



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**CABLE SUBTERRANEO TIPO TUBO A
230 KV**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniero Mecánico Electricista
P R E S E N T A
JOSE RAMON ESCALANTE JAIMES

DIR. DE TESIS ING. DAVID VAZQUEZ ORTIZ

MEXICO, D. F.

1985



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CABLE SUBTERRANEO TIPO TUBO A 230 KV

INDICE GENERAL

	HOJA
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1:	
LINEAS DE TRANSMISION SUBTERRANEAS	11
CAPITULO 2:	
CABLE TIPO TUBO	48
CAPITULO 3:	
PRUEBAS AL CABLE Y A LA TUBERIA	114
CAPITULO 4:	
INSTALACION DE UN CABLE TIPO TUBO	146
CONCLUSIONES	119
BIBLIOGRAFIA	201

I N T R O D U C C I O N

La energía eléctrica es de tal importancia para el desarrollo de las actividades humanas en la época actual, que una falla en su suministro trae como consecuencia cuantiosas pérdidas económicas y trastornos sociales invaluable. Por esta razón, uno de los objetivos más importantes de la Ingeniería eléctrica es planear y diseñar sistemas en donde se trata de minimizar la ocurrencia de tales fallas mediante soluciones que, a primera vista, van en contra de los principios económicos: duplicidad de instalaciones, por ejemplo, pero que redundan en máxima confiabilidad y continuidad en el suministro de la energía.

De los sistemas que componen el sistema eléctrico, en donde es más aparente lo expuesto anteriormente, es en los de transmisión y distribución, ya que es común la construcción de circuitos dobles para asegurar la continuidad del servicio, o el empleo, con el mismo fin, de dispositivos especiales en sustitución de equipo normalizado, con lo cual se incrementan los costos de la instalación.

Los sistemas de transmisión y de distribución se clasifican en:

- a) Sistema Aéreo
- b) Sistema Subterráneo

En este trabajo nos enfocaremos hacia el estudio de uno de los elementos de éste último: los cables subterráneos de 230 KV.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta - la Ingeniería Eléctrica, es el relativo a la distribución de la energía en zonas urbanas con una alta densidad de población. Restricciones, tanto de tipo económico, costo del derecho de vía, como de tipo ecológico, contaminación estética, impiden la construcción de líneas aéreas dentro de las ciudades; por lo que la distribución de la energía debe hacerse - por medio de líneas subterráneas.

Siendo la Ciudad de México una de las más pobladas - del mundo, la distribución de energía en forma subterránea - es la alternativa para la solución de este problema.

La distribución por líneas aéreas dentro de las ciudades, es menos confiable que por cables subterráneos, debido a que las líneas aéreas están sujetas a fallas ocasionadas por varios agentes que no se presentan en los cables sub

terráneos, los que agruparemos en dos tipos:

- c) Agentes Naturales
- d) Agentes Externos

Dentro de los primeros podemos mencionar las lluvias torrenciales, vientos huracanados, descargas atmosféricas, sismos, acumulación salitrosa, ramas de árboles, etc., es decir, todos aquellos factores donde no interviene la mano del hombre.

En cuanto a los agentes externos podemos citar; accidentes de tránsito aéreo o terrestre, corrosión por contaminación ambiental en líneas cercanas a industrias que emiten vapores ácidos, caleras o cementeras, cortos circuitos intencionales, vandalismo, o sea, todas aquellas causadas involuntariamente o voluntariamente por el hombre.

Además de estas desventajas, las líneas aéreas presentan ruidos (Efecto Corona), fenómenos de interferencia, radiointerferencia y problemas urbanísticos. Sin embargo, líneas aéreas presentan ventajas en relación a los cables, como:

- a) Menor costo de instalación
- b) Fácil localización de Fallas
- c) Reparación rápida de Averías
- d) Menores dificultades en su operación

(Por ejemplo la operación de la potencia reactiva)

SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

Un sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de elementos que hacen posible que la energía llegue hasta los lugares de consumo (alimentadores primarios, transformadores primarios de distribución, redes de baja tensión, etc.). Para que la energía pueda ser entregada al consumidor al voltaje adecuado, es necesario que pase por varias etapas. Estas etapas son:

a) Generación.

Es la etapa inicial del sistema eléctrico. La energía eléctrica puede ser generada a partir de diversas fuentes, como:

- a) Aprovechamiento de caída de agua: Plantas Hidroeléctricas.

- | | |
|-------------------------|-------------------|
| b) Combustibles Fósiles | |
| Carbón | Plantas |
| Petróleo | Termoeléctricas. |
| Gas | |
| c) Fisión Nuclear | Plantas Nucleares |

La selección del tipo de planta generadora está determinada por consideraciones técnicas y económicas.

b) Transformación: Subestaciones Elevadoras.

Tienen por objeto elevar el voltaje de generación a valores que permitan transportar en forma más eficaz la energía eléctrica.

c) Líneas de transmisión y Subtransmisión

Por medio de estas grandes líneas se transporta la energía eléctrica a grandes distancias y a tensiones elevadas, reduciendo de esta manera las pérdidas hasta las subestaciones reductoras.

d) Transformación: Subestaciones Reductoras

Tienen por objeto reducir el alto voltaje de las líneas de transmisión a valores adecuados para su utilización.

e) Líneas de Distribución

El objeto de las líneas de distribución o alimentadores primarios es llevar la energía desde la subestación de distribución hasta los centros de consumo a un voltaje adecuado.

TENSIONES NOMINALES DE SISTEMAS ELECTRICOS
DE DISTRIBUCION, SUBTRANSMISION Y TRANSMISION

PREFERENTES ⁺ KV	RESTRINGIDAS ⁺⁺ KV	CONGELADAS ⁺⁺⁺ KV
0.120	—	—
0.127	—	—
0.220	—	—
0.240	—	—
0.440	—	—
—	—	—
—	—	2.4
—	—	4.4
—	—	6.9
13.8	—	11.8
24.0	—	20.0
34.5	—	60.0
69.0	85.0	66.0
115.0	138.0	70.0
230.0	150.0	90.0
400.0	161.0	95.0

+ Son aquellas que se deben utilizar en todo el sector

eléctrico.

++ Son las que debido al grado de desarrollo y al valor de las instalaciones, no es posible eliminarlas y será inevitable en el futuro aceptar algunas ampliaciones.

+++ Son aquellas que se van eliminando paulatinamente -- hasta su desaparición o se operan a la tensión preferente más próxima.

Nota: Las cifras anotadas arriba son según especificación C.F.E. L0000-02

La característica de este seminario, es contemplar los aspectos más importantes para la explicación de una línea de transmisión subterránea. Específicamente del cable subterráneo tipo tubo a 230 KV.

Por lo anterior, en el primer capítulo se hace mención de algunas características de las líneas de transmisión subterráneas como: Historia, definiciones, algunos tipos de cables que también son utilizados para redes subterráneas y la descripción actualizada de las redes subterráneas de la -

Ciudad de México.

Continuando ahora con el segundo capítulo nos adentramos básicamente en la constitución de todos los elementos que conforman el cable tipo tubo, como: pantallas y aislamientos, aceite aislante, características del tubo y parámetros eléctricos básicos para realizar un cálculo de capacidad de transmisión.

Las pruebas al cable y a la tubería es el tercer capítulo de este seminario y abarca temas completamente relacionados a las pruebas, tanto en fábrica, así como durante su instalación, y sus pruebas finales. Dando también un método práctico para la localización de fallas subterráneas.

Por último tenemos en el capítulo cuarto la instalación de un cable subterráneo tipo tubo. Donde un aspecto -- que se considera es la obra civil, ya que de esta depende poder realizar el trabajo de tendido del tubo, para hacer las zanjas, pozos de visita, etc. Posteriormente el tema a tratar es la soldadura y limpieza del tubo. Actividad de suma importancia por la presión del aceite dentro del tubo. Punto aún más importante es la protección de la tubería contra

la corrosión. Ya que de esto depende en gran parte la durabilidad de la tubería y la adecuada operación del sistema. Terminado lo anterior continua la introducción de los cables al tubo. Para terminar se describen los diferentes empalmes para la conexión de los cables.

Con esto se tiene una visión más amplia de lo que es, en que consiste y como opera el cable tipo tubo a 230 KV.

CAPITULO 1

LINEAS DE TRANSMISION SUBTERRANEAS

- 1.1.- ANTECEDENTES
- 1.2.- GENERALIDADES
- 1.3.- TIPOS DE CABLES SUBTERRANEOS DE POTENCIA
- 1.4.- RED SUBTERRANEA DE 230 KV DE LA CIUDAD DE MEXICO

1.1 ANTECEDENTES

La historia de la transmisión de energía eléctrica en alta tensión usando cables aislados, comenzó con los estudios que realizó durante muchos años Luigi Emmanuelli sobre la efectividad del aislamiento de papel impregnado en aceite y sometido a presión, llegando a demostrar en el año de 1926 que mediante este sistema era posible suprimir la corriente de ionización en los cables.

Partiendo del principio de Emmanuelli, Martin Hostandler experimentó con un cable aplicando presión radial desde el centro del conductor, observando que la transmisión de aceite, a través del aislamiento, no era constante, quedando pequeños huecos llenos de aire. Posteriormente, en vez de aplicar la presión de aceite desde el centro del conductor, la aplicó desde el exterior, descubriendo que a 14 Kg/cm² se suprimía la ionización.

El primer cable de este tipo que operó para fines comerciales, fué instalado en Londres en 1932. Se trataba de un cable trifásico con aislamiento de papel impregnado en aceite y aislado para 33 KV con una longitud de 4 Km. fué re

cubierto con una capa de plomo en forma triángular e introducido en una tubería de acero, la cual se llenó de nitrógeno a una presión de 14 Kg/cm². y se operó a 66 KV. Este cable estuvo operando a pesar de los intensos bombardeos ocurridos en la segunda guerra mundial. Sin embargo, la protección en la tubería de acero contra la corrosión fué inadecuada y se tuvo que retirar la instalación.

En Europa se siguió experimentando, siendo el Dr. D. M. Robinson quien hizo una instalación experimental de un cable a compresión a 66 KV, en Londres. Durante tres años de prueba continua bajo distintos tipos de carga y sobrevoltaje, encontró que el sistema era completamente satisfactorio, a excepción del tubo de acero cuya protección no era adecuada y la corrosión no pudo ser eliminada.

Más tarde se llevó a cabo otra instalación experimental con un cable de 260 KV y una longitud de 100 m. Se obtuvo un gradiente máximo de ruptura de 400 volts/milésima de pulgada. Sin embargo, penetró la humedad en una unión lo que originó una falla. En esta misma instalación se usó otro cable con menor aislamiento y un gradiente de ruptura de 425 - volts/milésima de pulgada.

En Alemania, a pesar de la guerra, se llevaron a cabo 14 instalaciones hasta 1940; el número de cables instalados al término de la guerra era de 24, de los cuales 9 eran cables de 100 KV. o más. En Inglaterra sólo se instalaron 8 cables hasta antes de la guerra de los cuales uno era de 260 KV, pero de corta longitud. No obstante la guerra, muy pocas instalaciones de este tipo fueron dañadas. La mayoría de las instalaciones Europeas siguen operando satisfactoriamente y con poco mantenimiento.

En Estados Unidos de Norte América, las instalaciones de este tipo no fueron aceptadas en un principio, debido a que la economía de los sistemas de cables en tuberías no había sido plenamente demostrado y, además, porque no se había encontrado un procedimiento adecuado para proteger el tubo contra la corrosión. En 1934 se instaló un cable en el que se observó solamente una ligera corrosión en el tubo. Más tarde en 1940 se instaló un cable de 138 KV. con resultados similares al anterior.

No fué sino hasta 1951 que se empezó a utilizar este tipo de instalaciones en México siendo los primeros cables subterráneos los que unen a las subestaciones Nonoalco, San

Lázaro y Jamaica y a las subestaciones Narvarte, Condesa y Tacubaya con un voltaje nominal de 85 KV. y, salvo algunos problemas relacionados con la corrosión del tubo, los cables aún se encuentran operando actualmente. En 1964 la Cfa. de Luz y Fuerza instaló cables con cubierta de polietileno protegiendo al tubo contra la corrosión. Estos cables unen a las subestaciones Indianilla, Jamaica, Verónica y Morales.

La experiencia obtenida en este tipo de instalaciones ha permitido la construcción de cables subterráneos para mayores tensiones, con lo que se aumenta la capacidad de transmisión facilitando la expansión de la red de distribución dentro de la Ciudad de México, así como también su utilización en la alimentación directa de las grandes industrias que se localizan dentro de esta ciudad.

I.2 GENERALIDADES

Introducción.- El avance tecnológico en la fabricación de conductores eléctricos, ha permitido mejorar las instalaciones subterráneas teniendo principalmente dos aislamientos del tipo seco para cables de alta y baja tensión, --

mismos que han desplazado a los aislamientos de papel impregnado en aceite. Estos aislamientos han reducido el costo de los conductores, y han simplificado su manejo, instalación y elaboración de empalmes y terminales.

Definición.- Se denomina cable en general, al conjunto formado por uno o varios conductores enlazados helicoidalmente entre sí, adecuadamente aislados y provistos de uno o más recubrimientos protectores.

1.2.1 Forma de los conductores:

- a) Redonda.
- b) Sectoral.
- c) Anular.
- d) Segmental.

a) Un conductor redondo es un alambre o un cable cuya sección transversal es substancialmente circular. Se utiliza tanto en cables monoconductores como en cables Multi-conductores y con cualquier tipo de aislamiento. (Fig. 1.1a).

Los cables redondos pueden formarse de diferentes ma

neras y con diferente número de alambres. El tipo más sencillo es el "cable en haz", cuyos alambres van reunidos al azar como en un haz. Sólo se emplea, sin embargo, cuando el cable lleva un gran número de alambres y estos son de pequeño diámetro. (Fig. 1.1b).

Cuando los alambres son de mayor diámetro el torcido de los mismos se efectúa generalmente en capas concéntricas alrededor de un núcleo central de 1 o más alambres. El cable resultante recibe el nombre de: "cable concéntrico". (Fig. 1.1c).

Cuando la sección del conductor o la flexibilidad de seada hagan impráctica la aplicación de todos los alambres en capas concéntricas, se recurre al tipo de cableado conocido por "calabrote" que consiste en torcer ya no alambres sino cables previamente formados y que reciben el nombre de torones. (Fig. 1.1d).

Con frecuencia es conveniente reducir el diámetro de un cable concéntrico (sobre todo en calibres grandes) para ahorrar material de aislamientos, revestimientos, etc., del cable. Esto puede lograrse comprimen

do el cable a través de un dado cónico. El resultado es el "cable redondo compactado". (Fig. 1.1c).

- b) Un cable sectoral es un conductor formado por un cable cuya sección transversal es substancialmente un sector de círculo. Se utilizan principalmente en cables de energía trifásicos con aislamiento de papel impregnado. En estos cables los conductores sectorales implican un gran ahorro de llenadores, además de que reducen considerablemente el diámetro sobre la reunión de las tres almas, permitiendo reducciones considerables en el plomo y revestimientos protectores. (Fig. 1.1f).

Comparando los cables con conductores sectorales con los equivalentes con conductores redondos encontramos que los primeros presentan las siguientes ventajas sobre los segundos:

- a) Menor diámetro.
- b) Menor peso.
- c) Costo más bajo.

Pero tienen en cambio estas desventajas:

- a) Menor flexibilidad.
- b) Mayor dificultad de ejecución de uniones.

Sin embargo, la experiencia demuestra, que los cables sectorales pueden manejarse e instalarse sin dificultades.

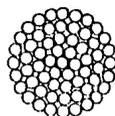
- c) Los cables anulares, formados por alambres torcidos alrededor de un núcleo central de cuerda textil, espiral, metálica, etc., se emplean en calibres superiores a 1000 MCM. en los cuales el efecto superficial (SKIN EFFECT) es considerable. Con la forma anular del conductor se aprovechó más eficientemente el cobre. (Fig. 1.1g).
- d) Los conductores segmentales, se utilizan también en conductores de calibres grandes y que transportan altas corrientes (500 Amps o más). Estos conductores están divididos en cuatro segmentos separados entre sí por cintas aislantes, de manera que al dividir al conductor grande en conductores más pequeños se reduzca el efecto superficial. (Fig. 1.1h).



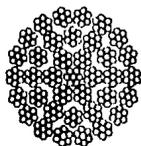
Conductor sólido
(a)



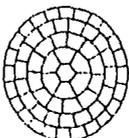
Cable en haz
(b)



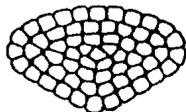
Cableado concéntrico
(c)



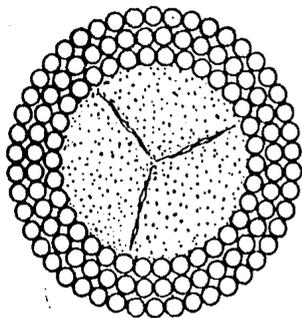
Calabrote
(d)



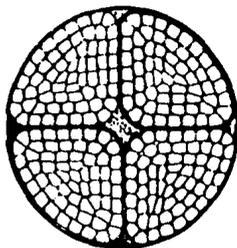
Cable redondo compacto
(e)



Cable sectorial
(f)



Cable anular
(g)



Cable segmental
(h)

FIG. 1.1 FORMA DE LOS CONDUCTORES.

Presentan la gran ventaja sobre los conductores anulares de tener un diámetro mucho menor. Además, como cada alambre de los segmentos cableados individualmente se transporta en forma alternativa del exterior al interior del conductor, la resistencia a la C.A. del conjunto es menor y por consiguiente la capacidad de conducción de corriente es mayor.

1.3 TIPOS DE CABLES SUBTERRANEOS DE POTENCIA

1.3.1 Descripción de un cable de energía típico. La función primordial de un cable de energía aislado, es la de transmitir energía eléctrica a una corriente y tensión preestablecidas, durante cierto tiempo. Es por ello que sus elementos primordiales deben de estar diseñados para soportar el efecto combinado producido por estos parámetros.

Los elementos constructivos de un cable subterráneo son:

- a) El conductor, por el cual fluye la corriente eléctrica.

- b) El aislamiento, que soporta la tensión aplicada.
- c) La cubierta que proporciona la protección contra el ataque del tiempo y los agentes externos.

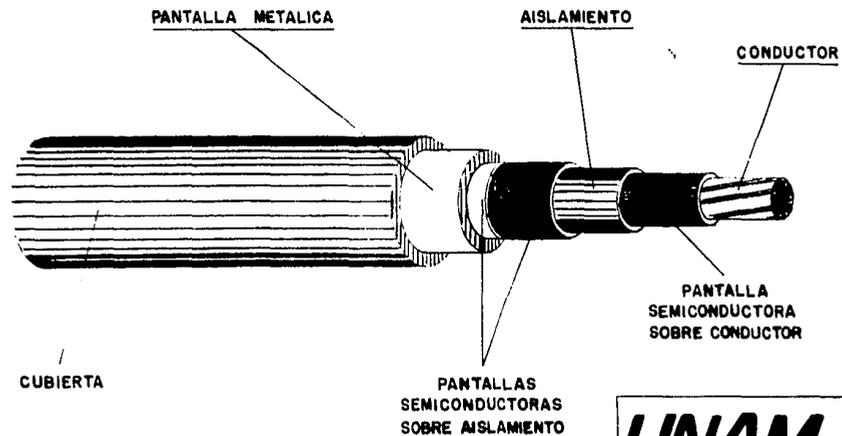
Un cuarto elemento fundamental en la operación correcta de un cable de energía son las pantallas, que como función principal permiten una distribución de los esfuerzos eléctricos en el aislamiento en forma radial y simétrica.

Finalmente, sobre los elementos anteriores y cuando es deseable dar protección adicional al cable contra agentes externos y/o esfuerzos de tensión extraordinarios, se usan las armaduras metálicas.

El cable por su formación final podrá ser unipolar (Fig. 1.2) o tripolar (Fig. 1.3), según el número de conductores que tenga.

En el caso de cables tripolares, los espacios dejados entre fases se ocupan con rellenos aislantes.

A continuación se dará una descripción de los cables anteriores (Fig. 1.2 y Fig. 1.3) que son cables de energía aislados con papel impregnado y forro de plomo, que son los



CABLE DE ENERGIA UNIPOLAR AISLADO PARA
MEDIA TENSION 35 KV.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

**CABLE SUBTERRANEO
TIPO TUBO A 230 KV**

JOSE RAMON ESCALANTE JAIMES

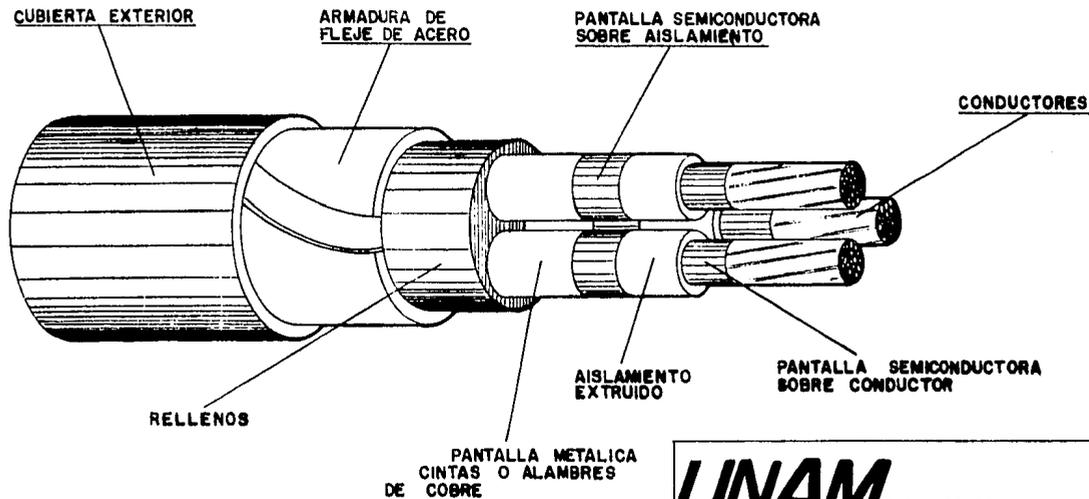
CAPITULO No. 1

FIGURA No. 1.2

que actualmente usa la Compañía de Luz y Fuerza del Centro para mediana tensión. Esta descripción es para hacer una comparación entre los elementos que constituyen uno y otro tipo de cable.

De la Fig. 1.3 tenemos un cable tripolar con conductor redondo normal y sectorial de cobre suave, cinta de papel semiconductor sobre el conductor, aislamiento de papel impregnado en aceite y una cintura de cintas de papel sobre el conjunto; un forro de plomo que garantiza la hermeticidad del cable contra la entrada de humedad y cubierta exterior de polietileno negro que es resistente a la intemperie y a agentes químicos. La aplicación principal de este cable es en sistemas de 35 KV, en circuitos troncales subterráneos. Normalmente va instalado en ductos de asbesto-cemento.

En la Fig. 1.2 nos muestra un cable monopolar con conductor redondo normal de cobre suave, cinta de papel semiconductor sobre el conductor y aislamiento de papel impregnado en aceite; la pantalla sobre el aislamiento está formada por una cinta de papel semiconductor y una cinta de papel intercalada con una cinta de cobre. El forro de plomo sobre la pantalla metálica protege al cable de la entra-



CABLE DE ENERGIA TRIPOLAR AISLADO
PARA MEDIA TENSION 35 KV.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

**CABLE SUBTERRANEO
TIPO TUBO A 230 KV**

JOSE RAMON ESCALANTE JAIMES

CAPITULO No. 1

FIGURA No. 1.3

da de humedad. La cubierta exterior es de polietileno negro, resistente a los agentes químicos y a la intemperie.

1.3.2 Cable tipo tubo para 100, 115 y 230 KV. Según se expresa en la Fig. 1.4 y Fig. 1.5, estos cables están constituidos por cables con aislamiento de papel impregnado, colocados en el interior de un tubo de acero, directamente enterrado en el suelo. Al instalar el cable en el tubo de acero, se le retira una protección de plomo de que está provisto -- temporalmente. Cuando el cable está instalado, se hace el vacío en el sistema de tuberías, introduciendo después el -- aceite fluido, previamente secado y desgasificado, a la presión de 14 Kg/cm². Para mantener esta presión y las reservas de aceite, se necesita un equipo especial. El tubo de -- acero, con sus uniones soldadas, se recubre exteriormente -- con una cubierta asfáltica para evitar la corrosión.

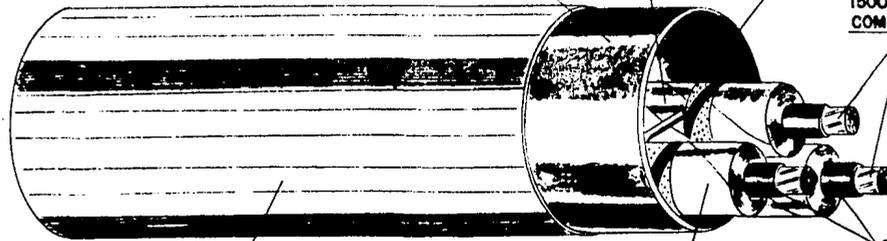
El efecto de un cable con aceite fluido a presión es está indicado en la Fig. 1.6, en la que se presentan las curvas de perforación en función del tiempo de funcionamiento -- para un mismo cable, con presión exterior o sin ella. Si no existe presión, el cable puede resistir, durante corto tiempo, intensidades de campo hasta 40 KV/mm. Si la carga es --

TUBO DE ACERO SEGUN ESPECIFICACIONES DE LA API-5L GRADO "A", DE 219.1mm (8 5/8") DE Ø EXTERIOR Y 206.4 mm (8 1/8") DE Ø - INTERIOR.

RECUBRIMIENTO INTERIOR ANTICORRO-SIVO DE RESINA EPOXY (INTER-LINE)

CINTA DE Cu.

CONDUCTOR DE Cu. DE 1500 MCM, SECCION CIRCULAR COMPACTADA



PANTALLA DE PAPEL SEMI-CONDUCTOR DE CARBON NEGRO.

AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO

CUBIERTA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD COLOR AMARILLO DE ALTA RESISTENCIA A LA ABRASION Y A LA HUMEDAD, SOBRE UNA BASE ADHESIVA DE HULE MODIFICADO COLOR-- NEGRO.

