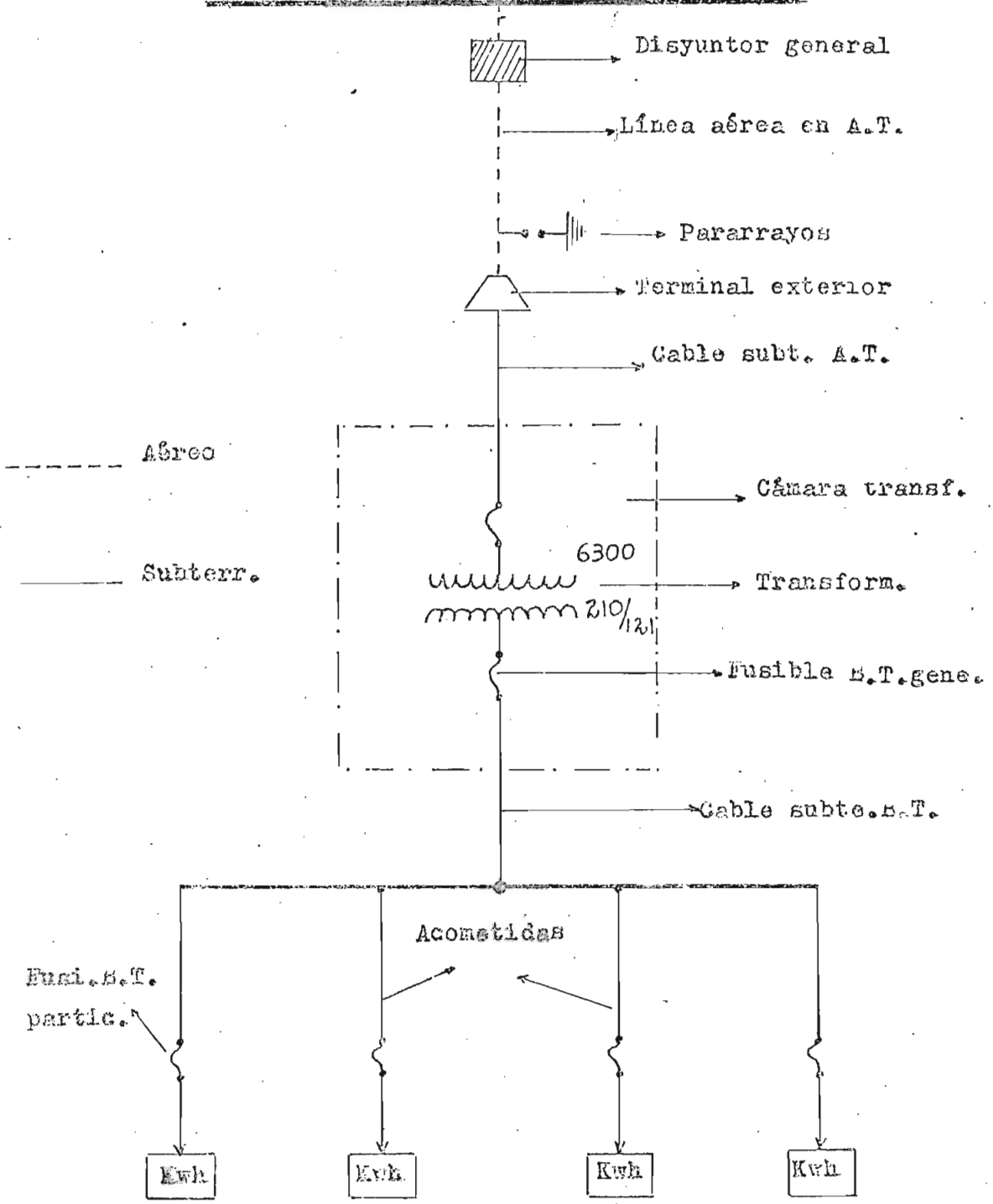
* El transformador tiene las siguientes características:

conexión : Δ/γ ; autorefrigerado con baño de aceite, del tipo convencional, una impedancia promedio de 4 % (D Y 5)