CABLE 1500 MCM PARA 230 KV.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

**CABLE SUBTERRANEO
TIPO TUBO A 230 KV**

JOSE RAMON ESCALANTE JAIMES

CAPITULO No. 1

FIGURA No. 1.4

TUBO DE ACERO SEGUN ESPECIFICACIONES DE LA API-5L, GRADO "A", DE 219.1mm (8 5/8") DE DIAMETRO EXTERIOR Y 208.4mm (8 1/8) DE DIAMETRO INTERIOR.

RECUBRIMIENTO INTERIOR ANTICORROSIVO DE RESINA EPOXY (INTER-LINE)

CUBIERTA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD COLOR AMARILLO DE ALTA RESISTENCIA A LA ABRASION Y A LA HUMEDAD, SOBRE UNA BASE ADHESIVA DE HULE MO DIFICADO, COLOR NEGRO.

MEDIO DE COMPRESION: ACEITE AISLANTE "SUN # 6 ELECTRICAL INSULATING OIL" DE LA SUN OIL CO. A 14 KG/cm² DE PRESION.

2 ALAMBRES DE LATON RECOCIDO PARA DESLIZAMIENTO DE 100 x 200 MILS (2.54 x 5.08 mm).

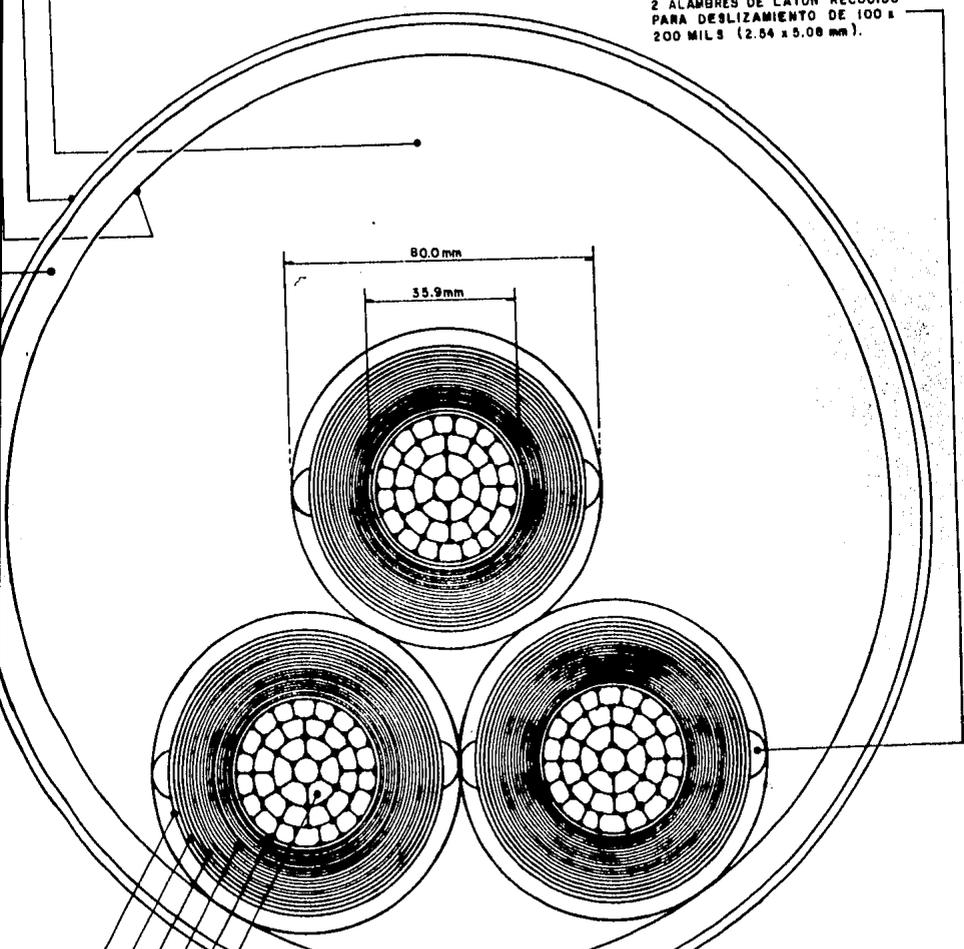


FIG No. 1.5 CABLE 1500 MCM PARA 230 KV.

CONDUCTOR DE Cu. DE 1500 MCM, SECCION CIRCULAR COMPACTA.
PANTALLA DE PAPEL SEMICONDUCTOR DE CARBON NEGRO.

AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO 385 MILS (9.63mm) (INCLUYENDO 10 MILS (0.25 mm) C.N.).

PAPEL SEMI-CONDUCTOR DE CARBON NEGRO.

CARBON NEGRO EN HOJA DE ASIENTO

PAPEL DE CARBON NEGRO

CINTA DE Cu SIN PERFORAR

CINTA POLIESTER "MYLAR" EN HOJA DE ASIENTO

INTERCALADAS

INTERCALADAS

PANTALLA DEL AISLAMIENTO

más permanente, el esfuerzo ha de rebajarse, ya que la ionización producida, necesita más o menos tiempo para provocar la perforación eléctrica. El valor estacionario se consigue aproximadamente, a unos 16 KV/mm; sin embargo, y por razones de seguridad, en la práctica se admite una intensidad de campo de 4 KV/mm. Si el cable está sometido a 15 Kg/cm², la correspondiente curva de perforación en función del tiempo, es más alta y en ella, el valor estacionario se alcanza a 40 -- Kg/mm. Es decir, que el cable a presión admite cargas eléctricas mucho más elevadas y, además, resulta que no están sometidos a las limitaciones de temperatura que exigen los cables convencionales; efectivamente, mientras en éstos no se puede pasar de una sobre temperatura de 25°C, en los cables de aceite a presión, se pueden admitir sobretemperaturas de servicio de 60° a 80°C. Por lo tanto, para una misma sección los cables de aceite a presión soportan una corriente 50% mayor que los cables convencionales.

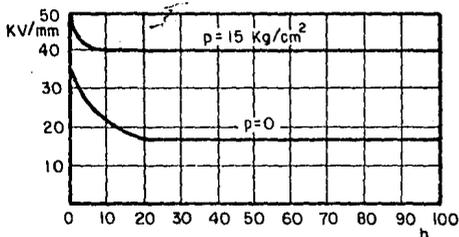


Fig. 1.6.- Curvas de perforación en función del tiempo de funcionamiento de un cable subterráneo convencional, aislado con papel impregnado y de un cable subterráneo aislado con papel impregnado de aceite a presión.

a) DATOS CONSTRUCTIVOS Y DE INST.

Calibre	DIAMETRO				DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA			VOLUMEN DE ACEITE		
	Conductor	Total (mm)			Pulgadas			L/m		
		mm	100 kV	115 kV	230 kV	100 kV	115 kV	230 kV	100 kV	115 kV
350	15.6		43			4.026			4.5	
500	18.7		46			6.047			8.6	
800	23.8	49	51		5.047	5.047		8.1	7.5	
1000	26.9	52	54	72	5.047	5.047	8.125	7.2	6.8	22.4
1500	35.9		63	80		6.125	8.125		10.6	19.5

b) CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Calibre	Resistencia CD y 25°C	Reactancia Capacitiva			Reactancia Inductiva (+)		
		Ohms - km			Ohms/Km		
		100 kV	115 kV	230 kV	100 kV	115 kV	230 kV
MCM	Ohms/km						
350	0.101		10372			0.170	
500	0.071		9139			0.160	
800	0.044	7530	8200		0.145	0.148	
1000	0.035	6870	6948	10885	0.142	0.144	0.170
1500	0.024		5541	8763		0.131	0.151

Condiciones para el cálculo de corriente:
 Temperatura del conductor..... 85°C
 Temperatura del terreno..... 25°C
 Temperatura de interfase..... 60°C
 Resistividad térmica del terreno..... 120°C-cm/watt
 Profundidad enterrada..... 1.20 m
 Factor de carga..... 75%
 Número de circuitos..... 1 y 2

+ Calculada para una configuración triangular y para las tuberías indicadas.

c) CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE (AMPERES)

Calibre	100 kV				115 kV				230 kV			
	Tc 85°C		Ti 60°C		Tc 85°C		Ti 60°C		Tc 85°C		Ti 60°C	
	Tc 85°C	Ti 60°C										
350					324	321	298	278				
500					401	393	366	337				
800	519	489	471	420	516	490	468	420				
1000	587	545	531	467	578	540	523	462	552	549	488	441
1500					728	662	649	558	672	632	584	500

1.3.3 Cables de aceite a baja presión. En estos cables, para relleno de los huecos que puedan producirse entre el aislamiento de papel impregnado y la envoltura metálica, no se emplea masa de impregnación sino un aceite fluido a la temperatura normal que, por diversos procedimientos, puede inyectarse a presión sobre los aislamientos de papel, impregnando completamente éstos y los huecos entre ellos y la envoltura metálica.

En los cables de aceite a baja presión se inyecta -- aceite a una presión interior a 3 kg/cm². en régimen normal, que puede llegar a 5 kg/cm². en casos de puesta en carga repentina, a partir del estado frío. El aceite se inyecta en unos canales a lo largo de los cuales puede fluir el aceite. Si el cable se calienta y, como consecuencia, el aceite se dilata, éste puede pasar a unos depósitos de expansión, distribuidos uniformemente a lo largo de la línea (cada 300 a 500 m.); esquemáticamente, estos depósitos están constituidos como se representa en la Fig. 1.7. Cuando entra aceite en ellos, los cuerpos metálicos, en forma de cápsulas membranosas, que están en su interior, ceden (posición que se ha señalado (con trazos en la Fig.), con lo que aumenta la presión

del aceite.

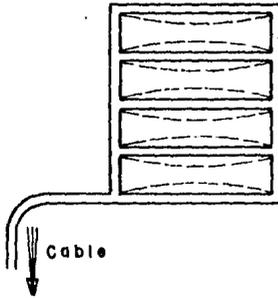


Fig. 1.7.- Dibujo esquemático de un depósito de expansión para cables subterráneos de aceite fluido a presión.

Cuando el cable se enfría, el aceite, sometido a presión en el depósito de expansión, vuelve a penetrar en el cable, rellenándolo completamente, sin que queden huecos.

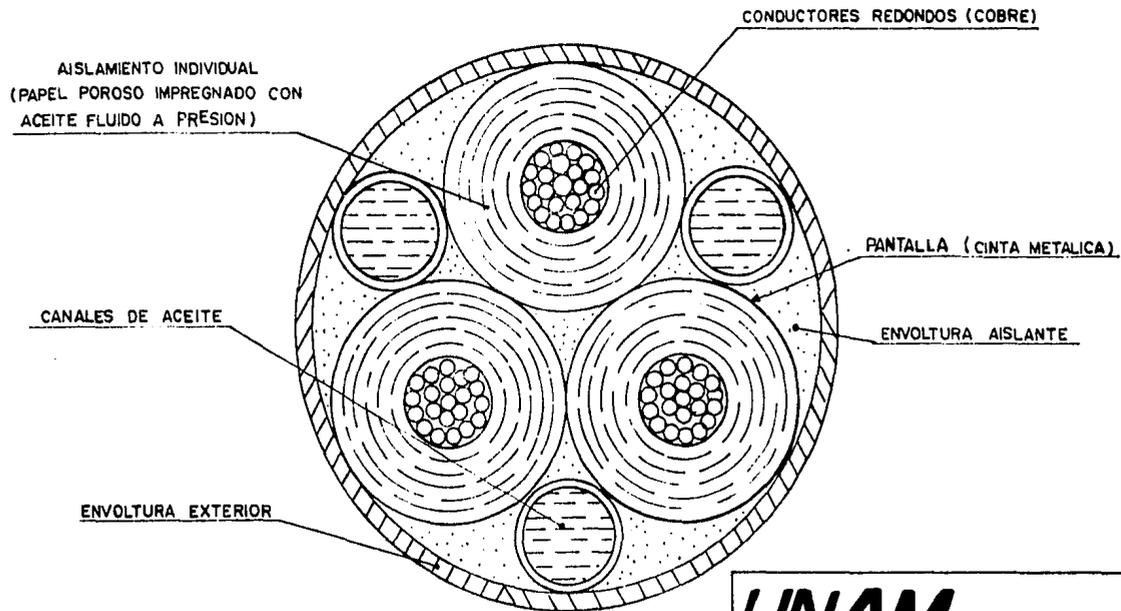
Aunque estos cables solamente se han empleado para tensiones superiores a 85 KV, puede ser interesante su aplicación a tensiones inferiores a la citada, sobre todo para grandes intensidades, ya que exigen menor espesor de aislamiento y, como admiten una temperatura de servicio más elevada, a igualdad de corriente necesitan una sección más reducida que los cables aislados con papel impregnado; por lo tanto, para una potencia y tensión dadas, su peso resulta más reducido que el de los cables con aislamiento de papel impreg

nado.

Para tensiones de servicio entre fases comprendidas entre 24 KV y 85 KV, en las que resulta posible el cable tripolar, la disposición de los canales de aceite es la expresada en la Fig. 1.8, es decir, en los espacios entre conductores; la constitución de este cable es la siguiente:

1. Conductores redondos de cobre.
2. Aislamiento individual de los conductores de papel poroso impregnado con aceite fluído a presión.
3. Pantalla constituida por una cinta metálica arrollada en hélico.
4. Envoltura aislante, rellena de aceite fluído a presión.
5. Canales de aceite, provistos de aberturas para permitir que el aceite penetre en el aislamiento.
6. Envoltura exterior de plomo.

Para tensiones de servicio entre fases, comprendidas entre 23 KV y 230 KV, se emplean cables unipolares huecos, -



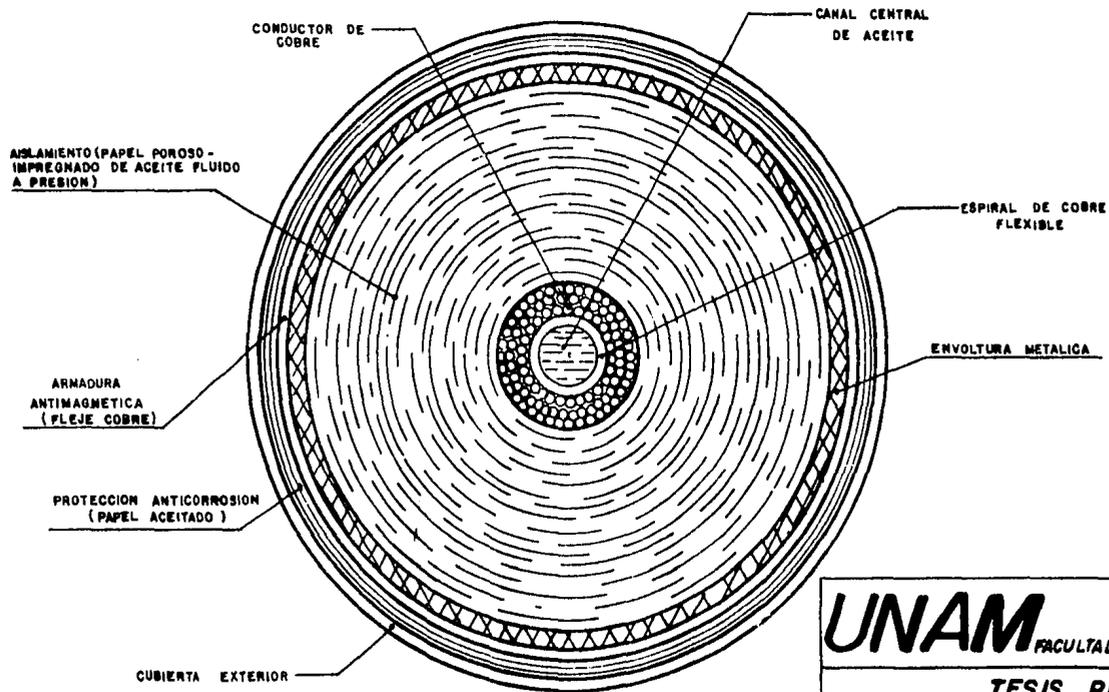
SECCION TRANSVERSAL DE UN CABLE SUBTERRANEO TRIPOLAR, DE ACEITE-
 FLUIDO A BAJA PRESION, PARA TENSIONES DE SERVICIO DE 20KV A 70KV.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
CABLE SUBTERRANEO TIPO TUBO A 230 KV	
JOSE RAMON ESCALANTE JAMES	CAPTULO No. 1
	FIGURA No. 1.8

constituídos según se expresa en la Fig. 1.9:

1. Canal central de aceite fluído a presión.
2. Espiral de cobre flexible, que forma la pared del canal anterior.
3. Conductor de cobre, distribuyéndose los hilos en corona alrededor de la espiral de cobre flexible.
4. Aislamiento de papel poroso, impregnado de aceite fluído a presión.
5. Envoltura metálica de plomo.
6. Armadura no magnética, constituida por fleje de cobre arrollado en hélice.
7. Protección anticorrosiva, constituida por varias capas de papel aceitado.
8. Cubierta exterior, de plomo.

El cable representado en la Fig. 1.9 se conoce con el nombre de cable Pirelli, por ser esta firma quien lo fabrica bajo patentes. El aislamiento ha de ser de papel espe



CORTE EN SECCION TRANSVERSAL DE UN CABLE SUBTERRANEO UNIPOLAR,
DE ACEITE FLUIDO A BAJA PRESION, PARA TENSIONES DE SERVICIO
DE 20 KV A 220 KV

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
CABLE SUBTERRANEO
TIPO TUBO A 230 KV

JOSE RAMON ESCALANTE JAIMES

CAPITULO No. 1

FIGURA No 1.9

cial; para muy altas tensiones, las primeras capas son de papel muy fino (0.04 mm.), llegándose a las exteriores a espesores de 0,1 a 0,15 mm; para 230 KV, el espesor total del aislamiento es de unos 25 mm.

El cable así aislado se seca por un calentamiento en alto vacío, y se recubre con un manguito de plomo. El aceite, previamente filtrado y desgasificado, se inyecta al vacío en el cable bajo plomo, mantenido en el horno de secado. Después de la impregnación a fondo, se cierra el extremo exterior y se conecta el otro extremo con un depósito compensador de aceite. Finalmente, el cable se encinta con el fleje de cobre, constituyendo la armadura, y se recubre después -- con los demás revestimientos protectores. Se suelen fabricar en longitudes de 250 m.

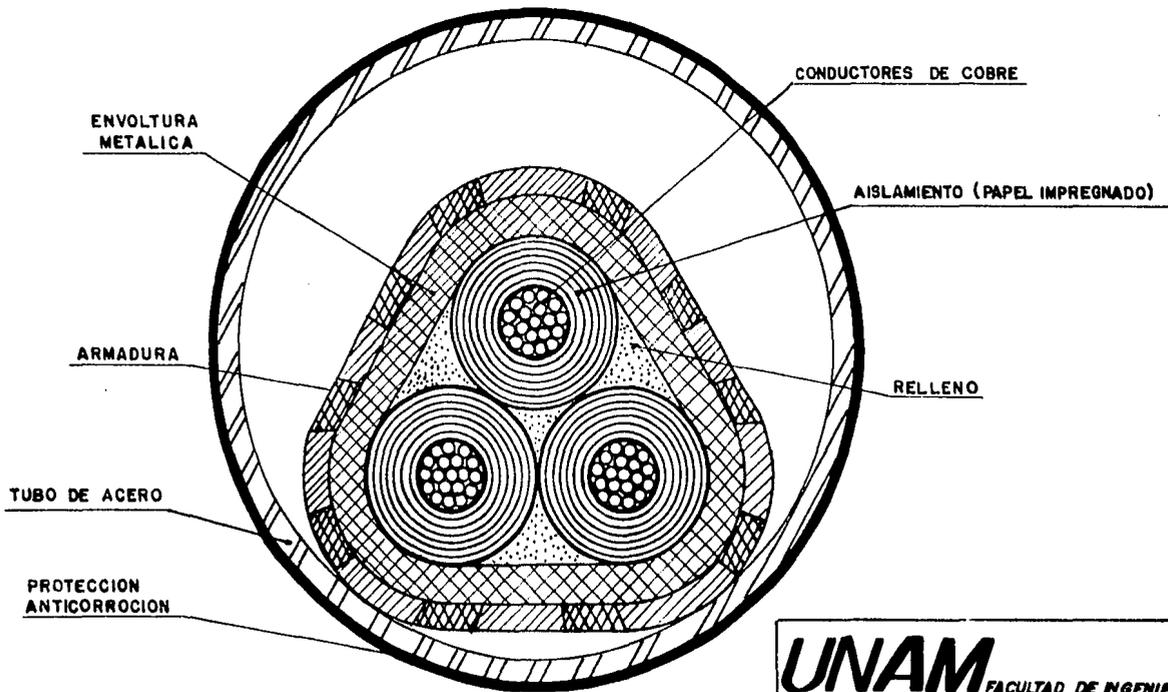
1.3.4 Cable de gas a presión. En estos cables se inyecta sobre el aislamiento un gas inerte a presión, generalmente, nitrógeno. Comparados con los de aceite a presión, tienen la ventaja de no necesitar depósitos de expansión; por otro lado, presentan el inconveniente de que, a igualdad de corriente, precisan de mayor sección conductora, ya que la conductividad térmica del nitrógeno es mayor que la del aceite y, --

por lo tanto, se hace más difícil la evacuación del calor.

Los cables de gas de presión interior se emplean, sobre todo, en Inglaterra, para tensiones de servicio entre fases hasta 225 KV. Consisten en cables con aislamiento de papel impregnado, arrollado de forma especial, y bajo una cubierta de plomo armado. Sobre el dieléctrico se inyecta directamente nitrógeno a una presión de 15 Kg/cm². La intensidad de campo máximo admisible es de unos 10 KV/mm.

En los cables de gas a presión exterior (Fig.1.10) - se introducen los cables con aislamiento de papel impregnado en un tubo de acero, en el que se inyecta nitrógeno a la presión de 14 a 15 Kg/cm²., ya que esta presión, actuando desde el exterior sobre el aislamiento, impide la formación de espacios vacíos. El sistema de construcción admite distintas variantes:

- 1.- 3 Cables individuales bajo envoltura de plomo, de forma ovalada, encerrados en un tubo común de acero.
- 2.- 3 Cables individuales con cubierta de polietileno, encerrados en un tubo común de acero.



SECCION TRANSVERSAL DE UN CABLE SUBTERRANEO TRIPOLAR DE GAS
DE PRESION EXTERIOR

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

**CABLE SUBTERRANEO
TIPO TUBO A 230 KV**

JOSE RAMON ESCALANTE JAIMES

CAPITULO No. I

FIGURA No. 1.10

- 3.- 1 Solo cable bajo envoltura ovalada de plomo y con una cubierta del mismo material, fuertemente armada, para la introducción del gas a presión entre la envoltura y la cubierta.

1.4 RED SUBTERRANEA DE 230 KV DE LA CD.DE MEXICO

Debido a las crecientes necesidades eléctricas que demanda una Ciudad como la nuestra. Las líneas de distribución y transmisión existentes serán en un momento dado insuficientes; por lo cual la Compañía de Luz y Fuerza (C.L.y F.) ha realizado un anteproyecto de líneas de transmisión subterráneas. Este anteproyecto, consiste en interconectar las distintas subestaciones de 230 KV que se encuentran en la Ciudad y sus alrededores por medio de cables tipo tubo.

En algunos casos se tiene proyectado instalar cables de 1000 MCM y 1500 MCM de acuerdo a las características y necesidades planteadas para cada circuito.

Se tienen proyectadas 4 líneas de transmisión subterráneas con cable tipo tubo, que se sumarán a las ya existen

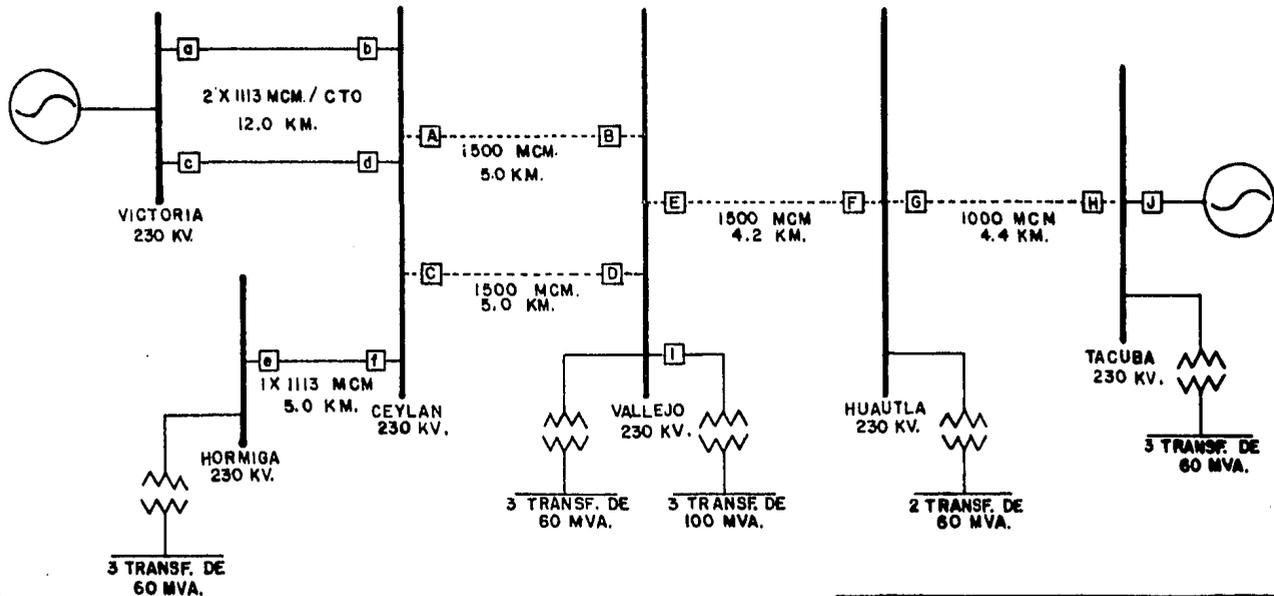
tes y a las 2 líneas que se encuentran en construcción actualmente.

En los siguientes diagramas unifilares que se muestran a continuación (Figs. 1.11, 1.12, 1.13 y 1.14) se observa la interconexión desde las plantas generadoras a través de sus líneas de transmisión aéreas. Hasta las subestaciones receptoras, las cuales por medio de líneas aéreas o subterráneas se conectan a otras subestaciones de la misma tensión.