* Protección : se utilizará un descargador o pararrayos a la entrada del circuito , es decir en la unión de la línea aérea con el cable subterráneo, además se utiliza un disyuntor automático y fusibles de 7.8 Kv. , 50 - 100 Amperios , con una caída de tensión máxima de 1 %

El esquema unifilar del sistema se lo indica en la siguiente figura.

barra de la subestación



2 .- COORDINACION DEL AISLAMIENTO .-

Para la selección del pararrayos adecuado, nos referimos a la tabla, TBL.# 15 , en la cual obtenemos que para un sistema de tensión de 13.2 Y / 7.6 Kv. se debe tener un BIL = 95Kv.

De la misma tabla, tomamos el dato del pararrayos recomendado, que es el de 10 Kv.

Ahora bien, con estos datos, del BIL y del pararrayos recomendado de 10 Kv., hacemos las mismas operaciones realizadas en el Capítulo IV, en el punto de Selección y localización del equipo de protección, con lo cual determinamos que el tipo de pararrayos recomendado es el " E 7 " , cuyas características las podemos obtener en la tabla, TBL.# 16; Este tipo de pararrayos nos da los siguientes márgenes de protección:

$$MP1 = 27 \%$$

$$MP2 = 11.5 \%; \text{ cuando se tiene :}$$

$$a + b = 1 \text{ pie.}$$

Luego se tiene que la conexión del pararrayos, en la unión del cable subterráneo con la línea aérea, es de la forma indicada en la figura, FIG.# 38, asumiendo que todos los niveles de tensión ya están estudiados y que por lo tanto se cumple con todos los requisitos para su instalación de esa forma.

En lo relacionado a la unión del cable subterráneo con la línea aérea, se tiene que se la realiza mediante un manguito terminal para intemperie, el cual es de la forma demostrado en las figuras, FIG.# 29 y 30.

El cable subterráneo utilizado en el alimentador principal del sistema radial, tiene su nivel básico de aislamiento, y asumiendo que sea de una sección de 2 / 0 AWG, para un sistema que tenga una clase de aislamiento de 8.7 kv, que está comprendido en el margen de nuestro caso, se debe tener que el nivel básico de aislamiento de los equipos eléctricos deben tener un BIL = 75 Kv .Esto lo podemos apreciar en la siguiente tabla, TBL.# 17 .

CLASE DE AISL. Kv.	BIL PARA EQUIPOS	AISLA. DE PAPEL	
		AN. AISL. Milli.	VOLT. MAX. Kv.
1.2	30	78	94
2.5	45	78	94
5.0	60	94	113
8.7	75	141	169
15.0	110	203	244
23.0	150	266	319
34.5	200	375	450
46.0	250	469	563

TBL.# 17 .- nivel básico de aislamiento para los diferentes equipos .

Una vez que se ha determinado los niveles básicos de aislamiento de los diferentes elementos y equipos que se utilizan en la red, se debe proceder a realizar la coordinación del aislamiento, teniendo en cuenta el concepto de la coordinación que se lo ha establecido en el punto 2 del capítulo V.

Como se anotó anteriormente, el nivel de aislamiento que debe proporcionar una protección efectiva un equipo, debe estar en un margen adecuado en relación a los demás elementos, especialmente en lo referente a los equipos que darán una protección al sistema, sobretodo en lo referente a la selección de los pararrayos.

El pararrayos está destinado a dar una protección efectiva a todo el sistema subterráneo, por lo cual la dimensión, es decir su nivel de aislamiento mínimo debe estar probado antes de ser instalado en el sistema, para lo cual se le deben realizar las pruebas en el laboratorio o como en la generalidad de los casos, éstas pruebas ya están realizadas en las casas constructoras o en las distribuidoras.

De igual forma, se deben probar los niveles de aislamiento de todos los demás equipos, en especial de los transformadores de potencia, debido a que éstos son los más fundamentales en el sistema y por lo tanto los de más valor.