Por otro lado, la realización de este anteproyecto por parte de (C.L. y F.), está considerado a corto plazo: aproximadamente de 5 a 7 años.

En la tabla 1.1 se encuentra resumida la información que contienen los diagramas unifilares.

Como podemos darnos cuenta la importancia que se le está dando a este tipo de líneas de transmisión subterráneas se ha incrementado, ya que el hecho de planear las expansiones de la red con este tipo de cables, hace ver la necesidad de estudiar más a fondo este tipo de instalaciones. Por lo tanto de llevarse a cabo este anteproyecto se tendrán cubiertas casi en su totalidad las necesidades eléctricas de esta Cd.



----- LINEAS SUBTERRANEAS
 _____ LINEAS AEREAS

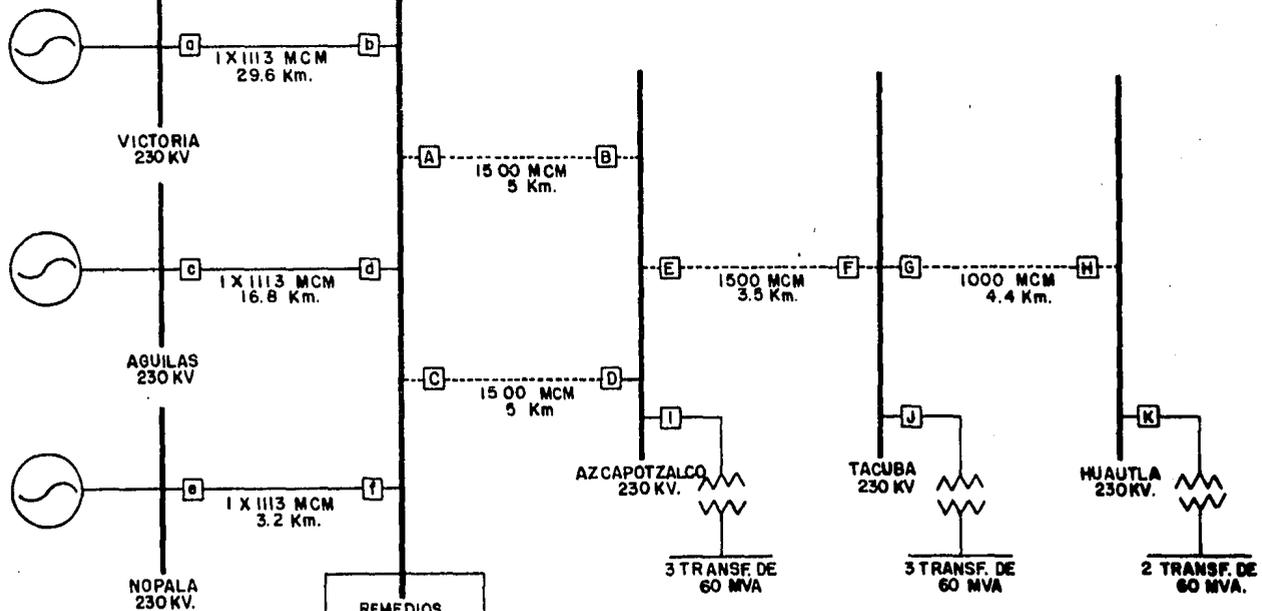
UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
CABLE SUBTERRANEO
TIPO TUBO A 230 KV

JOSE RAMON ESCALANTE JAIMES

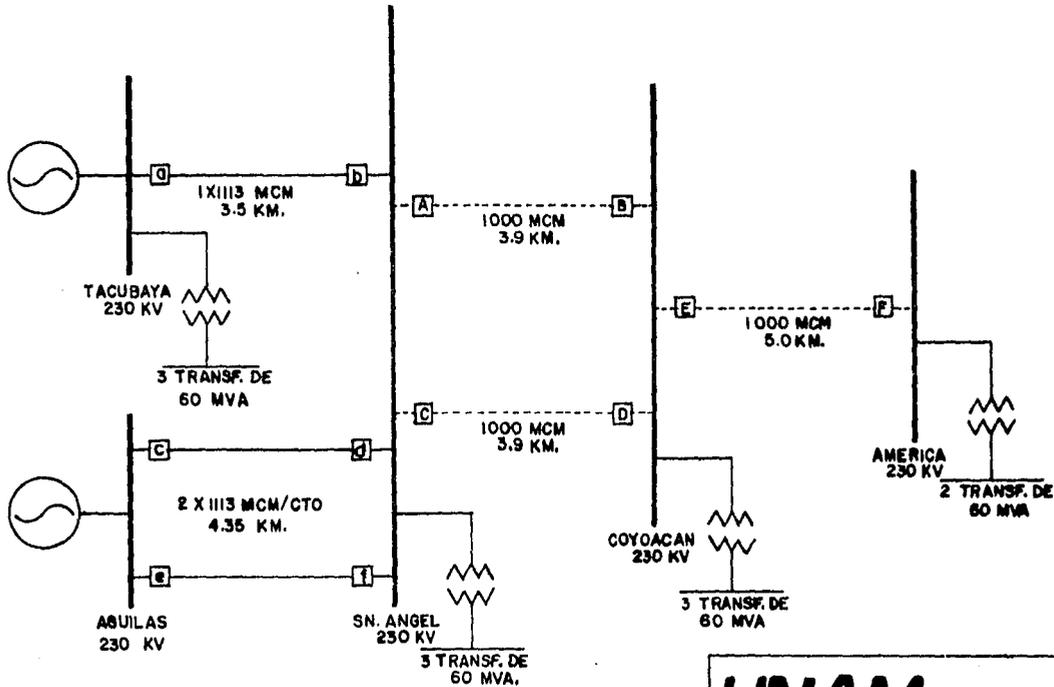
CAPITULO No. 1

FIGURA No. 1.11



----- LINEA SUBTERRANEA
 _____ LINEA AEREA.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
CABLE SUBTERRANEO TIPO TUBO A 230 KV	
JOSE RANON EDCALANTE JAMES	CAPITULO No. 1
	FIGURA No. 1.12



----- LINEAS SUBTERRANEAS
 _____ LINEAS AEREAS

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

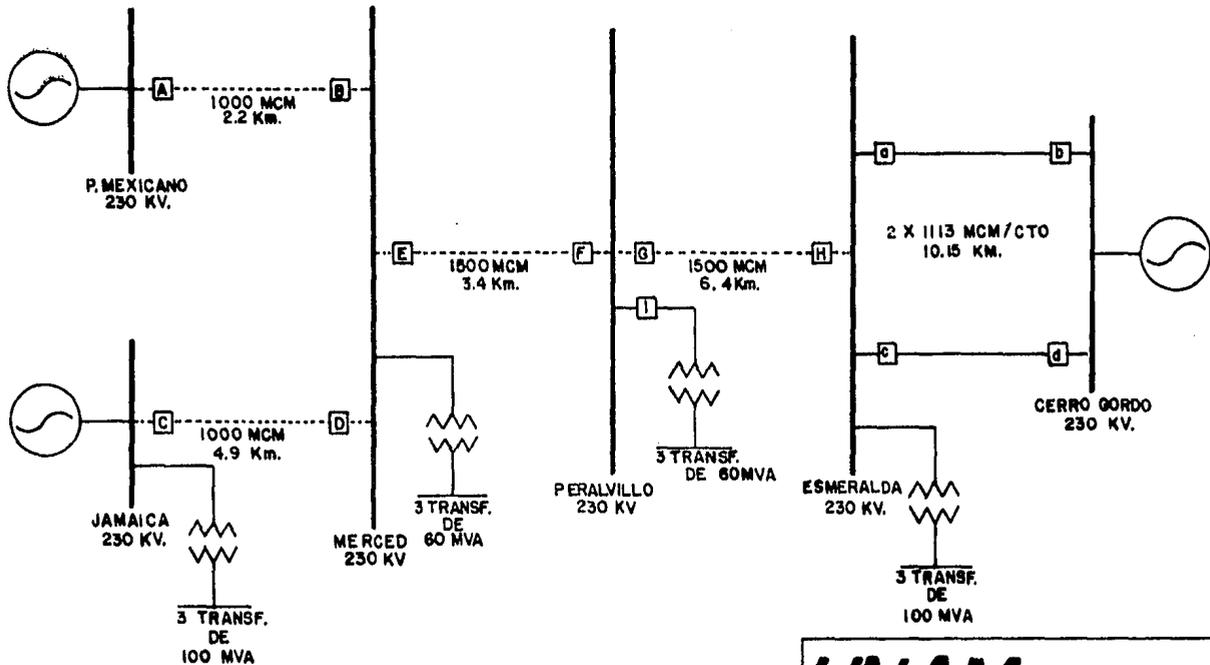
TESIS PROFESIONAL

**CABLE SUBTERRANEO
 TIPO TUBO A 230 KV**

JOSE RAMON ESCALANTE JAMES

CAPITULO No. 1

FIGURA No. 1.13



----- LINEAS SUBTERRANEAS

———— LINEAS AEREAS

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
CABLE SUBTERRANEO
TIPO TUBO A 230 KV

JOSE RAMON ESCALANTE JAMES

CAPITULO No. 1

FIGURA No. 1.14

ENTRE SUBESTACIONES	TENSION DE OPERACION KV	CALIBRE DEL CONDUCTOR MCM	LONGITUD DEL CIRCUITO KM	NUMERO DE CIRCUITOS	TIPO DE LINEA DE TRANSMISION	OBSERVACION
* VICTORIA - CEYLAN	230	1113	12	2	AEREA	EXISTENTE
HORMIGA - CEYLAN	230	1113	5	1	AEREA	EXISTENTE
CEYLAN - VALLEJO	230	1500	5	2	SUBTERRANEA	EXISTENTE
VALLEJO - HUAUTLA	230	1500	4.2	1	SUBTERRANEA	PROYECTO
TACUBA - HUAUTLA	230	1000	4.4	1	SUBTERRANEA	PROYECTO
TACUBA - AZCAPOTZALCO	230	1500	3.5	1	SUBTERRANEA	PROYECTO
AZCAPOTZALCO - REMEDIOS	230	1500	5	2	SUBTERRANEA	EXISTENTE
VICTORIA - REMEDIOS	230	1113	29.6	1	AEREA	EXISTENTE
AGUILAS - REMEDIOS	230	1113	16.8	1	AEREA	EXISTENTE
NOPALA - REMEDIOS	230	1113	3.2	1	AEREA	EXISTENTE
AGUILAS - SN. ANGEL	230	1113	4.35	2	AEREA	EXISTENTE
TACUBAYA - SN. ANGEL	230	1113	3.5	1	AEREA	EXISTENTE
SN. ANGEL - COYOACAN	230	1000	3.9	2	SUBTERRANEA	EXISTENTE
COYOACAN - AMERICA	230	1000	5	1	SUBTERRANEA	PROYECTO
* P.MEXICANO - MERCED	230	1000	2.2	1	SUBTERRANEA	EXISTENTE
* JAMAICA - MERCED	230	1000	4.9	1	SUBTERRANEA	EXISTENTE
MERCED - PERALVILLO	230	1500	3.4	1	SUBTERRANEA	EN CONSTRUCC.
PERALVILLO - ESMERALDA	230	1500	6.4	1	SUBTERRANEA	EN CONSTRUCC.
* CERRO GORDO - ESMERALDA	230	1113	10.15	2	AEREA	EXISTENTE

TABLA 1.1

C A P I T U L O 2

CABLE TIPO TURO

- 2.1.- ELEMENTOS CONSTITUTIVOS
- 2.2.- PANTALLAS Y AISLAMIENTOS
- 2.3.- ACEITE AISLANTE
- 2.4.- TUBO
- 2.5.- PARAMETROS ELECTRICOS
- 2.6.- CAPACIDAD DE TRANSMISION

2.1 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

2.1.1.- Estructura de los cables subterráneos. Los cables subterráneos se pueden separar en dos secciones importantes: el tubo y el conductor. Las partes constitutivas de estos se dan a continuación:

a) Características del tubo

- Tubo de acero, grado A
- Recubrimiento interior anticorrosivo de resina epoxi.
- Cubierta de polietileno de alta densidad color amarillo de alta resistencia a la tensión y a la humedad, sobre una base adhesiva de hule modificado, color negro.
- Medio de compresión: aceite aislante "Sun #6 Electrical Insulating oil" de la Sun Oil Co. a 14 Kg/cm². de presión.

b) Características del (os) conductor (es)

- Conductor de cobre de 1500 MCM, sección circular

compacta

- Pantalla de papel semiconductor de carbón negro.
- Aislamiento de papel impregnado, 385 Mils (9.78 mm.), incluyendo 10 Mils (0.25 mm.) C.N.
- Papel semi-conductor de carbón negro.
- Carbón negro en hoja de asiento.
- Papel de carbón negro.
- Cinta de Cu sin perforar.
- Cinta poliester "Mylar" en hoja de asiento.
- 2 alambres de latón recocido para deslizarse de 100 x 200 Mils (2.54 x 5.08 mm.)

b.1) Definición:

Un conductor eléctrico es un cuerpo constituido de un material de alta conductividad que puede ser utilizado para transporte de corrientes eléctricas.

En general, un conductor eléctrico se compone de un hilo o alambre de material conductor o de una serie

de alambres cableados que se utilizan desnudos o aislados. Para aplicaciones donde existen grandes tensiones mecánicas, se utilizan además bronces, aceros y aleaciones especiales.

b.2) Cobre:

Elemento químico monovalente, su símbolo químico es Cu. Es un metal sumamente dúctil y maleable de un color rojizo pardo brillante y uno de los mejores conductores del calor y la electricidad. Existe abundantemente en la naturaleza, tanto en estado nativo como formando parte de diversos minerales constituyendo óxidos y sulfuros.

Dentro del cobre usado en conductores eléctricos se distinguen tres temple o grados de suavidad del metal: suave o recocado, semiduro y duro, con propiedades algo diferentes, siendo el cobre suave el de mayor conductividad eléctrica y el cobre duro el de mayor resistencia a la tensión mecánica.

El cobre duro se emplea normalmente para alambres o cables desnudos usados en líneas de transmisión abre

as, en las que se requiere una alta resistencia a la resistencia a la tracción sin importar mucho la flexibilidad, el cobre semiduro se utiliza para los productos en que se requiere una cierta flexibilidad, - pero que además están sujetos a esfuerzos mecánicos de tensión, el cobre suave tiene aplicaciones más generales, ya que su uso se extiende a la fabricación de conductores aislados o no, en los que interesa -- más la alta conductividad eléctrica que la resistencia mecánica.

b.3) Metalurgia del cobre:

En el beneficio del cobre se siguen dos procedimientos de acuerdo a su composición mineral. Los que - contienen cobre nativo o son sulfuros, se someten al proceso de la fundición. Los óxidos se disuelven me diante reactivos adecuados, para recuperarse después el cobre por precipitación y refinación.

El mineral de cobre se funde dos veces, la primera - tiene por objeto obtener la nata del cobre, o sea -- una mezcla de sulfuros de cobre y hierro; ésta opera ción se realiza en hornos de reverbero, la segunda -

tiene por objeto afinar la nata separando el cobre - del azufre y el hierro, esto se consigue fundiéndola en un horno convertidor en presencia de una corriente de aire constante, el azufre se escapa en forma - de SO_2 , y el hierro se convierte en óxido que se -- elimina de la escoria. El producto se conoce como - cobre negro (Blister).

Finalmente, el cobre negro (blister), se somete a la refinación electrolítica, esta se efectúa haciendo - pasar una corriente eléctrica por una solución vitro lo azul (sulfato de cobre $Cu SO_4$), el ánodo lo cons tituye el cobre que se desea refinar y para el cáto- do se utiliza cobre puro, el cobre electrolítico sue le poseer una pureza que fluctúa entre 99.92 y 99.96 por ciento.

2.2 PANTALLAS Y AISLAMIENTOS

2.2.1.- Pantallas eléctricas. En cables de medio y alto vol tajes, la construcción de los cables eléctricos debe incluir las pantallas eléctricas que sirven para controlar la ioniza

ción y para confinar el campo eléctrico al aislamiento del cable.

Se diferencian dos tipos de pantallas eléctricas:

- a) Pantalla sobre conductor, formada por una cinta semiconductor o un compuesto semiconductor (conteniendo negro de humo), que sirve para uniformizar la superficie del conductor, para evitar que queden espacios vacíos ionizables entre conductor y aislamiento y para lograr un gradiente eléctrico uniforme en la superficie del conductor.
- b) Pantalla sobre aluminio, formada generalmente por una cinta conductora de metal no magnético, que sirve para aterrizar la superficie del aislamiento y eliminar el peligro de voltajes superficiales en el cable; al mismo tiempo sirve para confinar el campo eléctrico al aislamiento mismo y con ella también se logra una distribución radial simétrica del campo eléctrico.

Con respecto a la pantalla metálica sobre conductor, cabe recordar que en terminales y empalmes debe hacerse un

cono de alivio para evitar concentración de esfuerzos eléctricos y debe conectarse dicha pantalla a tierra.

2.2.2.- Aislamiento de papel impregnado. Durante muchos años el papel impregnado se ha utilizado como aislamiento de cables eléctricos por sus excelentes propiedades dieléctricas que se traducen en diámetros exteriores menores y garantía de servicio. Aunque en bajos voltajes ha sido reemplazado en parte por los aislamientos sintéticos, en voltajes superiores a 15 KV, sigue considerándose como el aislamiento por excelencia. En voltajes muy altos (230 KV, o mayores) actualmente es el único aislamiento empleado en forma comercial.

Los cables aislados con papel impregnado son muy con fiables; pero, como el papel tiene la desventaja de ser alta mente higroscópico, además de tener una resistencia mecánica pobre, es necesario diseñar una estructura que contrarreste estas desventajas, esto dá por resultado un cable pesado y poco flexible. Por otra parte el fluido, en este caso el aceite impregnante, limita el uso de éstos cables en instala ciones con largos tramos verticales.

Antiguamente se mencionaba como otra desventaja de -

este tipo de aislamiento el hecho de que para sellar las terminales y los empalmes se necesitaban mufas voluminosas y mano de obra especializada. En la actualidad, con la aparición de nuevos y más sencillos tipos de accesorios, este problema se ha minimizado.

2.2.3.- Características del papel impregnado. El papel constituye un conjunto afieltrado de fibras, copos y escamas, - compuesto sobre todo por celulosa, pero que también puede contener materiales orgánicos artificiales, o vidrio, amianto y mica, el papel a base de celulosa es el más empleado. Tiene excelentes propiedades dieléctricas pero, por ser muy higroscópico, la humedad le hace perder sus propiedades aislantes; por esta razón, el papel no puede utilizarse por sí sólo como material aislante, sino que debe de impregnarse de alguna otra sustancia aislante (resinas, aceites, minerales, etc.), y en aceites minerales o algún gas seco a presión. Es de esta forma que se emplea como material aislante en los cables subterráneos.

La impregnación se realiza con aceite fluido similar al de los transformadores (cables en aceite) o con aceite espeso (cables en masa de relleno), constituido por una mezcla

de 75% de aceite mineral y 25% de colofonía, que es una resina natural procedente de los residuos de destilación de la esencia de trementina (aguarras) que se obtiene de las coníferas. El aceite espeso no debe fluir a temperaturas de 40° a 50°C, ni solidificarse a temperaturas inferiores, pero en cambio ha de ser lo suficientemente fluido para permitir una buena impregnación del papel en caliente a 130°C. La tabla 2.1 que sigue a continuación contiene algunas características de los aceites empleados en la impregnación del papel para cable.

TABLA 2.1 CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS ACEITES PARA IMPREGNACION DE PAPEL DE CABLES SUBTERRANEOS

CARACTERISTICAS	ACEITE FLUIDO	ACEITE ESPESO
PESO ESPECIFICO EN gr/cm ³ .	0.865 a 0.885	0.925 a 0.940
VISCOSIDAD A 20°C	28 a 35	2.500 a 3.000
50°C	9 a 10.5	250 a 450
100°C	3 a 3.3	25 a 30
PUNTO DE SOLIDIFICACION EN °C	- 30	- 5
PUNTO DE INFLAMACION EN °C	150 a 170	250 a 270
INDICE DE ACIDEZ	0	0.05
CONSTANTE DIELECTRICA	2	2.17 a 2.31

La masa aislante es consistente pero plástica a la temperatura ordinaria, volviéndose fluída en caliente por lo que el papel la absorbe, rellenoando así todos los intersticios de aire y evitando de esta forma la formación de ozo no por ionización del aire, lo que provocaría una disminu-ción de las propiedades dieléctricas del papel. Para evitar la entrada de humedad, los cables aislados con papel impregnado han de ir provistos de una envoltura metálica de plomo o de aluminio, que rodea las capas aislantes y los extremos de la línea se hacen herméticos mediante los correspondientes manguitos terminales.

En la tabla 2.2 expuesta a continuación, se expresan las más importantes características de papel impregnado para cable:

TABLA 2.2 CARACTERISTICAS TECNICAS DEL PAPEL IMPREGNADO PARA CABLES SUBTERRANEOS

PESO ESPECIFICO SIN IMPREGNAR EN gr/cm ³ .	1.1 a 1.25
PESO ESPECIFICO IMPREGNADO EN gr/cm ³ .	1.43
TENSION EFICAZ PARA ESPESOR DE 0.1 mm.:	

- A 50 HZ, PARA CORTO TIEMPO A 20°C	KV	14
- A 50 HZ, UN MINUTO, A 20°C	KV	10
- A 50 HZ, UN MINUTO, A 90°C	KV	10
CONSTANTE DIELECTRICA		4.0 a 4.3
FACTOR DE PERDIDAS $\text{tg} \delta$		0.0025 a 0.0045

2.2.4.- Características principales de los aislamientos para cables eléctricos. Un material aislante es toda sustancia de tan baja conductividad que la corriente eléctrica a través de ella es prácticamente despreciable.

En relación con la idea anterior, se tiene en cada aislamiento eléctrico una cierta cantidad de características o parámetros que permiten estudiar, evaluar y comparar estos materiales. Por ejemplo los valores mecánicos importantes son: la resistencia a la tensión, la elongación de un material antes y después de someterlo a una prueba de envejecimiento acelerado, así como también su dureza y flexibilidad. Entre las cualidades eléctricas están: la rigidez dieléctrica del material, su resistividad, su factor de potencia y su constante dieléctrica. Otros aspectos importan

tes serán su resistencia al calor, al ozono, a la humedad, a la intemperie, a la luz solar, a los aceites y sus productos químicos.

2.2.5.- Rigidez dieléctrica. La rigidez dieléctrica o gradiente eléctrico de un aislamiento, es igual a la magnitud de la intensidad de campo eléctrico a la cual se perfora. Es decir, es el cociente entre la tensión de perforación o tensión disrruptiva U_d y la distancia d entre las placas - del aislante, o sea:

$$E = \frac{U_d}{d}$$

En un aislamiento cuya sección no cambie a través - de su espesor, estará dada por la relación de voltaje entre espesor KV/cm. Por otro lado en un aislamiento cuya sección transversal cambia a través de su espesor, como es el caso de un cable que tiene un radio mínimo en la vecindad del conductor y máxima en la superficie exterior, el gradiente eléctrico es variable (siendo máximo en la superficie del conductor).

Dentro de cierto rango de temperatura, la rigidez -

dieléctrica es independiente de la temperatura del aislante; por encima de la temperatura límite, ésta influye mucho en el valor de la rigidez dieléctrica, que disminuye rápidamente si aumenta la temperatura. En general este rango de temperatura está comprendido entre -50°C y 50°C , y su valor resulta de importancia esencial para la elección de un material aislante apropiado.

Referente al gradiente eléctrico, se pueden obtener valores diferentes según la forma en que se mida, por ejemplo:

- Con corriente alterna aumentando el voltaje en forma escalonada, hasta la falla.

- Con corriente alterna aumentando rápidamente el voltaje, hasta la falla.

- Con impulsos eléctricos de muy alto voltaje pero de corta duración (microsegundos).

- Con corriente directa aumentando gradualmente el voltaje.

- Con corriente alterna a un voltaje medio pero a

largo tiempo.

2.2.6.- Constante dieléctrica. Es el cociente entre la constante dieléctrica absoluta E_a de un cuerpo y la constante dieléctrica en el vacío E_o , o sea, que se trata de la relación:

$$E = \frac{E_a}{E_o}$$

Y representa el número de veces que un cuerpo es -- más aislante que el vacío. Depende esencialmente de la temperatura, del valor de la tensión y de frecuencia; no obstante las variaciones no suelen ser importantes, especialmente con tensiones alternas. La constante dieléctrica de los materiales aislantes empleados en los cables subterráneos, está comprendida entre 2 y 10, naturalmente, ningún cuerpo aislante puede tener una constante dieléctrica menor que la unidad.

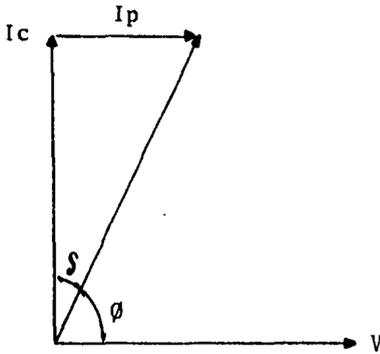
2.2.7.- Factor de potencia. También conocido como factor de pérdidas de aislamiento, representa la relación entre la potencia activa disipada en el dieléctrico (W_a) y la potencia reactiva (W_R). Es mayor mientras más imperfecto sea el

dieléctrico; es decir, mayor será la corriente de pérdidas (I_p) que se presenta en cuanto el defasamiento entre el voltaje aplicado y la corriente capacitiva (I_c) inducida es menor de 90° .

El factor de potencia en un aislamiento aumenta con la presencia de humedad y con la elevación de temperatura. La medición del factor de potencia es uno de los medios más efectivos para detectar humedad o deterioro de un aislamiento.

En los cables, las pérdidas dieléctricas se expresan en Watts por Kilómetro de longitud, siempre que la capacidad se exprese en Farads por Kilómetro. Estas pérdidas representan aproximadamente el 1% de las pérdidas totales de la línea.