En lo referente a la selección de los fusibles que permitirán la protección de la red en lo que concierne a las sobrecorrientes que pueden presentarse, se lo realiza de acuerdo a los cálculos de las máximas corrientes que se pueden presentar

en los casos en los cuales exista alguna falla, sobretodo cuando ésta falla se realiza en los cables, de ésta forma los fusibles que están seleccionados cumplen con los requisitos para poder proteger al sistema de una falla posiblemente mayor.

Como se dijo anteriormente, los fusibles que se han escogido para la protección del sistema son de las siguientes características : 7.8 Kv. y con una corriente de soporte de 50 a 100 Amperios, del tipo lento, y asumiendo una caída de tensión máxima de 1 %.

Esto referente a los fusibles, se lo aplica a todos los utilizados en la red, tanto para los de alta tensión, para baja tensión, así como para los fusibles particulares, es decir los que se encuentran localizados después de la derivación principal, a la llegada de cada una de las acometidas a los diferentes usuarios, pero teniendo en cuenta las máximas sobrecorrientes que se pueden hacer presentes en cada uno de los casos, ya que, por ejemplo, en las acometidas a los clientes, las sobrecorrientes serán de un valor mucho menor a las que se presentan en las acometidas de alta tensión.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .-

1 .- CONCLUSIONES .-

Entre las principales conclusiones a las que se llega después de realizado el presente trabajo, se pueden anotar las siguientes :

- * Debido principalmente al incremento en la utilización de las redes de distribución subterránea, se debe tener en cuenta las ventajas técnicas que éstas presentan frente a las redes aéreas, tanto en el aspecto de aumentar la capacidad de las redes así como en el mejoramiento del aspecto ornamental de las instalaciones.
- * En lo referente al equipo utilizado, se puede decir que éste es más sofisticado y por lo tanto de un valor mucho más elevado que el empleado en la distribución aérea, por lo cual se debe realizar un estudio detenido y bien organizado para poder decidirse acerca del tipo de sistema que se va a emplear en el diseño y construcción de la red de distribución subterránea, para de ésta manera asegurar un funcionamiento mucho más eficiente de la red, así como de todos los elementos que la conforman.
- * En cuanto a la coordinación del aislamiento propiamente dicha, se deben tener en cuenta las recomendaciones dadas por los diferentes diseñadores y constructores de los equipos, los cuales dan ya tablas en la que se tienen los datos necesarios para poder hacer la selección adecuada de los elementos que

conformarán la red, dando un margen adecuado de protección de los equipos, asegurando de ésta forma un funcionamiento más eficiente de todo el sistema, evitando que existan posibles fallas causadas por la selección errónea de los elementos, y además por las posibles sobretensiones que se presenten en el sistema, para lo cual se debe seleccionar los equipos adecuados para cada caso.

* Como se anotó anteriormente, las sobretensiones que pueden aparecer en una red de distribución subterránea, son las causadas por las descargas atmosféricas, y las cuales se presentan en la unión de los cables subterráneos con la línea aérea, por lo cual se debe hacer el estudio detenido de los pararrayos que servirán para brindar una protección adecuada al sistema, para lo cual se debe hacer referencia a las tablas dadas en el presente trabajo y de ésta manera poder tener una adecuada coordinación del aislamiento de los equipos que estén expuestos a las sobretensiones.

2 .- RECOMENDACIONES .-

En todo el trabajo se ha dado un interés especial en el tratamiento de las sobretensiones y en los medios más efectivos para poder proteger a un sistema de los efectos que éstas sobretensiones puedan causar a los diferentes elementos de la red.