El factor de potencia, junto con la constante dieléctrica del aislamiento determina las pérdidas dieléctricas de un cable. Por lo tanto conviene que el factor de potencia sea lo más bajo posible.



$$90^\circ - \phi = 90^\circ$$

ϕ = ángulo de pérdidas

$$W_r = I_c V \text{ sen } \phi$$

$$W_a = I_c V \text{ cos } \phi$$

Fac. de Potencia:

$$\frac{W_a}{W_r} = \text{cos } \phi$$

$$W_a = I_p V$$

$$f_p = \frac{W_a}{W_r} = \frac{I_p}{I_c} = \frac{I \text{ cos } \phi}{I \text{ sen } \phi} = \text{cot. } \phi$$

Para ϕ próximo a 90° $\text{cot } \phi = \text{cos } \phi$

2.2.8.- Resistencia de aislamiento. La resistencia de aislamiento de un cable es la resistencia media entre el conductor y el electrodo que se encuentre envolviendo la superficie exterior del aislamiento. Con base en las dimensiones del cable se puede determinar lo que se llama la constante de resistencia de aislamiento (K) que es independiente de las dimensiones.

Las pruebas de resistencia de aislamiento son una forma sencilla para determinar el deterioro de un aislamiento y suelen efectuarse en la fábrica o en el campo, para de

terminar el estado de un cable.

La resistencia de aislamiento se calcula con la fórmula:

$$R_a = K \log_{10} \left(\frac{D}{d} \right) F_t F_l$$

Donde:

R_a = Resistencia de aislamiento en Megohms/Km.

K = Constante de resistencia de aislamiento (depende del material empleado)

D = Diámetro sobre el aislamiento en mm.

d = Diámetro bajo el aislamiento en mm.

F_t = Factor de corrección por temperatura (Unitaria a 15.6°C o 60°F)

F_l = Factor de corrección por longitud =

$$\frac{1000}{\text{Long. real del cable}}$$

Valores típicos de K a 15.6°C (megohms/Km.)

P V C150

Polietileno 15,250

X L P 6,100

E P R 6,100

Papel impregnado.. 3,000

2.2.9.- Resistividad.- Para caracterizar un aislante se da la resistencia específica o resistividad en Ohms por centímetro, a 20°C, determinada una vez que ha transcurrido cierto tiempo (generalmente un minuto); naturalmente, la resistividad de los materiales aislantes es muy elevada del orden de las potencias de 10. la resistividad de un material aislante disminuye con la temperatura.

2.3 ACEITE AISLANTE

2.3.1.- Transportación del aceite aislante.- El aceite se transporta de la fábrica al cable en camiones-tanque en condiciones adecuadas de limpieza, bajo presión positiva con nitrógeno de alta pureza, el cual para poder utilizarlo requiere de un preacondicionamiento (proceso de deshidratado y desgasificado), con la finalidad de eliminar al máximo el contenido de gases, humedad y partículas contaminantes. Se debe emplear para este proceso una temperatura del orden de 90°C a 100°C máximo y un vacío menor a 1.0 mm. de Hg.

2.3.2.- Deshidratado del aceite aislante.- El deshidratado al vacío es un medio eficiente para reducir hasta valores -

muy bajos el contenido de gases y agua en un aceite aislante. Actualmente hay dos tipos de deshidratadores al vacío para uso general. El principio básico de operación es el mismo para ambos, es decir, el aceite aislante expuesto a un alto vacío y calentado por cortos intervalos.

En un método, la exposición del aceite se obtiene por atomización a través de una boquilla dentro de una cámara de vacío. Con el otro tipo de deshidratador al vacío, el aceite es forzado a fluír sobre una serie de deflectores dentro de la cámara de vacío para formar partículas pequeñas de tal manera que una gran superficie sea expuesta al vacío.

Además de eliminar el agua, los deshidratadores al vacío desgasifican el aceite aislante y eliminan los contaminantes más volátiles. Dichos deshidratadores están provistos de algunos medios que permitan la recirculación automática del aceite cuando está muy húmedo.

2.3.3.- Características del aceite aislante.- El aceite preacondicionado para introducirlo en los cables debe cumplir con las características indicadas para el aceite nuevo cuyos

valores se indican a continuación:

C A R A C T E R I S T I C A	VALOR ESPECIFICADO
a) Contenido total de gases disueltos en %	1.0
b) Contenido de humedad en p.p.m.	30.0
c) Factor de potencia a 1000 V. 60 Hz y 100°C en %	0.6
d) Resistividad volumétrica a 500 V. y 100°C en $\Omega \cdot \text{cm}$. $\times 10^{12}$	0.5
e) Tensión de ruptura dieléctrica a 80°C en KV.	30.0
f) Número de neutralización en mg KOH/g	0.05
g) Color	2.0

Las características del aceite deben evaluarse de acuerdo a los métodos de prueba indicados en las normas:

CCONNIE 8.8-1 "Aceite aislante no inhibido para transformadores"

CCONNIE 8.8-2 "Aceite aislante, guía para el almacenamiento, control y tratamiento".

ASTM D 189 "Conradson Carbon Residue Of Petroleum Products Test" .

En la siguiente table 2.3.- se muestran resultados de las pruebas hechas en Condumex,S.A., a una muestra de aceite Sun 6 para el cable San Angel-Coyoacán, tomada del tanque de tratamiento:

TABLA 2.3 PRUEBAS AL ACEITE

P R U E B A S	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES
Temp. de inflamación, °C	199.5	199.5
Temp. de combustión, °C	231.5	232.5

P R U E B A S	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES
Viscosidad S.U. a - 37.8°C, seg.	937.5	750-800
Densidad a 20°C, - g/cm ³	0.931	0.921-0.933
Factor de disipación a 100°C 40-70 Hz.	0.0027	0.006
Tensión de ruptura, KV	33.7	30.0
% de neutralización - mg KOH/g	0.05	0.05
Carbón Conradson, %	neg.	0.05
Temp. de escurrimien- to	- 15	-21.0
Azufle libre y corro- sivo	neg.	neg.

El aceite fué aceptado, ya que cumple con sus especificaciones más importantes.

.203 mm. y cuyas paredes deberán tratarse a base de chorros de granalla, (definición de granalla: metal reducido a granos menudos). Deberá hacerse notar, que las resinas epóxicas utilizadas son polímeros de alta densidad perteneciente a la familia de los éteres y cuya aplicación como recubrimiento es cada vez mayor.

El exterior del tubo está protegido con una capa interior de cemento de hule modificado y otra de polietileno extruido de alta densidad de 1.5 mm. "X TRU COAT" según norma ASTM D 1248. El recubrimiento deberá abarcar toda la longitud del tubo a excepción de 150 mm. en cada extremo.

2.4.2.- Cálculo de diámetro de la tubería.- Una vez que ha sido determinado el diámetro del cable, se calcula el diámetro de la tubería que se utilizará para lo cual se hacen las siguientes consideraciones:

- a) Para la formación triangular debe quedar un claro de por lo menos 12.5 mm. entre el conductor superior y el interior del tubo, esto con el fin de tomar en cuenta las posibles variaciones de las dimensiones nominales en los conductores y el tubo.

La siguiente fórmula se utiliza para calcular el diámetro del tubo a partir de consideraciones trigonométricas:

$$D = \frac{2 \sqrt{3} \times d^2 + (2 + 2 \sqrt{3}) d C + 2 C^2}{\sqrt{3} d + 2 C}$$

donde:

D = Diámetro interior del tubo en mm.

d = Diámetro exterior del cable en mm.

C = Claro entre el cable y el tubo (46.4 mm.)

Calculando para cables de 1500 MCM con un diámetro medio incluyendo los alambres de deslizamiento de 80 mm. y sustituyendo en la ecuación anterior, tenemos:

$$D = \frac{2 \sqrt{3} (80)^2 + (2 + 2 \sqrt{3}) (80) (46.4) + 2 (46.4)^2}{\sqrt{3} (80) + 2 (46.4)}$$

$$D = 206 \text{ mm.}$$

Si la relación $\frac{D}{d} = 2.5$ el acañamiento entre los cables no es posible y por lo tanto la deformación triangular se puede realizar. Si la relación $\frac{D}{d} > 3$, la formación acañada es la adecuada. Ahora, queda el intervalo entre 2.8 y

3 para el cual el cruzamiento entre los conductores es peligroso, ya que se podría dañar el aislamiento del cable, sobre todo al momento de jalar los conductores en una curva. En nuestro caso la relación será:

$$\frac{D}{d} = \frac{206}{80} = 2.5$$

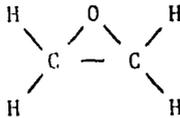
La formación triangular es la más adecuada desde el punto de vista eléctrico.

- a) Acuñamiento.- El acuñamiento de los cables, se presenta cuando tres cables se jalan en un tubo o ducto con curva o cuando el cable se tuerce. Para uno o dos cables monofásicos o para cables multiconductores con cubierta común, el acuñamiento no es posible.
- b) Claro.- El mínimo claro (C) será el que permita evitar presión de la parte superior del cable contra la parte superior del tubo.
- c) Existen otros factores que pueden ser determinantes para el dimensionamiento del tubo, en función de los requerimientos hidráulicos, cuando se presentan condiciones dinámicas y que son:

- I . Tubos con gran longitud
- II. Gran diferencia de nivel entre terminales
- III. Tubos con diámetro pequeño
- IV. Cargas de emergencia frecuentes

La máxima presión, considerada en operación, por corto tiempo se limita, para nuestro cable de 230 KV, a 25.4 Kg/cm². (360 Lb/plg²), y la mínima capaz de suprimir la ionización es de 5.3 Kg/cm². (75 Lb/plg²). Por lo que, si el equipo de bombeo es capaz de proporcionar la presión dentro de dichos límites, el sistema se considera hidráulicamente adecuado.

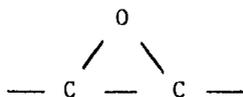
Resina epoxi.- La resina epóxica utilizada en el re cubrimiento interno de los tubos, es un polímero perteneciente a la familia de los éteres, y cuya forma de enlace es:



el cual es un monómero de óxido de etileno (epóxido). Pertenece a los altos polímeros que son un grupo fascinante de ma

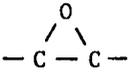
teriales no sólo debido a su importancia en la ingeniería, - sino también a que las estructuras pueden alterarse y hacerse a medida para dar un amplio espectro de color, transparencia y formabilidad de diversa índole.

Su estructura molecular es del tipo escisión en anillo:



Esto está relacionado con la polimerización por adición y también con la estructura de eslabonamiento cruzado, en que las dos moléculas se unen a una tercera. Sin embargo una estructura en anillo tal como la del grupo epóxido, se rompe por combinación con el reactivo que promueve el enlace.

Propiedades de los Epóxidos

	PRECIO DLS.(1980)/lb	RESIST. TRACC.lb/PULG.	ALARG. %	DUREZA ROCKWELL
	0.50	10000	0	90
COEF. EXPAN. (°F) ⁻¹ x10 ⁶ (°C) ⁻¹ x10 ⁶	IMPACTO IZOD PIE/lb	GRAVEDAD ESPECIF.	DISTORS. CALOR °F (°C)	TASA COMBUS. PULG./MIN.
	0.8	1.1	350 (177)	≈ 1

Aplicaciones Típicas: Adhesivos, fibra de vidrio compuesta revestimiento.

2.5 PARAMETROS ELECTRICOS DE LOS CABLES SUBTERRANEOS

2.5.1.- Resistencia. Cálculo de la componente de C.A. o pérdidas por incremento del cable tipo tubo.

a) Fórmula general. Para un sistema y una corriente I, las pérdidas de potencia pueden ser resumidas por la ecuación:

$$P_{c.a.} = P_d + P_c + p_{cm} + P_t \quad \text{Watts/m} \dots\dots\dots(1)$$

donde:

P_d = Representa las pérdidas en el dieléctrico

P_c = Representa las pérdidas en el conductor

P_{cm} = Pérdidas de la cinta metálica sobre el aislamiento:

P_t = Pérdidas en el tubo.

Desatendiendo P_d que son las pérdidas en el dieléctrico las cuales son tratadas usualmente por separado para

efecto de los cálculos.

La expresión para las pérdidas en C.A. puede ser escrita como:

$$P_{c.a.} = 3 I^2 R_{a.c.} = 3 I^2 (R_{c.d.} + \Delta R_c + \Delta R_{c.m.} + \Delta R_t) \quad \text{---}$$

Watts / m. (2)

Donde $R_{c.d.}$ es la resistencia de C.D. a la temperatura que el conductor está trabajando y R_c , $R_{c.m.}$ y R_t son los incrementos de resistencia debidos a las pérdidas, P_c , $P_{c.m.}$ y P_t respectivamente, en términos de la corriente I en el conductor.

Si dividimos la expresión anterior por $3 I^2 R_{c.d.}$ --- término a término, la relación de la resistencia con respecto a las componentes de C.A./C.D. queda de la siguiente manera:

$$\frac{3 I^2 R_{c.a.}}{3 I^2 R_{c.d.}} = \frac{3 I^2 (R_{c.d.} + \Delta R_c + \Delta R_{c.m.} + \Delta R_t)}{3 I^2 R_{c.d.}}$$

$$\frac{R_{c.a.}}{R_{c.d.}} = 1 + \frac{\Delta R_c}{R_{c.d.}} + \frac{\Delta R_{c.m.}}{R_{c.d.}} + \frac{\Delta R_t}{R_{c.d.}} \dots \dots \dots (3)$$

O bien:

$$\frac{Rc.a.}{Rc.d.} = 1 + Yc + Yc.m. + Yt$$

Donde:

$$\frac{\Delta Rc}{Rc.d.} = Yc. = \text{Relación debida al incremento de las -} \\ \text{p\u00e9rdidas en el conductor.}$$

$$\frac{\Delta Rc.m.}{Rc.d.} = Yc.m. = \text{Relaci\u00f3n debida al incremento de} \\ \text{las p\u00e9rdidas en las cintas met\u00e1l} \\ \text{cas.}$$

$$\frac{\Delta Rt}{Rc.d.} = Yt = \text{Relaci\u00f3n dobida al incremento de las} \\ \text{p\u00e9rdidas en el tubo.}$$

- b) Resistencia componente de C.A. para conductores segmentados. La combinaci\u00f3n del efecto Kelvin y el efecto de proximidad para un sistema de tres fases para cables segmentados puede ser calculado directamente con suficiente exactitud, usando la ecuaci\u00f3n:

$$Rc = Kc (1 / \sqrt{Rc.d.} - 0.13) (1 + 4(d/s)^2) \text{ microhms/pie. (4)}$$

Donde:

- Kc = 1.7 para un arreglo triangular cerrado
- Rc.d. = Resistencia del conductor en C.D. (microhms/
pie)
- d = Diámetro del conductor (pulgadas)
- s = Espacio medio geométrico del conductor (pul-
gadas) (distancia media geométrica)

Los factores de multiplicación aplicables para la operación en el tubo han sido determinados empíricamente dependiendo del arreglo de los cables en el tubo. Los factores de multiplicación están dados para el arreglo triangular.

- c) Resistencia componente de C.A. para conductores concéntricos circulares. Para los cables concéntricos circulares en el tubo, existe una lista de ecuaciones para calcular por separado el efecto Kelvin y el efecto de proximidad. Para las condiciones de operación en aire así como las ecuaciones dadas para determinar el factor por el cual se debe de multiplicar para la operación en el tubo. El tratamiento es relativamente complejo en comparación con el dado aquí para los cables segmentados.

Siguiendo las expresiones dadas para la aplicación - de cables concéntricos circulares en un tubo.

Fórmula para un conductor, circular no compacto:

$$R_c = K_c (3.12 / \sqrt{R_{cd}} - 0.278) (1 + 4(d/s)^2) \text{ microhms/ft....(5)}$$

Para un conductor circular compacto:

$$R_c = K_c (2.52 / \sqrt{R_{cd}} - 0.241) (1 + 4(d/s)^2) \text{ microhms/ft... (5a)}$$

Donde K_c tiene los mismos valores previamente dados para los cables segmentados.

2.5.2.- Resistencia y reactancia aparente en pantallas y cubiertas metálicas.- Una forma simplificada de determinar los efectos de las corrientes circulantes en pantallas y cubiertas metálicas es considerar un cable imaginario sin pantalla, que presente una resistencia y reactancia comparable a la que presenta en conductor real incluídos los efectos de la pantalla.

A la resistencia y reactancia de este cable imaginario se le conoce como resistencia y reactancia aparente y los valores derivados de estos parámetros permiten de manera directa el cálculo de impedancia de la línea, caída de tensión, etc.

El valor final de la resistencia aparente se obtiene de adicionar a la resistencia efectiva a la C.A. un término que incluye los efectos de la corriente inducida en la pantalla o cubierta metálica.

De forma análoga la reactancia aparente se obtiene de sustraer a la reactancia que se obtendría de un cable --- idéntico sin pantalla o cubierta metálica, un término similar de naturaleza inductiva.

La reducción aparente en la reactancia inductiva, debido a las corrientes circulares es de poca magnitud y de --ninguna manera comparable al incremento aparente que afecta a la resistencia, por lo que es de esperarse en cables con - pantallas o cubiertas metálicas valores mayores de caída de tensión e impedancia que en los cables desprovistos de éstas.

En circuitos trifásicos con cables monopolares colocados equidistantes o circuitos monofásicos (para otras disposiciones ver tabla 2.4). Una ecuación simplificada exacta para este cálculo es la siguiente:

$$\Delta R_{c.m} = X_{c.m}^2 / Y_{c.m} \text{ microhms/ft} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

	I MONOFABRICO	II TRIANGULAR	III RECTANGULAR	IV PLANO HORIZONTAL	V 2 - CIRCUITOS	VI 2 - CIRCUITOS
PANTALLAS ABIERTAS. $l_1 = l_2 = l_3 = 0$						
1	$E_1 / I_b =$	$-x$	$\frac{x}{2} (-1 + j\sqrt{3})$	$\frac{1}{2} [(-x + a/2) + j\sqrt{3} y]$	$\frac{1}{2} [(-x + a) + j\sqrt{3} y]$	$\frac{1}{2} [(-x + \frac{b}{2}) + j\sqrt{3} y]$
2	$E_2 / I_b =$	x	x	x	x	$(x + a/2)$
3	$E_3 / I_b =$	$-$	$\frac{x}{2} (-1 - j\sqrt{3})$	$\frac{1}{2} [(-x + a/2) - j\sqrt{3} y]$	$\frac{1}{2} [(-x + a) - j\sqrt{3} y]$	$\frac{1}{2} [(-x + \frac{b}{2}) - j\sqrt{3} y]$
4	$\frac{E_1 + E_2 + E_3}{3 I_b} =$	0	0	$a/6$	$a/3$	$1/6 (a + b)$
PANTALLAS SOLIDAMENTE ATERIZADAS. $l_1 + l_2 + l_3 = 0$						
6	$E_1 / I_b =$	0	0	$\frac{j R_0 a}{6 (R_0 + jz)}$	$\frac{j R_0 a}{3 (R_0 + jz)}$	$\frac{j R_0 (a+b)}{6 (R_0 + jz)}$
6	$\frac{l_1}{I_b} =$	$\frac{jx}{R_0 + jx}$	$-\frac{jx(-1+j\sqrt{3})}{2(R_0 + jx)}$	TABLA 2.4 - TENSIONES Y CORRIENTES INDUCIDAS EN LAS PANTALLAS O CUBIERTAS METALICAS.		$-\frac{(1-j\sqrt{3}H) + j(H+j\sqrt{3})}{2(H+j)(H+j)}$
7	$\frac{l_2}{I_b} =$	$-\frac{jx}{R_0 + jx}$	$-\frac{jx}{R_0 + jx}$			$-\frac{j}{H+j}$
8	$\frac{l_3}{I_b} =$	$-\frac{jx(-1-j\sqrt{3})}{2(R_0 + jx)}$	$-\frac{jx(-1-j\sqrt{3})}{2(R_0 + jx)}$			$-\frac{(1+j\sqrt{3}H) + j(H-j\sqrt{3})}{2(H+j)(H+j)}$
9	$\frac{W_0}{\frac{1}{2} R_0} =$	$\frac{2x^2}{R_0^2 + x^2}$	$\frac{3x^2}{R_0^2 + x^2}$			$\frac{3(H^2 + H^2 + 2)}{2(H^2 + 1)(H^2 + 1)}$
10	DONDE:	$y = x$ $z = x$	$y = (x + a/2)$ $z = (x - a/6)$	$y = (x + a)$ $z = (x - a/3)$	$y = (x + a + b/2)$ $z = (x + a/3 - b/6)$	$y = (x + a + b/2)$ $z = (x + a/3 - b/6)$

$$x = 2 \pi f (2 \times 10^{-6}) \ln \frac{a}{b}$$

$$E_n \text{ Ohms/Km. } x = 0.0754 \ln \frac{a}{b}$$

$$a = 2 \pi f (2 \times 10^{-6}) \ln 2,$$

$$a = 0.0523$$

$$b = 2 \pi f (2 \times 10^{-6}) \ln 9$$

$$b = 0.1214$$

Xc.m = Reactancia de la cubierta metálica.

Yc.m = Resistencia de la cubierta metálica.

El factor por el cual se debe de multiplicar para la operación en el tubo es 2.0, sin hacer caso del arreglo de los cables o espacios, así para la operación a 60 ciclos.

$$\Delta R_{c.m.} \text{ (en el tubo)} = \frac{5600}{Y_{c.m.}} (\log_{10}(s/c))^2 \text{ microhms/ft} \dots\dots (7)$$

Donde:

C = Es el radio medio de la cinta metálica en pulgadas. Para cables con un arreglo triangular cerrado, la componente de la resistencia en la cinta puede ser calculada -- con suficiente exactitud, usando la ecuación:

$$\Delta R_{c.m.} \text{ (triangular cerrado)} = 555/Y_{c.m.} \text{ microhms/ft} \dots (8)$$

2.5.3.- Componentes de las pérdidas en el tubo. Las ecuaciones semi-empíricas para el cálculo de las pérdidas en tubo, están basadas en las componentes de las corrientes parásitas.

Para el tubo magnético, la Aiec Committee Report, da las siguientes ecuaciones para el cálculo de las pérdidas en el tubo, las cuales son consideradas suficientemente exactas

para casos prácticos:

$$\Delta Rt \text{ (triangular cerrada)} = 0.89 D - 0.115 p \text{ microhms/ft.. (9)}$$

Donde:

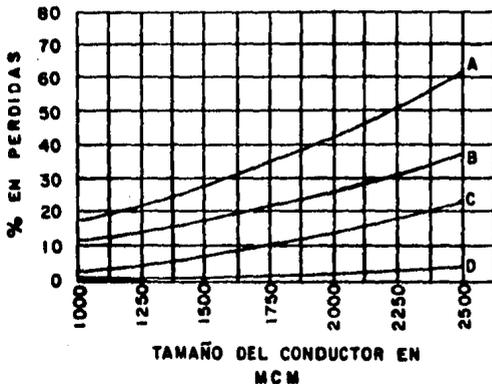
D = Diámetro de la parte central del cable en (pulg.)

P = Diámetro interior del tubo en (pulgadas)

Valores representativos de la relación de la resistencia en A.C./D.C. para sistemas cable-tubo.

Los valores de la relación de la resistencia en C.A./C.D. para sistemas cable-tubo con conductores segmentados en el rango de tamaño calculado de 1,000,000 A 2,500,000 circular Mils, usadas en las ecuaciones dadas adjunto, se listan en la Tabla 2.5 para un arreglo triangular cerrado.

Los valores de las componentes relativo a las magnitudes se muestran en la gráfica 2.1



GRAFICA No. 2.1 CALCULO DE LAS PERDIDAS EN EL SISTEMA CABLE TIPO TUBO.

- A. EXTRA PERDIDAS TOTALES
- B. PERDIDAS EN EL TUBO.
- C. PERDIDAS EN EL CONDUCTOR
- D. PERDIDAS EN LA CINTA METALICA.

TAMANO DEL CONDUCTOR MCM	ESPESOR DE LA CUBIERTA DE AISLAMIENTO (mm)	DIAMETRO -INTERIOR DEL TUBO (mm)	Rca / Red		
			CONDUCTOR	CINTA	TUBO
1000	7.239	128.193	1.04	1.06	1.16
1000	7.239	155.575	1.04	1.06	1.15
1000	11.049	155.575	1.04	1.06	1.16
1000	12.827	155.575	1.04	1.05	1.17
1000	12.827	177.800	1.04	1.05	1.16
1250	7.239	128.193	1.07	1.09	1.22
1250	7.239	155.575	1.07	1.09	1.21
1250	11.049	155.575	1.06	1.08	1.23
1250	12.827	155.575	1.06	1.08	1.24
1250	12.827	177.800	1.06	1.08	1.23
1500	7.239	155.575	1.10	1.13	1.28
1500	11.049	155.575	1.09	1.12	1.30
1500	11.049	177.800	1.09	1.12	1.29
1500	12.827	177.800	1.09	1.11	1.30
1500	12.827	206.375	1.09	1.11	1.28
1750	7.239	155.575	1.14	1.17	1.36
1750	7.239	177.800	1.14	1.17	1.35
1750	11.049	177.800	1.13	1.15	1.37
1750	12.827	177.800	1.12	1.14	1.38
1750	12.827	206.375	1.12	1.14	1.36
2000	7.239	155.575	1.19	1.22	1.45
2000	7.239	177.800	1.19	1.22	1.43
2000	11.049	184.150	1.17	1.19	1.46
2000	12.827	184.150	1.16	1.18	1.47
2000	12.827	206.375	1.16	1.18	1.45
2500	7.239	184.150	1.29	1.32	1.62
2500	7.239	206.375	1.29	1.32	1.60
2500	11.049	184.150	1.26	1.29	1.65
2500	11.049	206.375	1.26	1.29	1.63
2500	12.827	206.375	1.24	1.27	1.64

RELACION DE RESISTENCIA EN A-C/D-C
 EN SISTEMAS CABLE-TUBO PARA UN
 ARREGLO TRIANGULAR CERRADO.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

**CABLE SUBTERRANEO
 TIPO TUBO A 230 KV**

JOSE HAMON ESCALANTE JAIMES

CAPITULO No. 2

TABLA No. 2.5

2.5.4.- Reactancia inductiva del cable tipo tubo. La reactancia inductiva trifásica del cable tipo tubo puede ser determinada como sigue:

1.- Obtención de la relación AC / DC; esta relación nos dá K.

Donde esa relación está dada por:

$$K = \frac{R_{ca}}{R_{cd}}$$

De la ecuación (4)

$$\Delta R_c = K_c \left\{ \left(\frac{1}{\sqrt{R_{cd}}} - 0.13 \right) \left(1 + 4 \left(\frac{d}{s} \right)^2 \right) \right\} \quad \text{ft}/\Delta$$

De la relación anterior podemos obtener la componente de la resistencia de C.A.

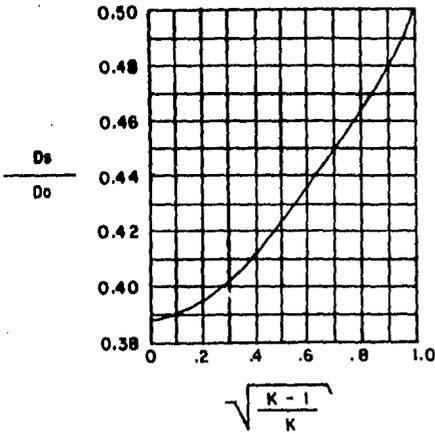
Donde:

- Kc = Es tomada como la unidad
- Rcd = Resistencia del conductor C.D. (Microhms/ft)
- d = Diámetro del conductor (pulg.)
- s = Espacio medio geométrico del conductor (pulg.)

La resistencia de C.A. necesaria para determinar el

valor de K es obtenida por el aumento de este valor de: - -
 $\Delta R_c/R_{dc}$

2.- Calculando $\sqrt{\frac{K-1}{K}}$ y encontrando la relación de -
la distancia media geométrica del diámetro del conductor - -
 D_s/D_o de la Gráfica 2.2

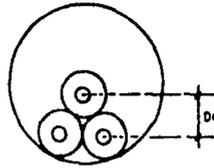


GRAFICA No. 2.2 - RELACION DE LA
DISTANCIA MEDIA GEOMETRICA DEL -
DIAMETRO DEL CONDUCTOR PARA EL -
CABLE TIPO TUBO.

3.- Calculando D_s de esta operación.

4.- Obtención de D_1 que se obtiene de la multiplicación de la distancia del centro a centro de los conductores

por 1.3



Esto es: $D_1 = D_o \times 1.3$

5.- Por último el cálculo de la reactancia inductiva en ohms/1000 ft, para un arreglo triangular cerrado.

$$X_L = 0.053 \log_{10} \frac{D_i}{D_s}$$

6.- Para cables que no tienen una formación triangular el valor de X_L se ve aumentado por un 15% que permite una posición al azar de los cables en el tubo.

2.5.5.- Características térmicas y eléctricas de un cable dieléctrico. El cálculo de la capacidad de carga comprende una serie de características del cable, las cuales dependen del diseño y de las cualidades específicas del dieléctrico. Para cables multiconductores, la capacitancia, la resistencia de aislamientos, etc., no son características definidas cuantitativamente de un cable, pero son cantidades que dependen de las conexiones. Por ejemplo, en un conductor triple los cables que lo rodean tiene nueve capacitancias diferentes. El factor geométrico es diferente para cada uno de estos. Además, debido a las numerosas formas de los cables pa

ra multiconductores, aislamientos, "fillers", correas, etc., un factor geométrico aplicable para la vía térmica es en algunos casos una pregunta. Este reporte cubre los casos de operación usuales en línea con la presentación de Simmons, y algunos ajustes y adiciones resultantes de los más recientes desarrollos.

Fórmulas.- Las fórmulas para el cálculo de las características usuales requeridas para el problema son como las mostradas:

Capacidad:

$$C = \frac{0.0169 \text{ nk}}{G^2} \text{ } \mu\text{f}/1000 \text{ ft al neutro} \dots\dots\dots(1)$$

R térmica:

$$R_{thi} = \frac{0.00522 \rho G1}{n} \text{ } \Omega \text{ térmicos/ft } \dots\dots\dots(2)$$

Corriente de carga:

$$I = \frac{0.106 \text{ e f n k}}{G^2} \text{ } \text{mA}/1000 \text{ ft de conductores} \dots\dots(3)$$

Pérdidas trifásicas en el dieléctrico:

$$W_d = \frac{0.000106 \text{ e}^2 \text{ f n}^2 \text{ k} \cos \phi}{G^2} \text{ } \text{Watts/ft de cable} \dots(4)$$

Donde:

G = Factor geométrico para cada cable conductor.

G = $\log_e \frac{D1}{d}$ (5)

G₁ y G₂ = Factores geométricos para el cable de 3 - conductores mostrados en la gráfica 2.3

D1 = Diámetro sobre el aislamiento del conductor.

e = Kilovolts al neutro.

f = Frecuencia en ciclos/seg.

n = No. de conductores en el cable.

d = Diámetro sobre el conductor.

ρ = Resistividad térmica del aislamiento.

cos ϕ = Factor de potencia del aislamiento.

k = Capacidad inductiva específica o permitividad del aislamiento. Este factor es muy variable, pero se usan algunos aislamientos comunmente utilizados como los siguientes:

Caucho y caucho equivalente	2.5 a 6
Barniz cambray	4 a 6
Papel impregnado en aceite	3.3 a 4.2
Polietileno	2.3
P V C	6 a 10

2.5.6.- Factores geométricos. Las ecuaciones anteriores de las pérdidas del dieléctrico como: corriente de carga y capacidad son mostradas para un cable encintado de tres conductores y operando con un voltaje trifásico, por lo que puede ser usada G_2 . Si los conductores son formados en sector, el factor de corrección del sector debe también ser aplicado como se explica antes de la gráfica 2.3

Dos curvas para el factor de corrección del sector son mostradas en esta gráfica, una marcada con S y la otra con R; de esta última los valores son considerados más representativos. Para la protección del cable de tres conductores usamos G en lugar de G_2 , tratando que cada conductor esté protegido como un solo cable conductor, usando el diámetro del conductor "d" igual al del conductor circular, teniendo la misma área que el sector del conductor.

Para calcular la resistencia térmica R_{thi} usamos G_1 para un cable encintado de tres conductores, usando el factor de corrección del sector para los conductores en forma de sector. Para la protección del sector del cable de tres conductores, los resultados de las pruebas que se tienen han demostrado que la siguiente fórmula da los mejores resultados:

$$R_{thi} = \frac{\pi D_a}{\pi D_a - 6T} \times 0.00522 \rho \log \frac{D_1}{D_2}$$

Ω térmicos/ft(6)

Donde:

D_1 = Diámetro sobre la capa interior (bajo cubierta).

D_2 = Diámetro del cable sobre la parte posterior de los sectores descubiertos.

$$D_a = \frac{D_1 - D_2}{2}$$

T = Densidad del aislamiento del conductor más la densidad de la protección.

Para los cables de tres conductores autocontenidos -

en aceite de la clase de 69 KV tipo tubo y aceite a presión, el siguiente procedimiento se aproxima a los resultados de las pruebas:

1.- Calculamos G_1 como para un cable de tres conductores considerando el blindaje como una cubierta. En el caso de un sector de conductores, el factor de corrección del sector de la gráfica 2.3 se podrá aplicar a la curva R

2.- Calculando G como para un cable de un solo conductor con la adición de incorporar el espesor del blindaje, entonces:

$$G = \log \frac{d + 2T + t}{d}$$

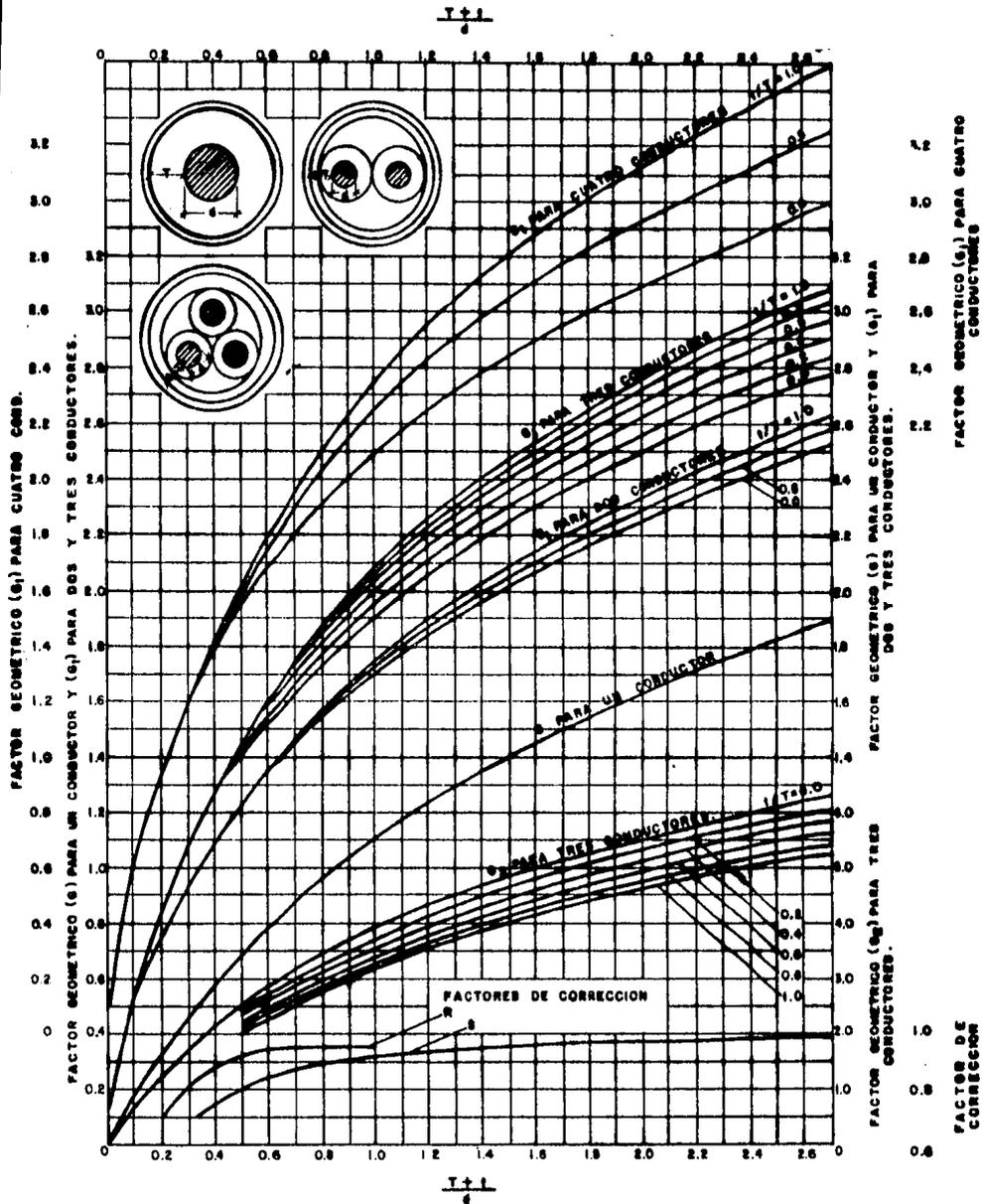
Donde:

t es el espesor del blindaje.

3.- El factor geométrico para cables de tres conductores contenidos en aceite es:

$$G_0 = \frac{G_1 + G}{2}$$

(En cálculos de pérdidas dieléctricas en cables de tres conductores contenidos en aceite, el mismo factor geomé



GRAFICA No. 23

FACTORES GEOMETRICOS QUE PUEDEN SER OBTENIDOS POR EL CALCULO DE LAS RELACIONES $(T+1)/d$ Y $1/T$.

trico debe ser usado como para un único conductor).

R_{thi} para un cable de tres conductores contenidos en aceite es igual a:

$$R_{thi} = \frac{0.00522 \rho_{GO}}{3} \text{ m}^2\text{t}^2\text{m}^2/\text{ft} \dots\dots\dots(7)$$

Los factores geométricos pueden ser obtenidos de calcular las relaciones $(T + t)/d$ y t/T (donde el sector del cable "d" es definido como: el diámetro de un conductor redondo de la misma área que el sector). Y entonces de la curva obtendremos el valor requerido para el factor geométrico. Por lo tanto los valores obtenidos del factor geométrico son correctos para un cable de conductores redondos. Para el valor del sector de los conductores así obtenidos, deberán ser multiplicados por el factor de corrección del sector.

En los cables que no son del tipo encintados, y a medida que los cables multiconductores se asemejan al tipo caucho la relación se convierte en T/d y $t/T = 0$

2.5.7.- Efecto superficial y efecto de proximidad. Como se

sabe, la resistencia que ofrece un conductor al paso de la corriente alterna es mayor que la que ofrece al paso de la corriente directa, debido a las siguientes dos causas:

- a) El efecto superficial (SKIN EFFECT).
- b) El efecto de proximidad (PROXIMITY EFFECT).
- a) El efecto superficial, que consiste en un desplazamiento de la corriente hacia la superficie externa del conductor, debido al campo magnético que se establece en torno al eje del conductor mismo.

Para explicar este fenómeno podemos imaginar el conductor compuesto por una serie de filamentos paralelos al eje del conductor, todos ellos de la misma sección y de la misma longitud y consecuentemente de la misma resistencia.

Al circular corriente contínua por el conductor, tendremos que la diferencia de potencial aplicada a cada filamento es la misma y ya que la resistencia de todos los filamentos es igual, la corriente en cada filamento será igual a la de los demás y se tendrá una densidad de corriente uniforme en toda la sección del conductor.

Cuando circula una corriente alterna, el flujo magnético que producirá esta corriente cortará los filamentos de que hemos considerado compuesto el conductor. Los filamentos de la parte central del conductor se eslabonan con más líneas de fuerza de otros filamentos, que los que se eslabonan con los filamentos externos del conductor, por lo tanto la fuerza, contra electromotriz inducida en los filamentos centrales será mayor que en la inducida en los filamentos superficiales.

Como la diferencia de potencial entre los extremos de todos los filamentos tiene que ser igual, ya que están conectados en paralelo, tendrá que verificarse que las caídas de potencial sean iguales y por lo tanto las corrientes en los filamentos centrales en los que la fuerza contra electromotriz inducida es mayor, tendrán que ser menores que las corrientes en los filamentos superficiales, ó sea que la densidad de corriente es mayor en la superficie del conductor que en el centro.

- b) El efecto de proximidad: cuando un conductor por el cual fluye una corriente eléctrica de variación cíclica y que se encuentra cercano a otro que transporta un flujo

de iguales características pero con sentido contrario, crean una resta vectorial de densidad de flujo, que origina una reducción en la inductancia de las caras próximas y un aumento en las diametralmente opuestas, dando por resultado una distribución no uniforme de la densidad de corriente y un aumento aparente de la resistencia efectiva.

El incremento de resistencia debido al efecto superficial está dando por:

$$\Delta R_o = R_{CD} \cdot F(X_o) \text{ ohms/Km.}$$

Donde $F(X_o)$ es el valor de la función $F(X)$ (ver tabla 2.6) para el caso de $X = X_o$, siendo:

$$X_o = 0.0504 \sqrt{\frac{f \cdot k_o}{R_{CD}}}$$

En la cual:

f = Frecuencia en c/seg.

k_o = Coeficiente que depende de la construcción del conductor (ver Tabla 2.7)

El incremento de resistencia debido al efecto de pro

ximidad puede, por su parte, calcularse con la fórmula:

$$\Delta R_1 = R_{CD} F(X_1) \left(\frac{dc}{A} \right)^2$$

Donde:

$F(X_1)$ = Valor de $F(X)$ para $X = X_1$

dc = Diámetro del conductor, en mm.

A = Distancia media geométrica entre conductores, en mm.

$$X_1 = 0.0504 \sqrt{\frac{F K_1}{R_{CD}}}$$

TABLA 2.6

VALORES DE LA FUNCION F(X)

X	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
F(x)	0.0000	0.0000	0.0003	0.0017	0.0052
X	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
F(x)	0.0126	0.0258	0.0470	0.0782	0.1207
X	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50
F(x)	0.1754	0.2417	0.3181	0.4024	0.4920
X	3.75	4.00	4.25	4.50	5.00
F(x)	0.5845	0.6779	0.7708	0.8628	1.0427

TABLA 2.7

VALORES K_0 y K_1

Tipo de conductor	K_0	K_1
Cable redondo normal	1.0	0.8
Cable redondo compacto	1.0	0.6
Cable segmental	0.435	0.37
Cable sectoral compacto	1.0	*

* Considerar un efecto de proximidad igual a la mitad del que resulte para un cable de la misma sección.

Para $X > 5$:

$$F(X) = \frac{X}{2\sqrt{2}} \left(1 + \frac{3}{8X^2} \right) - \frac{3}{4}$$

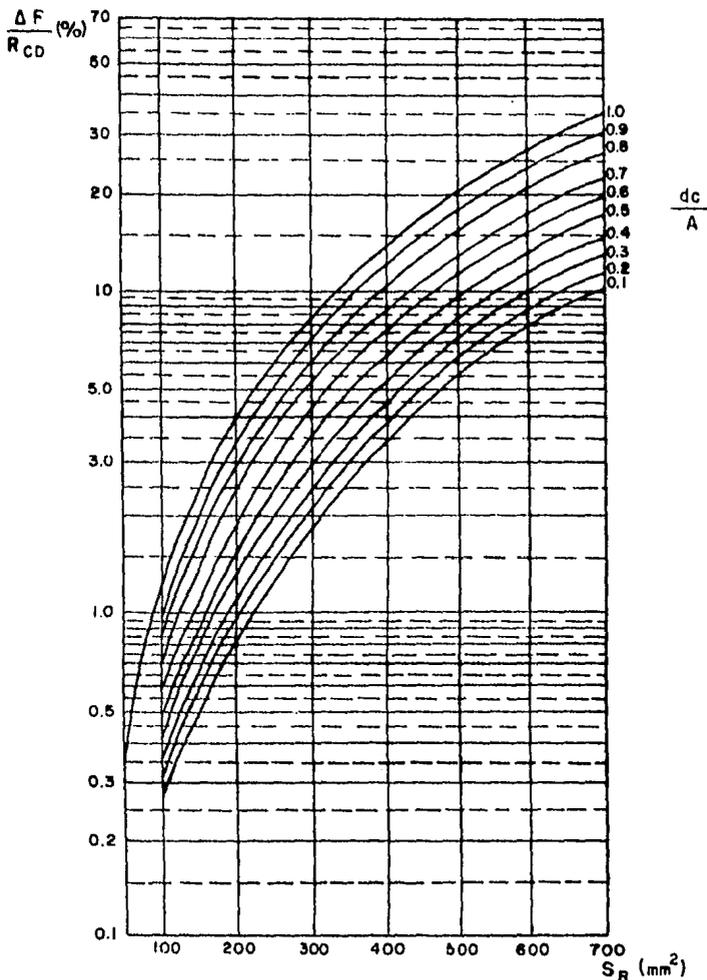
El incremento de resistencia total, por ambos efectos, vale:

$$\Delta R = \Delta R_0 + \Delta R_1$$

En la gráfica No. 2.4 se han aplicado los cálculos anteriores al caso de un cable redondo normal, trabajando con corriente alterna de 60 c.p.s. y a 20°C.

Si el conductor está formado por un cable compacto - debe reducirse el valor de $\frac{\Delta R}{R_{CD}}$ aproximadamente un 30%

Si la frecuencia es diferente a 50 c.p.s. recuérdese que ΔR es directamente proporcional a \sqrt{f}



S_R = Sección real del conductor (mm^2)

d_c = Diámetro del conductor (mm)

A = Distancia media geométrica interaxial entre conductores.

R_{CD} = Resistencia óhmica del conductor a la corriente directa (ohms/km).

ΔR = Incremento de la resistencia óhmica por efectos superficial y de proximidad.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

**CABLE SUBTERRANEO
TIPO TUBO A 230 KV**

GRAFICA PARA CALCULAR LOS EFECTOS SUPERFICIALES Y DE PROXIMIDAD

CAPITULO No 2

GRAFICA No 2 4

2.6 CAPACIDAD DE TRANSMISION

Cálculo para la capacidad de transmisión del cable tipo tubo a 230 KV, 1500 MCM, a alta presión con un diámetro exterior del tubo de 8.625 pulgadas (21.90 cm.).

En la pantalla del cable se intercalarán 7/8 (0.003) de pulgada de cinta de bronce con traslape a una pulgada, y a cada alambre de latón deslizante 0.1 (0.2) de pulgada con traslape de 1.5 pulgadas. El cable tendrá una configuración triangular cerrada.

Datos:

$$D_c = 1.632; D_i = 2.642; T = 0.505; D_s = 2.661; -$$

$$D_p = 8.125; T_c = 70^\circ\text{C}.$$

$$R_{dc} = \left(\frac{12.9}{CI} \right) \quad \text{Cálculo de la Resistencia } R_{dc}$$

$$R_{dc} = \left(\frac{12.9}{1.5} \right) \left(\frac{234.5 + 70}{234.5 + 75} \right) = 8.46 \text{ Microhms por pie}$$

Donde:

$$D_c = \text{Diámetro exterior del conductor en pulgadas.}$$

$$D_i = \text{Diámetro exterior del aislamiento en pulgadas.}$$

T = Espesor del aislamiento en pulgadas.

D_s = Diámetro exterior de la pantalla.

D_p = Diámetro interior del tubo.

T_c = Temperatura del conductor.

CI = Area del conductor en circulars-pulgada.

Para la cinta protectora A_s = 7/8 (0.003) = 0.00263

$$l = 1.0; \quad \rho_s = 23.8; \quad r = 564$$

$$R_s = \frac{\pi \rho_s}{4 A_s} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi D_{sm}}{l}\right)^2} \text{ microhms por pie a } 20^\circ\text{C}$$

$$R_s = \frac{23.8 \pi}{4(0.00263)} \sqrt{1 + \left(\frac{2.661\pi}{1}\right)^2} \left(\frac{564 + 50}{564 + 20}\right) = 62,900 \text{ microhms por pie a } 50^\circ\text{C}$$

Donde:

A_s = Area de la sección transversal de la pantalla.

l = Traslape de la cinta sobre la pantalla

ρ_s = Resistividad eléctrica en circular-mil/ohms

Nota: ρ_s = 23.8 para un material de bronce comercial.

r = Temperatura referida para una resistencia ce ro.

D_{sm} = Diámetro medio de la armadura.

Para el alambre de deslizamiento:

$$A_s = \frac{1}{2} \pi (0.1)^2 = 0.0157; \quad l = 1.5; \quad \rho = 38; \quad \tau = 912$$

$$R_s = \frac{38 \pi}{4(0.0157)} \sqrt{1 + \left(\frac{2.66 \pi}{1.5}\right)^2 \left(\frac{912 + 50}{912 + 20}\right)} = 11,100 \text{ - microhms por pie a } 50^\circ\text{C}$$

$$R_{st} = \left[\frac{(62.9)(11.1)}{62.9 = 11.1} \right] 1000 = 9.435 \text{ microhms por pie a } 50^\circ\text{C}$$

$$K_s = 1.00; \quad K_p = 0.80$$

$$\frac{R_{dc}}{K_s} = \frac{8.46}{1} = 8.46; \quad Y_{cs} = 0.14 (X_s); \quad X_s = 0.875 \text{ ---}$$

$$\sqrt{\frac{f K_s}{R_{dc}}}$$

$$X_s = 0.875 \sqrt{\frac{60(1)}{8.46}} = 2.33$$

$$Y_{cs} = 0.14 (2.33) = 0.3262$$

Donde:

K_s = Factor de corrección del efecto Skin para un conductor concéntrico redondo.

K_p = Factor de conductividad para calcular el efecto de proximidad.

Y_c = Debido a las pérdidas originadas en el conductor se tienen componentes Y_{cs} debidas al efecto Skin, y Y_{cp} debidas al efecto de proximidad.

X_s = Esta dada en función del efecto Skin.

S = Separación axial entre cables adyacentes en pulgadas.

$$S = 2.66 + 0.10 = 2.76 \text{ pulgadas.}$$

$$\frac{R_{dc}}{K_p} = \frac{8.46}{0.80} = 10.575$$

$$F(X_p) = 0.075$$

$$Y_{cp} = 4 \left(\frac{D_c}{S} \right)^2 F(X_p) X_s$$

$$Y_{cp} = 4 \left(\frac{1.632}{2.76} \right)^2 (0.075) (2.33) = 0.244$$

$$1+Y_c = 1 + 0.3262 + 0.244 = 1.5702$$

$$X_m = 52.9 \text{ Log. } 2.3 \frac{S}{D_s}$$

$$X_m = 52.9 \text{ Log. } \frac{(2.3)(2.76)}{2.661} = 20.0 \text{ microhms por Pie}$$

Donde:

X_m = Reactancia mutua en Microhms por pie

D_s = Diámetro exterior de la pantalla.

$$Y_s = Y_{sc} = \frac{Xm^2}{R_s R_{dc}} / 1000$$

$$Y_{sc} = \frac{(20)^2 (2.33)}{(9.435)(8.46)} / 1000 = 0.0116$$

$$Y_p = \frac{0.895 - 0.115 D_p}{R_{dc}}$$

$$Y_p = \frac{0.89 (2.76) - 0.115 (8.125)}{8.46} = 0.1799$$

$$\frac{R_{ac}}{R_{dc}} = 1 + Y_c + Y_s + Y_p$$

Donde la relación ac/dc del conductor es: $1 + Y_c$, -
de la pantalla $1 + Y_c + Y_s$ y la del tubo es: $1 + Y_c + Y_s +$
 Y_p

$$\frac{R_{ac}}{R_{dc}} = 1.5702 + 0.0116 + 0.1799 = 1.7617$$

$$q_s = 1 + \frac{Y_s}{1 + Y_c} ; \quad q_c = 1 + \frac{Y_s + Y_p}{1 + Y_c}$$

$$q_s = 1 + \frac{0.0116}{1.5702} = 1.0073 \quad q_c = 1 + \frac{0.0116 + 0.1799}{1.5702} =$$

$$1.1219$$

Donde:

q_s = Suma de pérdidas en conductores y pantalla.

q_c = Suma de pérdidas en conductores, pantalla y

tubo.

$$\epsilon_r = 3.5; E = \frac{230}{3} = 132.79 \text{ KV}; C_{os} \phi = 0.005$$

ϵ_r = Capacitancia inductiva especifica del aislante.

$C_{os} \phi$ = Factor de potencia.

Pérdidas en el dieléctrico:

$$W_d = \frac{0.00276 E^2 \epsilon_r C_{os} \phi}{\log. (2T + D_c) / D_c} \text{ Watts por pie de conductor a 60 Ciclos.}$$

$$W_d = \frac{0.00276 (132.79)^2 (3.5) (0.005)}{\log. [2 (0.505) + 1.632] / 1.632} = \frac{0.852}{0.2092} =$$

4.07 Watts por pie de conductor.

Donde:

E = Voltaje al neutro en KV.