Como recomendaciones especiales que se pueden dar acerca del trabajo realizado, se tiene las siguientes :

- * Para poder realizar el estudio completo de un sistema, se debe tener los datos de todos y cada uno de los elementos que van a conformar la red y cuando se trata de hacer el estudio de la coordinación del aislamiento, en especial, se debe tomar en consideración las características de los equipos dados por los fabricantes, así como los diferentes aspectos técnicos relacionados con los niveles de aislamiento, para que de ésta manera se pueda hacer la relación de los diferentes elementos de una forma precisa y que esté de acuerdo a las normas establecidas para poder tener un funcionamiento eficiente y con las menores probabilidades de salida de servicio.
- * En lo relacionado a los niveles de aislamiento que se deben considerar, se tiene que siempre se debe escoger el equipo con un nivel de aislamiento un poco más elevado que el que se lo obtenga por medio de los cálculos, ya que de ésta forma se asegurará mejor el rendimiento de los mismos y por lo tanto el sistema será mucho más confiable.

B I B L I O G R A F I A . -

1 .- ORENCO, ALBERTO, Ing.

Coordinación de aislamiento en sistemas de alta tensión.

VEITZMAN, S.; SOIBELZON, L., Ing.

Recomendaciones para la coordinación del aislamiento.

Informe del CIER , Buenos Aires, Argentina 1971

2 .- CHOBADINDEGUI, RODOLFO, Ing.

Determinación de sobretensiones de maniobra.

JADRIJEVIC, VLADIMIR; CORTEZ, HERNAN, Ing.

Coordinación del aislamiento del sistema central de 115Kv.

Informe del CIER , Argentina, Septiembre de 1972

3 .- PIPERIO, JOSE; MORCENARO, CARLOS; ROMERO, ROLANDO .

Acerca de las puestas a tierra. Recomendaciones en las redes subterráneas.

Informe del CIER , Argentina, Julio de 1975

4 .- GENTA, ANGEL; PEREZ, L .

Accesorios para cables subterráneos.

Informe del CIER , Argentina, 1975

5 .- RAMIREZ VAZQUEZ, JOSE.

Tratado de los cables subterráneos. Tomos I , II

6 .- VIQUEIRA LANDA, JACINTO.

Redes eléctricas. Tomo II

7 .- BARNES, C.C.

Power cables . Second edition.

- 8.- CLARKE , EDITH .
Circuit analysis of A - C power systems . Vol. II
- 9.- REINHOLD,LOTHAR . .
Cables y conductores para transporte de energía.
Traducción al español, año 1976
- 10.- GREENWOOD, ALLAN.
Electrical transients in power systems
- 11.- WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION.
Electrical Transmission and Distribution Reference book.
East Pittsburgh, Pennsylvania. Octava edición.
- 12.- WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION.
Distribution Systems.
Distribution Data Book.
- 13.- BEEMAN, DONALD.
Industrial Power Systems Handbook.
McGraw - Hill book Company, Inc. (First edition)
- 14.- POWER SYSTEMS DIVISION
Distribution Systems Protection Manual.
McGraw - Edison Company.
- 15.- EDISON ELECTRIC INSTITUTE.
Underground Reference Book.
- 16.- J.H. FOOTE and J.R. NORTH.
Application of Arresters and Selection of Insulation Levels.
Electrical engineering, June de 1957
- 17.- GEAC

Instalaciones Eléctricas Generales.

Enciclopedia CEAG de Electricidad. Segunda edición, 1974

18.- AYORA, PAUL, Ing.

Requerimientos mínimos para Cables Subterráneos a 6.3 y
13.2 Kv.

Tesis de Grado. E.P.N. 1974

19.- VITERI, RAUL, Ing.

Estudio de las Redes Subterráneas de Distribución Eléctrica.

Tesis de Grado. E.P.N. 1973

20.- LEO JAYME PINTO ; LUIZ FERNANDO WILLCOX DE SOUZA.

Definição de Isolamento Nos Sistema e Coordenação de Isolamento. Valores de Sobretensões de manobra.

Informe del CIER, Brasil, Agosto de 1972 (CHESF)

21.- MARIO DANIEL DA R. TEIXEIRA

Emprego de Tensões Superiores á Classe de 15 Kv Na Distribuição Aérea e Subterránea.

Informe del CIER, Brasil, Septiembre de 1975.