T = Espesor del aislamiento.

D_c = Diámetro exterior del conductor.

$$\beta_i = 550; R_i = 0.012 \beta_i \log. \frac{D_i}{D_c}$$

$$R_i = 0.012 (550) \log. \frac{2.642}{1.632} = 1.38 \text{ ohms-pie térmicos.}$$

Donde:

ρ_i = Resistividad térmica del aislamiento.

R_i = Resistencia térmica del aislamiento.

D_i = Diámetro exterior del aislamiento.

D_c = Diámetro exterior del conductor.

n' = 3; $D_{s'}$ = 2.15 x D_s

$R_{sd} = \frac{n' A'}{D_{s'} + B'}$ = ohms.pie térmicos

$R_{sd} = \frac{3 (2.1)}{5.72 + 2.45} = 0.771$ ohms por pie térmicos.

Donde:

n' = Número de conductores.

A' = Constante para un cable tipo tubo en aceite.

B' = Constante para el tubo metálico.

Resistencia térmica de la pared del tubo y de su recubrimien
to:

$t = 0.50$; $D_e = 8.63 + 1.00 = 9.63$ para 1/2 pulga-

da de mastique asfáltico en la pared del tubo.

$$R_d = 1.04 n' \left(\frac{t}{D_e - t} \right) \text{ ohms por pie térmicos.}$$

$$R_d = 1.04 (3) \left(\frac{0.50}{9.63 - 0.50} \right) = 0.17 \text{ ohms por pie térmicos.}$$

Donde:

t = Espesor del aislamiento.

D_e = Diámetro exterior del tubo.

n' = Número de conductores.

Resistencia térmica efectiva entre los cables y el tubo con la tierra circundante.

$$\bar{\rho}_2 = 80; L = 36 \text{ pulgadas, (LF) = 0.85}$$

$$N = .1; F = 1, D_x = 8.3 \text{ pulgadas.}$$

$$\bar{R}_e' = 0.012 \bar{\rho}_2 n' \left[\log. \frac{D_x}{D_e} + (LF) \log. \left[\frac{4L}{D_x} F \right] \right]$$

$$\begin{aligned} \bar{R}_e &= (\text{al } 85\% \text{ del factor de pérdidas}) = 0.012 (80) \\ &(3) \left[\log. \frac{8.3}{9.63} + 0.85 \log. \left[\frac{4(36)}{8.3} (1) \right] \right] = \\ &2.85 \text{ ohms por pie térmicos.} \end{aligned}$$

$$\overline{R}_e = (\text{al factor de pérdidas unitario}) = 0.012 \quad (80)$$

$$(3) \left[\log. \frac{8.3}{9.63} + 1 \log. \left[\frac{4 (36)}{8.3} \right] (1) \right] = 3.38$$

ohms por pie térmicos.

Donde:

\overline{R}_e = Resistencia térmica de la tierra circundante al tubo.

(LF) = Factor de pérdidas por unidad.

N = Número de tubos.

F = Es igual a 1, cuando N = 1

D_x = Diámetro ficticio donde se inician los efectos de las pérdidas.

D_e = Diámetro exterior del tubo.

Cálculo de las pérdidas de capacidad.

$$\overline{R}_{ca} = \overline{R}_i + q_s \overline{R}_{se} + q_e \overline{R}_e, \text{ ohms por pie térmicos.}$$

$$\overline{R}_{ca} = 1.38 + 1.0073 (0.771) + 1.1219 (0.17 + 2.85)$$

$$= 5.5447 \text{ ohms por pie térmicos.}$$

Cálculo del aumento de temperatura.

$$\Delta T_d = W_d \left(\frac{I^2}{2} + R_{sd} + R_d + R_{e'} \right)$$

$$\Delta T_d = 4.07 (0.69 + 0.77 + 0.17 + 3.38) = 20.39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$T_d = 25^\circ\text{C}$ Temperatura ambiente.

$T_c =$ Temperatura del Conductor 85°C

$$I = \sqrt{\frac{T_c - (T_d + \Delta T_d)}{R_{dc} (1 + Y_c) R_{ca'}}} \text{ Kiloamperes}$$

$$I = \sqrt{\frac{85 - (25 + 20.39)}{8.46 (1.5702) 5.5447}} = 0.733 \text{ KA}$$

$$S = \sqrt{3} I V \text{ (MVA)}$$

$$S = \sqrt{3} \times 733 \times 230 = 292 \text{ MVA}$$

CAPITULO 3

PRUEBAS AL CABLE Y A LA TUBERIA

- 3.1.- PRUEBAS AL CABLE EN FABRICA
- 3.2.- PRUEBAS A LA TUBERIA EN FABRICA
- 3.3.- PRUEBAS DURANTE LA INSTALACION
- 3.4.- PRUEBAS FINALES
- 3.5.- LOCALIZACION DE FALLAS

I N T R O D U C C I O N

La función primordial de los conductores eléctricos, es la de transmitir eficientemente energía eléctrica entre dos puntos. Esto puede asegurarse mediante el control de la calidad de los cables a través de las pruebas que se realizan en los laboratorios especializados de los fabricantes; sin embargo, en la mayoría de los casos, el fabricante tiene poco o nulo control sobre las operaciones de transporte, instalación y conexión (empalmos y terminales) de los cables, por lo que es preciso recurrir a las pruebas de campo para asegurar una adecuada recuperación sobre la inversión realizada.

En México, por lo que respecta a este tipo de pruebas, no existe todavía un criterio definido de aplicación, pero sí se exigen y realizan pruebas de aceptación y programas de mantenimiento preventivo de circuitos importantes a través de pruebas periódicas en el campo.

Cabe mencionar que en los países con alto grado de desarrollo industrial, se tiene ya un bien entendido concepto sobre este tipo de pruebas y de su influencia directa sobre la confiabilidad y economía de los sistemas eléctricos.

3.1 PRUEBAS AL CABLE EN FABRICA

Las pruebas de recepción que se realizan en fábrica, sirven para detectar posibles fallas o defectos en la manufactura del cable.

Estas pruebas se clasifican de la siguiente manera:

3.1.1 Pruebas a cada tramo del cable.

3.1.2 Pruebas en muestras.

3.1.1.- Pruebas a cada tramo del cable.- Estas pruebas se efectúan para conocer el estado del cable en su aspecto eléctrico; cabe mencionar que el cable se fabrica por tramos para su fácil instalación y las pruebas que se mencionan a continuación, se efectúan a cada uno de los tramos.

a) Medición de la resistencia del conductor a la corriente directa. Esta medición se realiza a temperatura y presión ambiente y sirve para calcular las pérdidas por efecto Joule del cable.

Procedimiento.- Se coloca el tramo del cable en el área de pruebas hasta que alcanza la temperatura del medio

ambiente, mientras tanto, en los extremos del cable, se quitan las cubiertas dejando sólo el conductor donde se conecta un puente de Kelvin para medir directamente la resistencia del tramo; además, se coloca un termómetro lo más cerca posible al cable, para mayor exactitud en las lecturas.

- b) Prueba de alta tensión. Esta prueba se realiza después de la medición de la resistencia óhmica. Tiene por objeto asegurar que no haya falla en el aislamiento a lo largo del tramo de prueba.

Procedimiento.- El conductor se coloca firmemente en forma vertical en el área de prueba a la temperatura y presión ambiente.

Se aplica una tensión de prueba en un extremo del conductor, conectando la pantalla a tierra. La prueba dura aproximadamente 15 minutos y la tensión aplicada se va incrementando, es decir, el voltaje inicial es el 20% del total de la tensión de prueba y este se va incrementando en tiempos no menores de 10 segundos ni mayores de 60 segundos.

- c) Prueba de factor de ionización. El factor de ionización de un dieléctrico es un índice obtenido de la

diferencia del factor de potencia medido a un aislamiento para un esfuerzo máximo de 100 Volts por milésima de pulgada y el medido a un esfuerzo para el cual el factor de potencia resulte mínimo.

Procedimiento.- Con un puente de Shering (Fig. 3.1) se miden los valores del factor de potencia a diferentes tensiones o esfuerzos eléctricos con toda precisión.

Es importante hacer notar, que el puente de Shering no mide en realidad el factor de potencia ($\cos \phi$) sino el valor $\cot \phi$, sin embargo cuando está cerca de los 90° , como en el caso de la mayoría de los dieléctricos: $\cot \phi$ es para fines prácticos igual a $\cos \phi$.

3.1.2.- Pruebas en muestras.- Estas pruebas se efectúan para conocer el estado del cable en su aspecto mecánico y eléctrico.

a) Prueba de integridad mecánica. Esta prueba tiene por objeto, examinar cuidadosamente el estado de cada uno de los elementos constitutivos del cable.

Procedimiento.- La muestra del cable seleccionada,

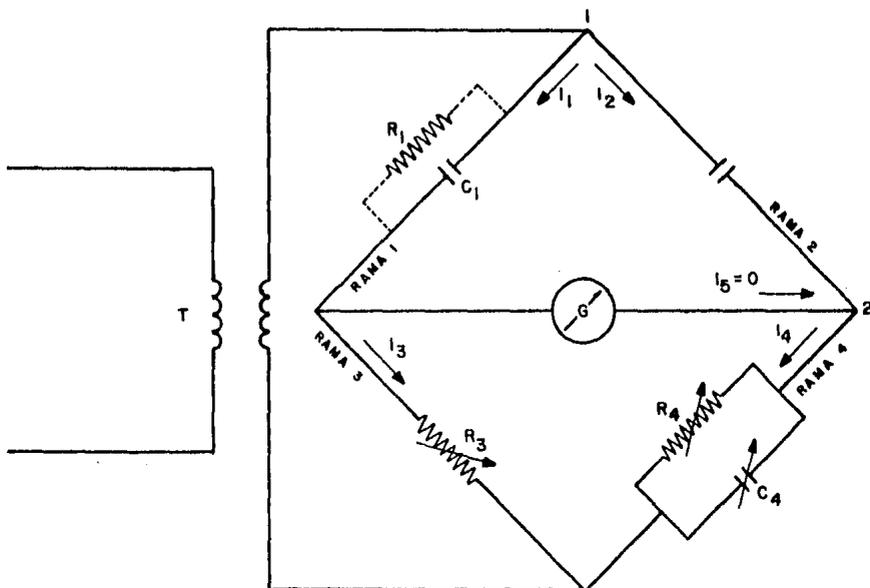


FIG. 3.1 DIAGRAMA DEL PUENTE DE SHERING PARA MEDIR FACTOR DE POTENCIA A DIFERENTES TENSIONES.

- C_1 .- Cable cuyo f.p. y capacitancia han de medirse.
- C_2 .- Condensador de valor patrón
- C_4 .- Condensador variable en el puente.
- R_1 .- Resistencia imaginaria que representa la componente de pérdidas dieléctricas del cable.
- $R_3 = R_4$.- Resistencia variable no inductiva en el puente.
- G .- Amplificador sintonizado y detector de cero.

se corta cuidadosamente de tal manera que no presente daños mecánicos durante el corte; si el promedio de espesor del aislamiento es menor que el valor especificado se considera rechazada la muestra.

Después de verificar el espesor, se quita el aislamiento en no más de cinco cintas a la vez, examinando estas cuidadosamente para determinar el número de registros (ausencias de traslape entre cintas adyacentes), arrugas, desgarramientos o cualquier otro tipo de imperfecciones que afecten el aislamiento.

Si el 10% o más de las cintas presentaran defectos como los mencionados, entonces un tramo o muestra con el mismo grado de defectos se somete a una prueba de alta tensión durante 30 minutos. Si la muestra pasa esta prueba, el tramo de cable del cual fué seleccionada se considera satisfactorio.

b) Prueba de dobles en frío.- Esta prueba se realiza una vez por cada 15,240 mts. (50,000 pies) de cable o fracción en exceso de 4,572 mts. (15,000 pies).

La muestra seleccionada debe medir entre 3 y 6 mts.

(10 y 20 pies) de longitud, conservando los hilos de deslizamiento en su lugar.

Procedimiento.- La muestra se somete a una temperatura de -10°C por un tiempo mínimo de dos horas, inmediatamente después y tan rápido como sea posible se dobla alrededor de un mandril, el cual tiene 16 veces el diámetro del cable.

Se dobla la muestra hasta que forme un ángulo de 180° .

El cable se sujeta de tal forma, que durante el doblez no gire alrededor de su eje longitudinal.

Después, la muestra se corta en tres partes de manera que, en la parte central que es la más fatigada se pueda examinar la deformación sufrida por el aislamiento.

El mínimo espesor de aislamiento medido en esta muestra, no debe ser menor del 80% del valor especificado.

De las dos piezas restantes, se quita el aislamiento procurando no quitar más de cinco cintas a la vez, estas se examinan cuidadosamente para observar posibles daños al papel, como pueden ser: cortaduras, grietas o cualquier otro daño -

ocasionado por la prueba.

- c) Prueba de pérdidas y factor de potencia del dieléctrico. El equipo utilizado es el mismo que el descrito en las pruebas de alta tensión y factor de ionización a temperatura y presión ambiente.

Procedimiento.- La muestra se coloca dentro de un tubo con aceite para cables a una presión de 14 Kg./cm².

Las pérdidas en el dieléctrico y el factor de potencia se obtienen cuando menos a tres temperaturas diferentes y a voltaje y frecuencia nominales.

Si el factor de potencia excede el valor del establecido como norma, se rechaza la muestra.

- d) Prueba de factor de ionización. La prueba se realiza de la misma manera que se hace a cada tramo del cable, excepto a aquellas que se efectúan a la presión y temperatura ambiente, en este caso se realiza de la misma manera que la prueba anterior.

- e) Prueba de alta tensión-tiempo. En esta prueba, la -

muestra se coloca dentro de una tubería con aceite, a una presión que no exceda de 7 Kg./cm².

Se le aplica una tensión de 16,929 V/mm. durante 6 - horas.

3.2 PRUEBAS A LA TUBERIA EN FABRICA

Estas pruebas se realizan para verificar las especificaciones con las que se fabrica la tubería.

Se clasifican como sigue:

3.2.1 Pruebas efectuadas a la materia prima.

3.2.2 Pruebas efectuadas a tramos terminados de tubería.

3.2.1.- Pruebas efectuadas a la materia prima (rollos de lámina.

a) Análisis químico en %.- Esta se efectúa por los métodos gravimétricos y volumétricos determinando el % de carbono, manganeso, fósforo y azufre, tomando como referencia la norma.

- b) Pruebas de tensión.- Estas pruebas se realizan en probetas de lámina de acero para determinar sus propiedades mecánicas.

Estas probetas se someten a esfuerzos de tensión. Es un requerimiento esencial que la carga sea transmitida axialmente.

A continuación se mencionan los procesos para determinar las propiedades mecánicas de las probetas:

1. Límite elástico.- Para encontrar este parámetro se aplica un incremento de carga a la probeta en un rango uniforme; cuando el indicador de carga se detiene o vacila se anota la carga, siendo este punto donde se obtuvo el esfuerzo correspondiente al límite elástico.
2. Resistencia a la tracción.- Es el esfuerzo correspondiente a la máxima carga alcanzada en prueba de tensión. La resistencia a la tracción se calcula dividiendo la máxima carga alcanzada por la probeta durante la prueba de tensión, entre el área de la sección transversal original de la misma.
3. % de alargamiento.- Es el incremento en longitud de

la probeta obtenido después de la fractura de la misma. Este parámetro se obtiene graduando la probeta con marcas finas, delgadas y exactamente espaciadas, sobre el plano o en el borde. Una vez graduada, se somete a la prueba de tensión; cuando la probeta se fractura se juntan sus extremos y se mide la distancia entre las marcas graduadas, obteniéndose así el incremento de longitud. Este parámetro es generalmente especificado en % y es considerado como una medida de la ductilidad del material.

3.2.2.- Pruebas efectuadas a tramos terminados de tubería.

a) De tensión. Para este tipo de pruebas se toman dos tipos de probetas que son longitudinales y transversales.

Dichas probetas se someten a la prueba de tensión mecánica descrita anteriormente.

Para la prueba al cuerpo del tubo sin soldadura, se toma la probeta longitudinalmente al tubo sin contener reborde de soldadura.

b) Al cordón de soldadura. Esta prueba se efectúa to-

mando como muestras trozos del cordón de soldadura, las cuales se encapsulan en plástico y se pulen perfectamente para que sean analizados en el microscópio.

- c) De aplastamiento. Esta prueba se realiza por muestreo, cortando anillos en los extremos del tramo de tubo bajo prueba. Estos anillos son aplastados en frío entre dos planchas paralelas, en tres etapas, con la soldadura colocada alternativamente a 0° y 90° de la línea en la dirección de la fuerza.

Durante la primera etapa, se prueba la ductilidad del material; la probeta no debe rajarse o agrietarse en sus superficies interior o exterior.

Durante la segunda etapa de aplastamiento continuo, es una prueba de ductilidad exclusivamente de la soldadura y esta no debe agrietarse o romperse antes que la distancia entre las planchas sea menor que $1/3$ del diámetro exterior original del tubo.

Durante la tercera etapa, la cual es una prueba de solidez, el aplastamiento continúa hasta que la probeta se

rompa o se junten las dos paredes opuestas del tubo.

- d) Análisis químico en %. Estas pruebas se efectúan en las probetas utilizadas en el inciso a), y de la manera ya descrita anteriormente.
- e) De presión hidrostática. En esta prueba, los tramos de tubo se sellan en sus extremos y se llenan con agua a una presión establecida, por medio de una compresora de pistón. Esta prueba debe durar un mínimo de 5 segundos sin que haya fuga; además durante ésta, se golpea con un mazo cerca de la soldadura y a lo largo del tubo.
- f) Dimensiones y peso. Como prueba final se verifica en cada uno de los tramos, que las dimensiones y peso estén de acuerdo con las especificaciones. En lo que respecta al cable considerado tenemos las siguientes especificaciones:

P e s o : No debe variar más del 5% del peso especificado.

Diámetro exterior : No debe variar en 1% del especificado.

Espesor de la pared : El espesor mínimo de la pared en cualquier punto, no debe ser menor de 12.5% ni mayor de 15%.

Longitud : Mínima permisible: 10.67 mts.
Máxima permisible: 15.2 mts.

En cuanto a las terminales del tubo, como tienen que ser abocinadas para soldarse, con anillos de respaldo, se deben verificar las dimensiones tanto de los anillos como del abocinado, de acuerdo a las especificaciones de la norma.

3.3 PRUEBAS DURANTE LA INSTALACION

El proceso de instalación de los cables es bastante complicado, tanto por la instalación misma, como por los problemas que ocasiona ésta dentro de zonas tan densamente pobladas como es el caso de la Ciudad de México, en donde hay muchas limitaciones en los permisos especiales para las obras necesarias cuando el cable cruza avenidas, vías de tren y pasos a desnivel.

Las pruebas que se realizan durante la instalación

tienen como finalidad garantizar la integridad mecánica y eléctrica del cable, las cuales son:

3.3.1.- Prueba a las soldaduras. Los tubos llevan un extremo abocinado con un ángulo de 5 grados para facilitar su unión en el cual va un anillo de respaldo que facilita la penetración de soldadura y la reparación entre tubos. Estas soldaduras se hacen una vez que los tubos se encuentran dentro de la trinchera, y es necesario inspeccionarlas para asegurar que las uniones se encuentran en perfecto estado.

La inspección se puede realizar por medio de rayos X, por el método gamagráfico u otros.

Por cualquiera de estos métodos se pueden detectar si existen: burbujas, escorias, falta de fusión, fisuras, falta de penetración, grietas, porosidades, etc.

En caso de encontrar una o varias de las imperfecciones mencionadas en la soldadura, se rechaza la unión soldada y se realiza nuevamente hasta obtener resultados satisfactorios.

3.3.2.- Prueba a la cubierta del tubo. Una vez unidos los

tubos y colocadas sus mangas aislantes en las uniones, es necesario, antes de cubrir la tubería con arena, comprobar la integridad de la cubierta de polietileno, ya que durante el traslado o en la instalación pudiera haberse dañado.

La prueba se realiza con un detector de impulsos de alta tensión, que presenta la forma de un cinturón. Este detector se desliza por la cubierta y al pasar sobre una perforación, se establece un arco entre el detector y la tubería conectándose de esta forma una alarma que indica la existencia de la perforación o grieta y se procede de esta manera a repararla de inmediato.

3.3.3.- Prueba de presión a la tubería. La prueba de presión se realiza por tramos entre dos pozos de visita consecutivos, de la siguiente manera: se coloca una brida ciega en uno de los extremos y en el otro extremo una brida con una válvula, la cual permite la entrada de gas nitrógeno para realizar la prueba.

Se introduce el gas con ayuda de una válvula que cierra o abra el paso a dicho gas y con un manómetro se mide la presión y esta se mantiene durante 12 horas como mínimo. Si

existe alguna fuga de gas, este no se reemplaza solo se lleva un registro de caída de presión. Para saber si la tubería es aceptable con alguna fuga, esta debe de estar bajo los lineamientos marcados o establecidos.

Generalmente, cuando existe alguna fuga y su magnitud es considerable, ésta logra salir a la superficie y es fácilmente observable. Si la fuga es demasiado pequeña y no llega a la superficie, se emplea el siguiente método para localizar el punto exacto de la falla:

Se introduce gas freón a la tubería en pequeñas cantidades, revolviéndose con el nitrógeno y manteniendo la presión de prueba. Sobre el terreno, a lo largo de la tubería y al nivel del tubo se introducen electrodos (varillas huecas) y con un detector de gas freón se mide el contenido de éste - en cada uno de ellos y cuando en alguno se detecta la presencia de dicho gas, se colocan otros electrodos a distancias - más cortas, con el objeto de precisar el lugar de la falla, - hecho lo cuál, se procede a la reparación de la tubería.

3.3.4.- Prueba de caída de vacío de la tubería. Esta prueba se realiza entre pozos de empalme consecutivos y su principal

función, es asegurar la estanqueidad de la tubería y la de eliminar la humedad existente en el interior de la misma, para posteriormente proceder a introducir los cables.

La prueba se inicia evacuando con una bomba de vacío el aire de los tramos del tubo, hasta alcanzar una presión determinada. Para esta medición se emplea un vacuómetro el cual se instala en el extremo opuesto al de la colocación de la bomba. El bombeo se mantiene durante cuatro horas aproximadamente en el valor más bajo alcanzado e inmediatamente después se procede a parar la bomba de vacío.

3.3.5.- Prueba al aceite. Para poder utilizar el aceite, debe de preacondicionarse, es decir, debe pasar por un proceso de deshidratado y desgasificado, con la finalidad de eliminar al máximo el contenido de gases, humedad y partículas contaminantes.

El deshidratado al vacío, es un medio eficiente para reducir hasta valores muy bajos el contenido de gases y agua en un aceite aislante. Actualmente, existen dos tipos de deshidratadores para uso general. El principio básico de operación es el mismo para ambos, es decir, el aceite aislante

te expuesto a un alto vacío y calentado por cortos intervalos.

En un método, la exposición del aceite va acompañado por atomización a través de una boquilla dentro de una cámara de vacío. Con el otro tipo de deshidratador al vacío, el aceite es forzado a fluir sobre una serie de deflectores dentro de la cámara de vacío para formar partículas pequeñas de tal manera que una gran superficie sea expuesta al vacío.

Además de eliminar el agua, los deshidratadores al vacío desgasifican el aceite aislante y eliminan los contaminantes más volátiles. Dichos deshidratadores están provistos de algunos medios que permiten la recirculación automática del aceite cuando está muy húmedo.

3.4 PRUEBAS FINALES

Son las que se efectúan al cable antes de entrar en servicio, para verificar que se encuentra en condiciones de ser energizado.

3.4.1.- Análisis cromatográfico del aceite. El cromatógrafo es un aparato que mide la cantidad de los distintos gases

disueltos en el aceite.

Mediante un análisis del contenido de gases en el aceite es posible detectar fallas incipientes, es decir, fallas que no se manifiestan con suficiente intensidad, ya que son muy pequeñas para ser detectadas por alguna prueba dieléctrica y bastante grandes como para hacer que el cable llegue a fallar en un tiempo determinado durante su operación. Entre las fallas más comunes que se pueden detectar por este medio, están: fallas en el aislamiento y calentamiento excesivo.

Para observar la tendencia de los gases disueltos en el aceite es necesario que esta prueba se realice en el siguiente orden:

- a) Antes de la prueba de resistencia de aislamiento y de alta tensión.
- b) Después de estas pruebas.
- c) Después de la prueba de temperatura.

Las muestras de aceite se toman en las terminales y

en los empalmes a través de sus válvulas de muestreo, con jeringas especiales.

3.4.2.- Prueba de resistencia de aislamiento. Esta prueba sirve para conocer el estado del aislamiento, además puede servir para detectar errores en la construcción de los empalmes, mufas y conexiones. Es preliminar a la de alta tensión para evitar daños mayores si los hubiera.

Se calcula el valor mínimo de resistencia de aislamiento con la siguiente fórmula:

$$R_{\min} = K \log. \frac{D}{d}$$

donde:

R min = Resistencia mínima en Megaohms/Km.

K = Constante para el aislamiento

D = Diámetro sobre el aislamiento en mm.

d = Diámetro bajo el aislamiento en mm.

De aquí se obtiene un valor mínimo de resistencia de acuerdo a las características del cable, el cual se va a comparar con los valores medidos en la prueba los cuales, deben ser iguales o mayores al calculado.

3.4.3.- Prueba de alta tensión. El objeto de esta prueba es comprobar que el cable se encuentra en condiciones de operar satisfactoriamente ante los esfuerzos eléctricos a que es tará sometido.

En esta prueba se someten los aislamientos a un esfuerzo muy grande y si existe alguna imperfección en la construcción o en el armado del cable, la posibilidad de que se presente la falla es muy alta.

La fuente para dar el voltaje de prueba puede ser de la corriente alterna o de corriente directa.

La prueba se va realizando por fases en un determinado tiempo. El voltaje se aplica entre conductor y tierra, observándose que el cable tenga la presión normal en el aceite para evitar una posible falla por ionización. Los conductores que no están bajo prueba se conectan a tierra.

3.4.4.- Prueba de temperatura. El objetivo principal de la prueba, es encontrar el gradiente térmico que existe entre conductor y tubería, así como posibles puntos calientes en es ta última y también comprobar que la capacidad de diseño es correcta y que el cable podrá operar satisfactoriamente, sin

que en alguna de sus partes se excedan las temperaturas máximas establecidas por la norma.

La prueba se divide en dos etapas:

a.- Calentamiento.

b.- Enfriamiento.

a.- Calentamiento del cable.- Consiste en hacer circular una corriente eléctrica a través del cable, - - igual a la corriente máxima de trabajo. El valor - de esta corriente corresponde a un factor de carga (valor especificado por el fabricante).

Las mediciones de las temperaturas se efectúan en - los conductores, empalmes, pantallas y tubería.

Es importante señalar que la temperatura en la tubería no debe superar los 60°C, porque es en este punto donde - se inicia la migración de humedad en la arena térmica que cubre el cable, provocando la llamada "carrera térmica" que llevaría a la destrucción del mismo.

La temperatura de la tubería, empalmes y pantallas ,

se toma directamente de los termopares colocados en los pozos de visita, haciendo recorridos a lo largo de la ruta con intervalos aproximados de una hora.

Como no es posible medir directamente la temperatura del conductor, esta se obtiene midiendo el incremento de su resistencia a la corriente directa, utilizando un puente de Kelvin. La toma de lecturas se realiza cada cuatro horas, siendo necesario desenergizar el cable, procurando que para ello se emplee el menor tiempo posible.

El calentamiento del cable termina, cuando en tres lecturas sucesivas de la temperatura del conductor no haya una diferencia mayor de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, lo que indica que dicha temperatura se ha estabilizado.

b.- Enfriamiento del cable.- El enfriamiento comienza en el momento que el cable es desenergizado.

En esta parte de la prueba se observa la tendencia de la temperatura del cable a igualar la del medio ambiente. Las mediciones en la tubería, empalmes y pantallas son tomadas en la forma descrita sólo que la temperatura del conductor es registrada cada quince minutos.

3.5 LOCALIZACION DE FALLAS

Las fallas en los cables de energía aislados, pueden presentarse en el momento de efectuar las pruebas de aceptación o durante su operación.

La localización de fallas en cables subterráneos debe ser tan exacta como sea posible, para permitir con el mínimo de trabajo la exposición de la falla. En los casos donde la longitud y ruta del cable son bien conocidos, es solamente necesario determinar la distancia del extremo de medición a la falla. En muchos casos sin embargo, sólo la localización de las terminales del cable es conocida y la ruta entre ambos extremos desconocida, por no existir planos o haberse tenido modificaciones.

Puesto que hay muchos tipos de cables, métodos de instalación y condiciones del medio, es difícil que con un solo tipo de equipo, pueda hacerse todo tipo de localización de fallas. Todavía la localización de fallas debe considerarse como un arte, porque nunca dos fallas son similares. Cada una presenta un reto al ingenio de la persona que trata de localizar la falla con precisión.

3.5.1.- Tipos de fallas. Podemos considerar como principales fallas, las siguientes:

- 1.- Daño mecánico.
- 2.- Mano de obra defectuosa en terminales y empalmes.
- 3.- Temperaturas excesivas.
- 4.- Efecto corona.
- 5.- Sobretensiones.
- 6.- Medio químico (corrosivo).

3.5.2.- Localización del lugar de la falla. La localización exacta del lugar de la falla, se logra por medio de los métodos rastreadores usando uno o más detectores.

En instalaciones de ductos, una falla se considera "localizada" cuando ésta se aísla entre dos puntos accesibles donde el cable puede ser reemplazado. En otras instalaciones la falla es considerada "localizada" cuando su posición precisa es conocida y puede ser expuesta para su reparación.

Ahora mencionaremos un método el cual debido a su -

precisión ha sido usado ampliamente, ya que se aplica en cualquier tipo de cables con o sin pantalla y en todo tipo de instalación (método de impulsos).

Eléctricamente todas las fallas pueden ser representadas por una capacitancia en paralelo con una resistencia como se indica en la Fig. 3.2

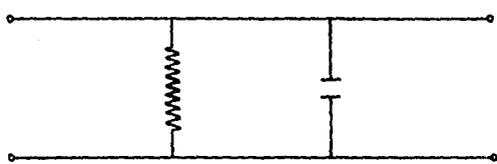


FIG. 3.2 CIRCUITO ELECTRICO EQUIVALENTE.

Aunque el circuito eléctrico es sencillo, las variaciones en las condiciones de las dos trayectorias pueden cubrir un rango extremadamente ancho, con la resistencia cubriendo desde un valor muy pequeño hasta los Megohms y la tensión de ruptura variando de cero hasta muchos miles de volts.

En el método de impulso para la localización de fallas, un capacitor o grupo de capacitores se carga a través de una fuente rectificadora de alta tensión a una tensión apro

piada y a continuación se descarga a través del cable defectuoso. La onda de impulso que se produce corre a lo largo del cable hasta que llega a la falla. Esta operación es automáticamente repetida por el generador de impulsos, hasta que la falla es localizada.

Cuando la onda de impulso llega a la falla, ésta puede disiparse por sí misma ya sea a través de la trayectoria de la resistencia o mediante formación de arco por la capacitancia. En todo caso libera su energía a tierra, proporcionando una corriente o sonidos que pueden ser detectados. Si la energía pasa solamente a través de la trayectoria de la resistencia, no se producirá arco y la detección debe ser en forma electromagnética. Si la resistencia de la falla es muy alta, y la tensión de la onda es suficiente, se producirá formación de arco en la capacitancia y el dispositivo detector puede ser del tipo acústico o electromagnético.

Es importante recordar que la resistencia de la falla puede ser infinitamente alta pero puede ser localizada por el método de impulsos, siempre y cuando el valor pico de la onda de tensión y el tiempo de duración sean suficientes para provocar el arco.

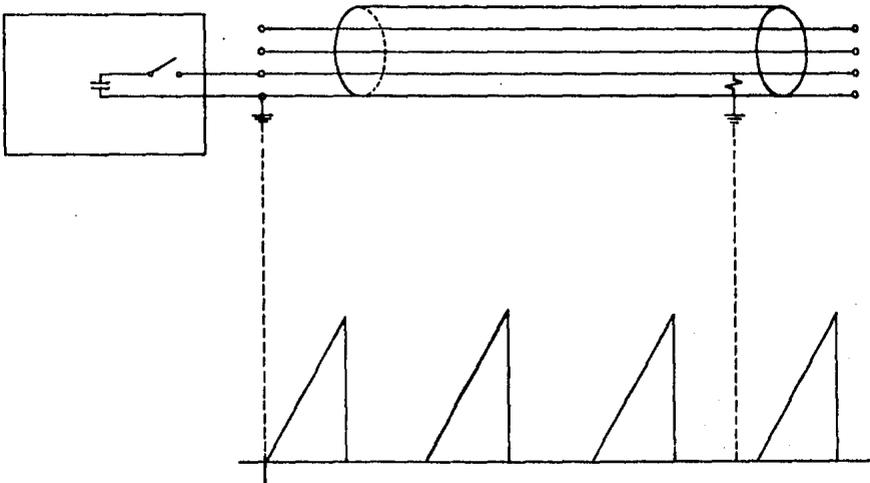


FIG. 3.3 METODO DE IMPULSOS.

Básicamente el arco se determina por dos cosas, la naturaleza de la falla y la magnitud y forma de la onda de tensión. Esta última se determina por la sección del generador de impulsos.

La duración o longitud de la onda de impulso se determina por el régimen capacitivo del generador de impulsos, es muy importante la selección del equipo. En la Fig. 3.3 se muestra uno de tantos equipos que se usan para la localización de fallas por el método de impulso.

Sin embargo, al estar directamente en ductos o tubos o cuando las cubiertas no han sido dañadas, se requiere un detector.

El tipo de detector que se emplea extensamente depende de una bobina captadora electromagnéticamente. La corriente impulsiva en el cable, induce una tensión en la bobina captadora del detector. Esta tensión carga una serie de capacitores en proporción con la carga reflejada de la falla. La serie de capacitores se carga rápidamente, pero la descarga es lenta, esta característica proporciona buenas peculiaridades balísticas al medidor eléctrico, el cual responde con una pulsación lenta legible al impulso muy rápido recorrido por la bobina captadora.

Con el detector acústico, el operador recibe señales de tres fuentes: dos captadores de tipo sísmico que responden a la energía acústica emitida por la formación del arco y la tercera es una bobina captadora magnética. El captor magnético proporciona una inducción de la onda de impulso en el cable y alerta al operario para que escuche la pulsación acústica y de esta forma se aproximará hasta el lugar exacto de la falla, donde la intensidad del sonido estará en su máximo.

CAPITULO 4

INSTALACION DE UN CABLE SUBTERRANEO TIPO TUBO

- 4.1.- OBRA CIVIL
- 4.2.- SOLDADURA Y LIMPIEZA DE LA TUBERIA
- 4.3.- PROTECCION DE LA TUBERIA CONTRA LA CORROSION
- 4.4.- INTRODUCCION DE LOS CABLES EN LOS TUBOS
- 4.5.- EMPALMES

4.1 O B R A C I V I L

4.1.1.- Trincheras.- Una vez aprobada la ruta entre subestación y subestación para el tendido del cable y aprobadas las pruebas del terreno (tales como resistividad, grado de humedad, etc.) se procede a efectuar la excavación del terreno a lo largo de la ruta, haciéndose esto por tramos y dependiendo de la longitud de los tubos.

Estos trabajos de excavación de la trinchera deben de estar de acuerdo con el tendido del tubo y por esto, los trabajos preparatorios para la excavación se efectúan simultáneamente con la preparación del tubo para su tendido.

Por otro lado debe previamente estudiarse la trayectoria de la ruta, para determinar las zonas críticas donde habrá que abrir zanja por etapas o en horas y días no hábiles, evitando así la interrupción del tráfico de automóviles o de peatones.

Las primeras medidas que hay que tomar son:

De seguridad tanto para el personal como para peatones y automovilistas usando señalamiento y protección adecuada.

dos.

Cuando la apertura de las zanjas se hace en lugares con tráfico, es recomendable usar planchas de acero de suficiente resistencia, cubriendo la zanja para no entorpecer la circulación en el arroyo, tarimas de madera en la banqueta para los peatones y barreras limitando la zona de trabajo.

Durante la noche también se debe usar señalización luminosa adecuada que indique peligro en la zona de trabajo.

Para la apertura de la zanja, podemos mencionar los métodos manual y mecanizado, los cuales dependen del tipo de terreno y de los obstáculos que se tengan.

4.1.2.- Tipo de terreno. Normalmente existen tres tipos de material en el terreno a escoger y éstos son:

- a) Material tipo "A". Es aquel material suelto y seco no cementado como arena, cal, etc.
- b) Material tipo "B". Es el conglomerado, que al extraerlo requiere el uso de herramientas ligeras ya sea manuales o mecánicas. El tipo "B" se considera como tepetate, arcilla, etc.

c) Material tipo "C". Es el conglomerado cementado, - que para excavarlo requiere el uso de herramienta - pesada, barrenación e explosivos. El tipo "C" es - considerado como manto de roca, muros de mampostería etc.

La excavación de la zanja con equipo mecanizado en zonas urbanas o industriales, se limita a una profundidad de 40 cm. para evitar dañar cualquier otro equipo de instalaciones subterráneas, posteriormente se continuará la excavación con pala hasta tener la profundidad recomendada, teniendo cui dado de no dañar las instalaciones en operación.

El ancho y la profundidad de la excavación son función principalmente del voltaje de operación, del tipo de cable, del número de tubos y en algunas ocasiones de las condiciones del terreno.

En el caso nuestro, en el que el voltaje es de 230 KV y cable con aislamiento de papel impregnado en aceite, la profundidad de la trinchera fluctuará entre 1.20 y 1.60 metros y su anchura de 0.80 metros.

La trinchera deberá prepararse para recibir el tubo

con una "cama" de arena térmica de por lo menos 20 cm. entre el piso de la trinchera y la base del tubo. Una vez colocado el tubo se procede a cubrirlo con la arena térmica hasta alcanzar los 60 cms. de altura, apisonando la arena cuidadosamente ya sea mecánicamente o en forma manual. Posteriormente, y una vez realizadas las pruebas a la tubería, se llena la trinchera con el mismo material extraído cuidando de no hechar sobre la arena térmica piedras grandes o material que pudiese dañar al tubo o su recubrimiento. En algunas instalaciones, se acostumbra colocar avisos de peligro al estar relleno la zanja con el fin de evitar descargas peligrosas a personas que realicen futuras excavaciones sobre la trinchera. Finalmente, la trinchera se cubre con una capa de grava cementada y carpeta de concreto asfáltico. (Fig. 4.1)

4.1.3.- Pozos de visita. La localización de los pozos de visita depende de la longitud de los tramos de cable principalmente aunque otros factores, como los mencionados al principio del inciso anterior pueden afectar su localización. La distancia entre pozos consecutivos puede variar de 800 a 1000 metros, aunque actualmente ya se fabrican tramos de cable hasta de 1600 metros.

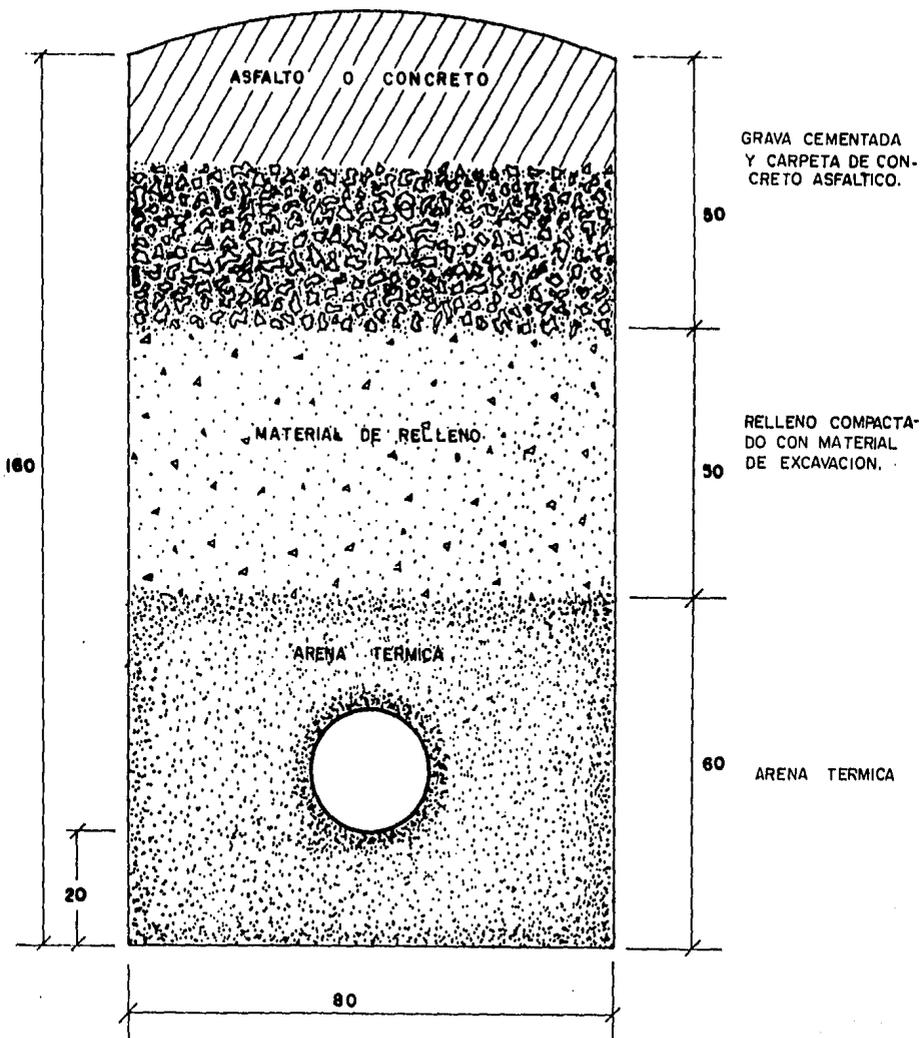


FIG. 4.1

Perfil de una trinchera para un cable tipo tubo a 230 KV.

Es en estos lugares donde se realizan los empalmes entre tramos de cable, pruebas de vacío y alta presión a la tubería, introducción de los cables a los tubos, así como estación de registro y monitoreo durante la instalación posteriormente en la operación del cable. Generalmente se construyen de concreto armado y de forma rectangular (Fig. 4.2)

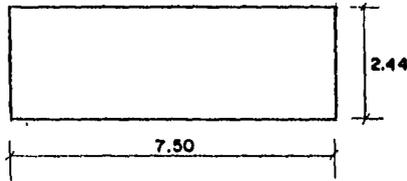


FIG. 4.2.- Dimensiones de un pozo de visita.

VISTA DE PLANTA

Normalmente estos pozos tienen una profundidad de 2.00 mts.

4.1.4.- Arenas térmicas. La arena térmica es el elemento que ayuda a disipar el calor de los tubos producido por la corriente que circula en los cables, y que por efecto Joule provoca aumentos de temperatura dentro de dichos tubos. Se loca

liza en la trinchera rodeando los tubos.

Una vez localizados los bancos de arena, se procede a hacer un análisis para la obtención al menor costo y tiempo posibles.

Los principales factores que hay que considerar son:

Medios de acceso.- Es necesario que el banco de arena se localice cerca de caminos o carreteras para fácil acceso de los transportes que la acarrearán.

Tamaño del banco.- Es necesario conocer previamente el tamaño o volúmen del banco y así saber si cumple con la cantidad solicitada.

Disponibilidad.- Se debe averiguar si tales bancos de arena se encuentran en terrenos federales o privados y si es posible extraerla en cualquier época del año.

- a) Características principales. La característica principal es que la arena posea una baja resistividad térmica, aproximadamente 100 Ohms térmicos, lo que tiene que verificarse mediante pruebas de laboratorio y de campo.

La arena no deberá presentar picos, lo que la hace un mejor disipador de calor ya que al acomodarse, permite menos espacios libres que están llenos de aire y que tienen una resistividad térmica muy alta, alrededor de 4000 Ohms-Térmicos.

Deberá contener un buen porcentaje de lama, la que dá a la arena la propiedad de retener la humedad y ocupar huecos, disminuyendo su resistividad.

El porcentaje de lama más adecuado, se ha encontrado experimentalmente que es de 8%. Cuando una arena tiene menor cantidad de lama, se puede agregar ésta hasta encontrar un valor satisfactorio. Algunas arenas tienen más lama de la requerida y quitar ese exceso puede resultar costoso.

b) Granulometría. Las arenas están constituidas por -- granos de diferentes tamaños, lo que hace necesario conocer su porcentaje de cada uno de ellos. Esto se realiza fácilmente mediante el proceso de "mallado" o cernido, que consiste en hacer pasar por mallas de diferente abertura una cantidad determinada de arena y compararla con normas calculadas analíticamente o experimentalmente aceptables. Mediante la

siguiente fórmula se puede determinar el % depositado en cada malla:

$$\% \text{ de arena en la malla Ni} = \frac{\text{Peso de la arena en la malla Ni}}{1 \text{ Kg. de arena}} 100$$

- c) Porcentaje de humedad. Es de gran importancia el grado de humedad que posea la arena, ya que influye en la forma como se disipe el calor de los tubos, además de que al hacer el compactado de la arena, ésta se distribuirá de manera más uniforme. Mediante métodos experimentales se ha determinado que el grado de humedad más conveniente es de 12 a 14%.

Este porcentaje de humedad se determina pesando una cierta cantidad de arena húmeda, que posteriormente es deshidratada mediante un secado a base de calor, aproximadamente a 105°C, volviendo a pesarse esta cantidad para conocer la cantidad de agua perdida y calculando el porcentaje con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(\text{Peso de arena húmeda} - \text{Peso arena seca})}{\text{Peso de arena húmeda}} 100$$

Esta humedad debe ser controlada al meter la arena a la trinchera.

VALORES IDEALES DE GRANULOMETRIA
CALCULADOS ANALITICAMENTE

M A L L A	% R E T E N I D O
6.0	0.5 a 4.0
12	5.5 a 8.5
20	12.5 a 15.5
30	7.0 a 12.0
40	8.5 a 13.0
50	6.0 a 11.0
70	7.0 a 13.0
100	10.0 a 19.5
140	8.0 a 14.5
200	1.5 a 4.5
270	0.5 a 2.0
cerrada	1.0 a 3.0

4.2 SOLDADURA Y LIMPIEZA DE LA TUBERIA

4.2.1.- Soldadura a la tubería. La soldadura aplicada a los tubos deberá hacerse por personal altamente calificado. Una vez que los tubos han sido alineados y colocado el anillo de respaldo, se debe cepillar perfectamente toda la superficie por soldar, eliminando todas las asperezas y rugosidades que pudieran interferir en la correcta aplicación de la soldadura. Con objeto de que se obtengan eficiencias del 100% en la soldadura, se deberán aplicar 3 pasos o cordones, los cuales son: fondeo, paso caliente y acabado; los dos primeros con electrodos de 3 mm. \emptyset para lograr una buena penetración y el tercero con un electrodo de 4 mm. \emptyset , con el objeto de llenar completamente el chaflán entre tubos.

Deberá contarse en el lugar de trabajo con el equipo adecuado para verificar la calidad de la soldadura inmediatamente después de haber sido ejecutada, y posteriormente realizar el recubrimiento de la unión. Existen varios métodos para hacer pruebas a la soldadura, aunque el más empleado es el método radiográfico, ya que este hace una fotografía de la soldadura mostrando su estructura interna y por tanto su calidad.

Ya que ha sido aprobada la parte soldada, se limpia perfectamente la zona, que se recubre con un sellador de base ahulada y cinta de polietileno, de las mismas características que la cubierta del tubo. Cuando esta operación se realice cerca de gasolinerías o refinerías que trabajan con materias sumamente volátiles, será necesario colocar sobre la parte en cintada, una capa de cinta de neopreno y en sus extremos dos bandas de acero inoxidable para prevenir filtraciones de dichas sustancias durante la instalación. Deberán usarse electrodos de la clase E-6010, según especificaciones de la AWS, apropiadas para tubo con las características antes descritas.

4.2.2.- Protección de las juntas. El siguiente procedimiento se aplica para proteger la soldadura de los tubos con una pasta especial. Después de que la soldadura ha sido inspeccionada satisfactoriamente, el tubo se limpia de impurezas y rugosidades mediante un soplete y cepillo de alambre. Esto se debe hacer con mucho cuidado y verificar que la limpieza se ha hecho en toda la periferia del tubo. Se aplica posteriormente pintura anticorrosiva en toda el área en que se colocará la pasta. Se colocan los moldes alrededor de dichas áreas y se procede al llenado. Se deberá tomar especial cuidado de -

rellenar completamente dichos moldes. Estos moldes tienen un diseño especial, de tal forma que después de haber sido cerrados, tienen aberturas para un relleno final. El molde deberá estar colocado de 1 a 1 1/2 horas.

La pasta, que tiene aproximadamente 20% de asfalto, deberá ser calentada alrededor de 375°C, evitando que llegue a inflamarse o recalentarse provocando carbonización en la superficie, lo que ocasiona una protección deficiente.

La protección deberá quedar homogénea y libre de rugosidades.

Se deberán aplicar técnicas especiales cuando se conecten tubos de diferentes diámetros. Sin embargo, actualmente existen nuevos materiales, tales como el vinil alta-presión y el polietileno que comienzan a tomar terreno en esta aplicación.

4.2.3.- Pruebas eléctricas a la cubierta del tubo. La tubería completa deberá ser probada eléctricamente antes de sepultarse y así descubrir imperfecciones, esta prueba se realiza por medio de los llamados "detectores", los cuales están provistos de un aro con alambres en forma de peine. Es deseable

que un detector esté provisto de algún indicador, sin embargo, la chispa que se produce al encontrar una falla es tanto visible como audible.

Debido al voltaje con que opera este dispositivo, - hace necesario que el operador esté debidamente protegido.

Después de enterrarse, el tubo deberá estar sometido a la prueba de resistencia, y si esta es menor que el valor especificado, se efectúa la prueba de sobre-tierra para - localizar la falla y procederá a su reparación.

4.2.4.- Limpieza del interior del tubo. Durante la instalación del tubo los tapones de los extremos no deberá quitarse excepto cuando se requiera trabajar dentro del tubo. Cuando los extremos del tubo están abiertos, una pequeña cantidad de nitrógeno deberá alimentarse a través del tubo y prevenir la - entrada de aire atmosférico, ayudando a la limpieza del tubo. Deberán tomarse precauciones, ya que el aire se diluye en presencia del nitrógeno, lo que ocasionaría problemas a los operadores. Al completarse el trabajo en un tramo, deberán protegerse sus extremos con cubiertas especiales y proporcionar una presión positiva con nitrógeno o aire comprimido seco de

1/2 Psi por cada pie de profundidad de la trinchera.

Todas estas operaciones se deberán efectuar hasta - completar la longitud entre pozos de visita consecutivos.

El método más satisfactorio para la limpieza final del tubo es el proceso de alto vacío. Para ello se coloca - una bomba de alto vacío en uno de los extremos de la sección. El tamaño de la bomba deberá ser el apropiado según el tamaño del tubo y su longitud.

Una bomba demasiado grande puede causar congelamiento de cualquier partícula de agua que haya quedado inadvertidamente dentro del tubo.

La bomba adecuada evaporará el agua lentamente y el calor del terreno evitará el congelamiento. En cualquier evento el período de bombeo deberá ser contínuo a una presión de 75 a 100 micrones de mercurio. Las fugas y la presencia de - cuerpos extraños puede ser detectada mediante la bomba de vacío. Se detectan las fugas mediante un medidor de presión, - en pruebas de 12 a 24 horas. Una pérdida de 10 a 15 micrones durante ese período se considera satisfactoria.

Después que se ha pasado satisfactoriamente la prueba de vacío, se inyecta nitrógeno a una presión positiva de 1/2 Psi por pie de sección.

4.3 PROTECCION DE LA TUBERIA CONTRA LA CORROSION

Además del recubrimiento anticorrosivo, los tubos de los cables subterráneos deben protegerse con el sistema de protección catódica.

4.3.1.- Potencial Natural. En el caso de los tubos metálicos enterrados, el proceso corrosivo depende del grado de ionización que se puede desarrollar en el metal de que está constituido el ducto, con respecto al terreno adyacente.

Los potenciales con respecto a tierra de dos puntos de un tubo, pueden ser diferentes entre si debido a las variaciones de las características del terreno, por lo que pueden formarse áreas anódicas y catódicas que dan como resultado la corrosión de las áreas anódicas.

Una medida que se toma para evitar grandes diferencias de potencial del tubo con respecto a tierra en diferen-

tes puntos, es cubrir el tubo con una arena térmica. (Ver - arena térmica).

El principio simplemente consiste en alojar la tube
ría en un medio uniforme para evitar diferencias de potencial
entre distintos puntos y en consecuencia la formación de áreas
anódicas y catódicas.

4.3.2.- Protección Catódica. Un sistema de protección cató
dica garantiza un potencial constante negativo, cuyo valor de
pende de las condiciones del terreno y de las canalizaciones
vecinas. Como por ejemplo, los tranvías que utilizan para su
operación un sistema de corriente continua que consiste en un
hilo aéreo positivo y un retorno negativo a través de los rie
les de acero, los cuales están en contacto directo con el sue
lo y, debido a las variaciones de resistividad del terreno, -
puede completar un sistema catódico con los tubos enterrados
que sigan una ruta paralela y que tengan fallas en el recubri
miento. La consecuencia de esto es la corrosión de la tube-
ría.

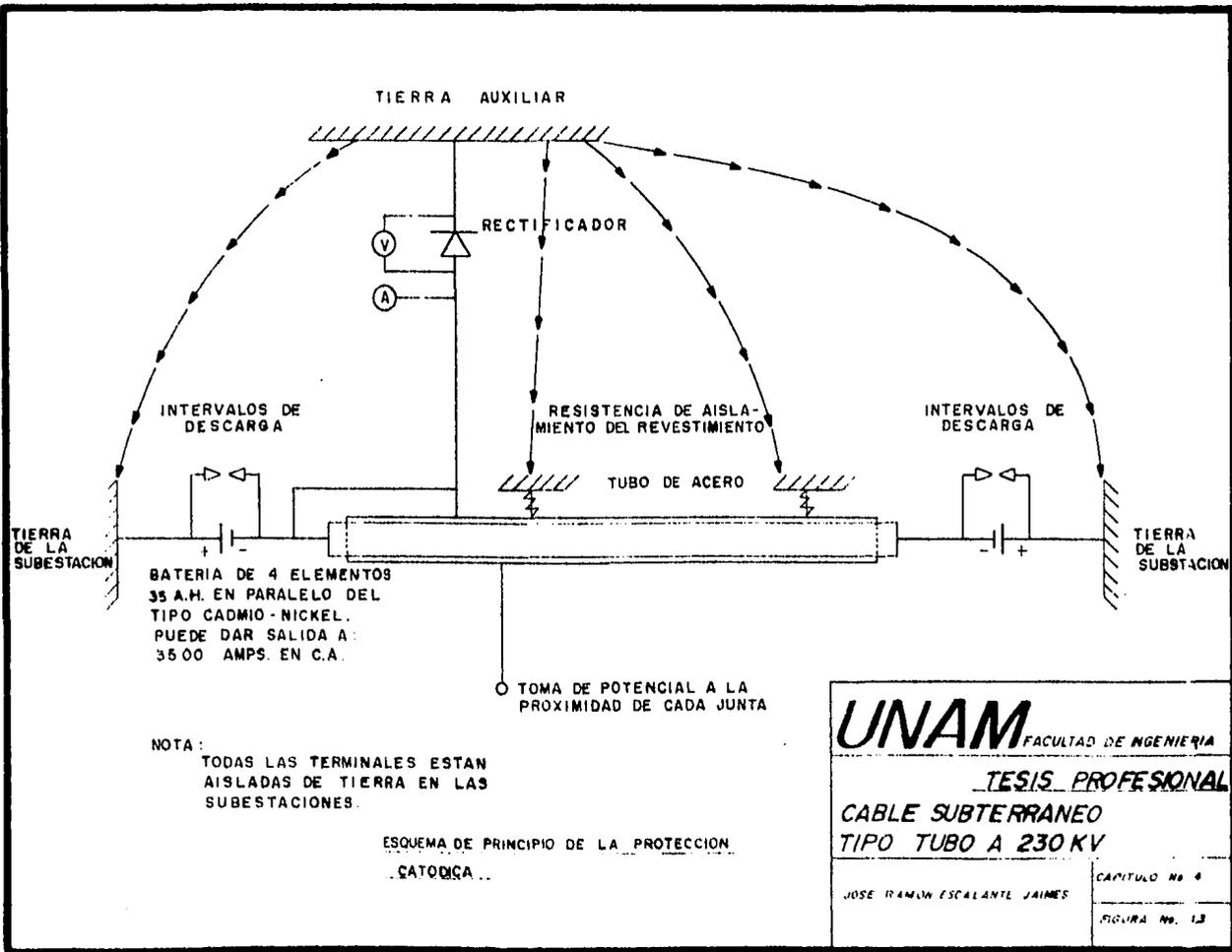
Esta protección catódica consiste esencialmente de:

Un rectificador dotado de vóltmetro y ampérmetro, -

cuyo borne negativo es conectado a una de las extremidades de la tubería y el borne positivo a tierra.

Este puede derivarse de una fuente de corriente alterna de 220 Volts y una entrega de 5 Amps ajustables a 30 V. una tierra auxiliar constituida por 50 Mts. de riel enterrados dentro de la subestación, 2 grupos de baterías tipo - - - Cadmium-Nickel, compuestas de 4 elementos con capacidad hasta de 35 Amps-hora, montadas en paralelo, junto con dos electrodos de descarga para permitir el paso de la corriente alterna y darle salida a 3500 Amps máximos, los cuales pueden ser causados por sobretensión que pudiera engendrarse en la tubería de acero. Se coloca una batería a cada extremidad de la tubería conectadas del borne negativo y la otra va a tierra. (Fig. 4.3)

Para permitir la verificación de la eficacia de la protección catódica, se instala una toma de potencial del tubo (aproximadamente a 10 Mts. de cada empalme), mediante la cual puede determinarse por ensayos periódicos, cual es el verdadero potencial de la tubería en ese punto respecto a tierra. Estas tomas de potencial son accesibles por medio de tapones a llave ovaes tipo toma de gas. Así mismo puede hacer



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
<u>TESIS PROFESIONAL</u>	
CABLE SUBTERRANEO TIPO TUBO A 230 KV	
JOSE RAMON ESCALANTE JAIMES	CAPITULO No 4
	FIGURA No. 13

se por otro lado, ensayos de temperatura del tubo.

NOTA: En la práctica, el potencial de protección se ha limitado entre 0.85 V. y 1.5 V., los cuáles se han determinado de los estudios de los fenómenos químico-termodinámicos del fierro y del terreno y de estudios de corrientes parásitas.

4.3.3.- Resistividad del terreno. La configuración, el grado de humedad y de salinidad del terreno son determinantes en el valor de resistividad del mismo.

En terrenos de mucha humedad, los valores de resistividad son bajos, lo cual permite establecer con cierta facilidad un circuito electrolítico, de cierta cantidad de corriente entre áreas anódicas y catódicas.

4.3.4.- Corriente de Protección. Para aplicar el potencial de protección de tubo enterrado es necesario aplicar una determinada cantidad de corriente que establezca un circuito electrolítico tal que, mediante él pueda lograrse la protección catódica del metal.

La obtención de la corriente de protección se logra

mediante la instalación de ánodos de sacrificio o con la aplicación de un sistema de corriente impresa a través de rectificadores.

4.3.5.- Dispositivo anódico de conexión a tierra. Este dispositivo tiene la función de difundir la corriente de protección.

Existen distintos tipos, pero los que generalmente se utilizan en los sistemas de protección catódica de corrientes impresas mediante rectificadores, estos son cilíndricos, o de grafito.

Los ánodos de grafito se localizan retirados del ducto donde la conductividad del terreno es favorable para la difusión de grandes cantidades de corriente.

Para que un dispositivo anódico funcione correctamente es necesario que su resistencia óhmica sea del valor mínimo posible, ya que en esta forma se obtendrá una mayor difusión de la corriente de protección.

La duración de un ánodo depende del peso seleccionado, de la resistividad del terreno y de la corriente de pro-

tección, tal como lo expresa la Ley de Faraday, que dice: "El peso de las substancias precipitadas por una corriente es proporcional a la propia corriente y a su duración"

$$G = A I t$$

$$A = \text{EQUIVALENTE ELECTROQUIMICO}$$

La resistencia de contacto de cada ánodo está en función directa de la resistividad y de una constante (K) que es función del relleno de Coke en que normalmente se instalan los ánodos.

$$R = P t K$$

4.3.6.- Resistencia Ohmica del Circuito. El circuito para un tramo de tubo en donde contempla la resistencia total R_T , depende de R_G , R_S , R_C , y r_t en donde:

$$R_G = \text{RESISTENCIA DEL DISPOSITIVO ANODICO}$$

$$R_S = \text{RESISTENCIA DEL DUCTO}$$

$$R_C = \text{RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES}$$

$$r_t = \text{RESISTENCIA DEL TERRENO DEBIDAS A - FUGAS EN LA CUBIERTA}$$

Para un potencial constante a la salida del rectifi

cador es evidente que la corriente de protección depende de la resistencia Ohmica del circuito.

Cuando existe un gran número de fugas en la cubierta, la resistencia Ohmica del circuito baja y la corriente de protección puede llegar a ser tan alta que, por un lado, causa pérdidas de energía que hacen al sistema de protección antieconómico y, por otra parte, esta corriente alta producirá caídas de tensión que anulen la efectividad de la protección catódica en las zonas que quedan después de estas caídas de tensión, o sea, después de las fallas con respecto a la fuente.

4.3.7.- Medición Potenciométrica. En los estudios de la corrosión y de la verificación de los sistemas de protección catódica, se requieren mediciones precisas.

Para medir las diferencias de potencial que son del orden de MV (ya que las resistencias son muy altas), se utilizan los potenciómetros.

Supervisión y mantenimiento del sistema de protección catódica.

El funcionamiento de la protección catódica deberá verificarse todos los meses.

Esta verificación mensual, comprenderá los controles siguientes:

- a) Reajuste de la tensión e intensidad del lado de directa en el rectificador.
- b) Control de la tensión en los bornes de las baterías. Esta tensión deberá estar comprendida entre 1.35 y 1.9 Volts abajo de 1.35 Volts. La batería no está suficientemente cargada, un nuevo ajuste de consumo de rectificador será entonces necesario, si las tensiones no están comprendidas entre 1.35 y 1.9 Volts.
- c) Revisión de la diferencia de potencial tubería/suelo, en los diferentes registros de conexión, la canalización deberá estar a lo menos - 0.9 Volts, con referencia al piso. Medida efectuada al electrodo de cobre.

Si la tensión desciende abajo de 0.9 Volts (valor relativo) se necesitará proceder a un nuevo ajuste del recti-

ficador o, de buscar si no existe una tierra cualquiera en las instalaciones protegidas.

4.4 INTRODUCCION DE LOS CONDUCTORES EN LOS TUBOS

4.4.1.- Tensiones y longitudes de jalado. Para la instalación de cables en tubos subterráneos, es necesario considerar varios factores para asegurar la calidad de la instalación de los cables y así evitar posibles problemas durante la operación de los mismos.

Las tensiones máximas permisibles a que se deben someter los cables durante la introducción en los tubos, no deberá rebasar los límites recomendados por los fabricantes. Es importante la forma de sujetar el cable para el jalado, ya que la tensión varía según el método a usar. Lo recomendable es jalar directamente del conductor, por ser el material que tiene mayor resistencia a la tensión.

En muchos de los casos, la localización de registros se determina considerando la longitud máxima de jalado que depende del tipo de cable a instalar, el cual está limitado a la tensión máxima que resiste sin llegar a la fatiga de los mate

riales.

4.4.2.- Máxima tensión permisible de jalado. La máxima tensión que un cable puede resistir sin dañarse es difícil de predeterminar. Debemos considerar la posibilidad de daño por varias causas, incluyendo la deformación del cable por excesiva elongación del conductor, desplazamiento de los componentes, jalones bruscos o por la presión de la pared interna del tubo en secciones con curvas no consideradas.

El jalado de un cable en un tubo con varias curvas, obviamente es más difícil que jalar un cable de la misma longitud, pero en tramo recto.

Cuando un cable es jalado a través de un tramo recto de un tubo, la tensión de jalado es directamente proporcional a la longitud del ducto y al peso del cable.

La máxima tensión aplicada a un cable no deberá exceder de lo siguiente.

Para cables con ojo o perno de tracción colocado en el conductor, la tensión deberá limitarse a 7 Kg/mm². de sección para conductor de cobre y no deberá exceder de lo calcu-

lado en la siguiente fórmula:

$$T_m = 7 \times n \times A \quad (\text{COBRE})$$

Donde:

T_m = TENSION MAXIMA PERMISIBLE EN KG.

n = NUMERO DE CONDUCTORES

A = AREA DE CADA CONDUCTOR EN MM².

4.4.3.- Radio mínimo de curvatura. En la instalación de cables de energía, es muy frecuente que el doblez dado al cable al ser introducido en un tubo o al existir una curva en el recorrido del cable, sea menor que el radio mínimo de curvatura especificado por el fabricante. Como norma se usa 12 veces el diámetro externo para un cable con aislamiento extruido y con pantalla a base de cintas metálicas (Fig. 4.4)

En instalaciones con jalones difíciles se debe usar no menos de 15 veces el diámetro externo para cables con pantalla a base de cintas.

El daño que se ocasiona al aislamiento es el de producir un esfuerzo de tensión mayor que su límite elástico, teniendo como consecuencia la posible fractura o debilitación del aislamiento. Cuando el cable tiene cintas metálicas como

pantalla, éstas sufren deslizamiento de una sobre la otra, -
originando que las cintas no vuelvan a su estado original, -
ocasionando entre la pantalla y el aislamiento un punto no co-
nectado a tierra, fatigando al aislamiento en esa parte debi-
do a la corriente de carga que circula por el aislamiento cuan-
do no existe pantalla.

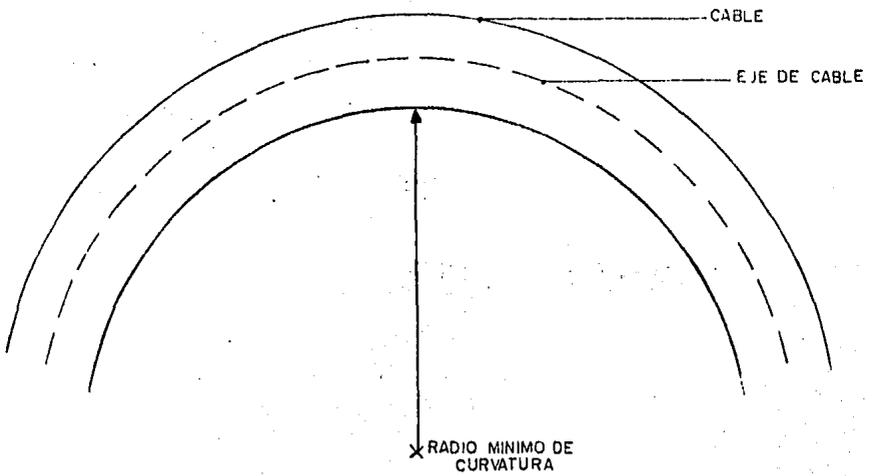


FIG. 4.4

4.4.4.- Cálculo para Jalado de Cables. Las siguientes fórmulas se usan para calcular la tensión de jalado de cables en tramos rectos y con curvas.

- Jalado Horizontal:

Sección Recta: $T = L W f$

Longitud máxima: $L_m = T_m / W f$

- Jalado Inclinado:
(a es el ángulo de la horizontal)

Hacia arriba: $T = W L (\text{sen } a + f \text{ cos } a)$

Hacia abajo : $T = W L (\text{sen } a - f \text{ cos } a)$

- Curva horizontal
(donde e está incluido en el ángulo)

- Aproximaciones para curva horizontal:

Si $te > 10 WR$; entonces $T_s = t_e \cdot e^{fe}$

- Curva vertical:

Jalado hacia arriba

Cóncava con el ángulo hacia abajo.

$$T_s = T_e \cdot e^{fe} + \frac{WR}{1+f^2} [2fef^e \text{sen } e + (1-f^2) \cdot (1-e^{f^e \text{cos } e})]$$

Cóncava con el ángulo hacia arriba:

$$T_s = T_e \cdot e^{f\theta} - \frac{WR}{1+f^2} [2fc^{f\theta} \sin \theta + (1-f^2) \cdot (1-e^{f\theta} \cos \theta)]$$

- Aproximaciones para curva vertical:

Si $te > 10 WR$ y $f = 0.5$, entonces:

$$T_s = T_e \cdot e^{f\theta}$$

Donde:

T = TENSION DE JALADO EN KG.

L = LONGITUD DEL TUBO EN M.

W = PESO DEL CABLE EN KG/M.

T_m = TENSION MAXIMA EN KG.

a = ANGULO DE LA HORIZONTAL (EN RADIANES).

f = COEFICIENTE DE FRICCION (GENERALMENTE SE TOMA COMO 0.5)

T_s = TENSION A LA SALIDA DE LA CURVA EN KG.

T_e = TENSION A LA ENTRADA DE LA CURVA EN KG.

e = LOGARITMO NEPERIANO (2.718)

θ = ANGULO DE LA CURVA (EN RADIANES)

R = RADIO DE LA CURVA EN M.

La tabla 4.1 ofrece una lista de los valores de $e^{f\theta}$ para ángulos más comunes:

ANGULO DE LA CURVA EN GRADOS	f		
	f = 0.40	f = 0.50	f = 0.75

15	1.11	1.14	1.22
30	1.23	1.30	1.48
45	1.37	1.48	1.81
60	1.52	1.68	2.20
75	1.70	1.93	2.68
90	1.88	2.19	3.24

TABLA 4.1

4.4.5.- Presión lateral en curvas. La presión lateral es la fuerza radial ejercida en el aislamiento y cubierta de un cable, en una curva cuando el cable está bajo tensión, siendo el máximo valor recomendado de 445 Kg. por el radio de la curva, es directamente proporcional a la tensión de jalado a la salida de la curva e inversamente al radio de la curva. La siguiente fórmula puede usarse para determinar la presión la-

teral dependiendo de la geometría. En este caso es para tres cables en formación triangular:

$$P_{Lt} = \frac{W_{3-t} T_{3/c}}{2R}$$

Donde:

P_{Lt} = PRESION LATERAL EN LA CURVA EN KG/M.

W_{3-t} = FACTOR DE CORRECCION POR PESO PARA TRES CABLES TRIPLEXIADOS

$T_{3/c}$ = TENSION DE JALADO DE TRES CABLES TRIPLEXIADOS A LA SALIDA DE LA CURVA EN KG.

Para determinar el factor de corrección por peso, se puede usar la siguiente fórmula:

Formación triángulo:

$$W_{3-t} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D-d}\right)^2}}$$

Donde:

D = DIAMETRO INTERIOR DEL TUBO

d = DIAMETRO EXTERIOR DE UN CABLE MONOFASICO.

4.4.6.- Recomendaciones. Las siguientes medidas protectoras son necesarias para evitar que el esfuerzo de tensión no exceda los valores permisibles.

- 1.- Una continua verificación de la tensión, por medio de un medidor de tensión (Dinamómetro) colocado en el cable guía.
- 2.- Colocar un dispositivo, el cual interrumpa la tensión si se llegase a exceder de los valores máximos permisibles.
- 3.- El cable de energía y el cable guía, deben de apoyarse por medio de poleas y rodillos, especialmente en las curvas para reducir la tensión de jalado. Los radios de curvatura de los dispositivos, deberán ser lo suficientemente grandes para evitar sufra daño el cable.
- 4.- Usar lubricantes adecuados en la instalación del cable para reducir la tensión.

4.5. E M P A L M E S

Zanja de empalme para cualquier operación de empal-

me, hay que preparar una zanja de tamaño adecuado. Tomando las precauciones necesarias para evitar la entrada del agua, si el terreno está muy mojado, puede precisarse la colocación de un pavimento de tablonés y un equipo de bombeo.

Sobre la zanja, se levantará una tienda o cubierta de construcción estable, provista de entrada y bien ventilada. La abertura de entrada se situará en dirección opuesta al viento, para que no penetre polvo del exterior.

Deberá comprobarse que todas las herramientas y materiales estén en su sitio y en buenas condiciones.

Durante las operaciones de empalme deberán mantenerse las herramientas limpias y secas, y cualquier desperdicio o material sobrante se apartará inmediatamente de la zona de trabajo.

4.5.1.- Operaciones previas a realizar en los cables subterráneos. Antes de efectuar un empalme en cables subterráneos, es necesario realizar algunas operaciones previas. Por ejemplo, si del carrete del cable, hemos de separar una porción del mismo que destinaremos para efectuar un empalme, las operaciones previas que habremos de realizar, son las siguientes:

- a) Corte de la porción de cable.
- b) Taponado del cable que queda en el carrete.
- c) Empalme.

A continuación describiremos, con algún detalle, cómo se realizan estas operaciones.

- a) Corte de cables subterráneos. Primero se mide el trozo de cable que se ha de cortar, señalando con tiza la medida deseada. A continuación, y tal como se muestra en la (Fig. 4.5) a 5 cm. de uno y otro lado de la marca de tiza, se ata el cable con alambre fino, para evitar que se deshaga la envoltura.

Después se apoya el cable sobre un soporte en cruz, procurando no doblarlo (Fig. 4.6) y, cogiéndolo con una mano se corta el cable con una sierra de metales, procurando que el corte sea perpendicular al eje del cable.

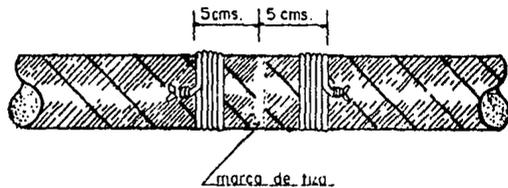


FIG. 4.5
 MARCADO DE UN CABLE SUBTERRANEO PARA SU POSTERIOR CORTE

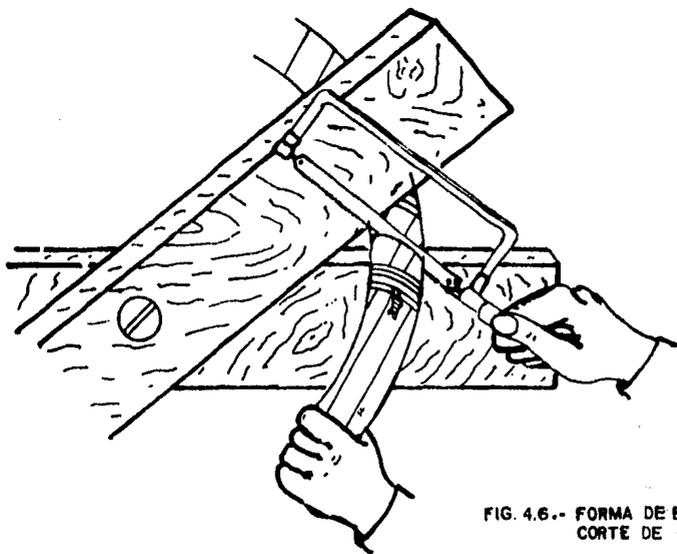


FIG. 4.6.- FORMA DE EFECTUAR UN CORTE DE CABLE SUBTERRANEO.

- b) Taponado de cables subterráneos. Con la operación antes descrita, la porción de cable cortada queda preparada para el fin destinado. El extremo del cable que queda en el carrete y que no se utilizará inmediatamente, deberá taponarse para evitar que el aceite de impregnación salga del cable y, al mismo tiempo, para evitar que entre humedad en los aislamientos del cable, lo que es particularmente peligroso en los cables aislados con papel impregnado, ya que este material es muy absorbente de la humedad, lo que le hace perder sus propiedades aislantes.

Para el taponado de cables aislados con papel impreg

nado, se comienza por cortar las capas textiles de recubrimien to, desde la abrazadera hasta el extremo del cable, utilizando un cuchillo. Si el cable es armado (con el canto de la lima o con una hoja de sierra) se marcará junto a la abrazadera (Fig. 4.7), para facilitar la operación de quitar la porción de arma dura comprendida entre la abrazadera y el extremo del cable.

Enseguida se prepara un tapón constituido, por un - disco de plomo, de diámetro algo mayor al de la envoltura del cable; se coloca el disco de plomo en el extremo del cable, - de forma que cubra toda la sección, y se dobla toda la parte sobrante con un mazo de madera (Fig. 4.8) hasta adaptarlo a - la envoltura del cable.

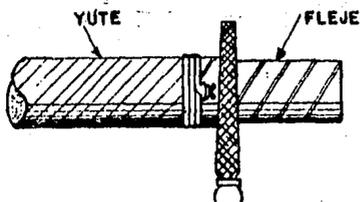


FIG 4.7 CORTE DE LA ARMADURA DE UN CABLE SUBTERRANEO PARA SU POSTERIOR TAPONADO

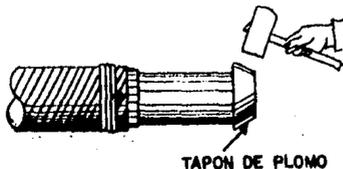


FIG. 4.8 ADAPTACION DE DISCO DE PLOMO AL EXTREMO DE UN CABLE SUBTERRANEO.

c) Empalmes. Por definición se entiende como empalme: "La conexión y reconstrucción de todos los elementos que constituyen a un cable de potencia aislado, protegidos mecánicamente dentro de una misma cubierta o carcáza".

La confiabilidad de un empalme, depende de varios factores, entre los que destacan; la calidad de los materiales empleados en la fabricación y la mano de obra de instalación. La selección de materiales debe estar apoyada en pruebas de evaluación e incorporarlas a la geometría de diseño para obtener que los esfuerzos dieléctricos presentes sean de magnitudes tolerables.

Es necesario que los materiales en los empalmes sean compatibles con los elementos que constituyen el cable a unir.

Uno de los factores que sin duda es de gran importancia en el diseño de empalmes es asegurar que los gradientes de esfuerzos que se presenten en el empalme sean debidamente soportables por los materiales utilizados.

4.5.2.- Tipos de empalmes. Existen varios tipos de empalmes los cuales pueden identificarse considerando los materiales

utilizados y la forma en que se aplican, para restituir el aislamiento de los cables por unir; de esta manera se conocen los siguientes tipos de empalmes:

- a) Encintado
- b) Moldeados en fábrica
- c) Moldeados en el campo
- d) Termocontráctiles

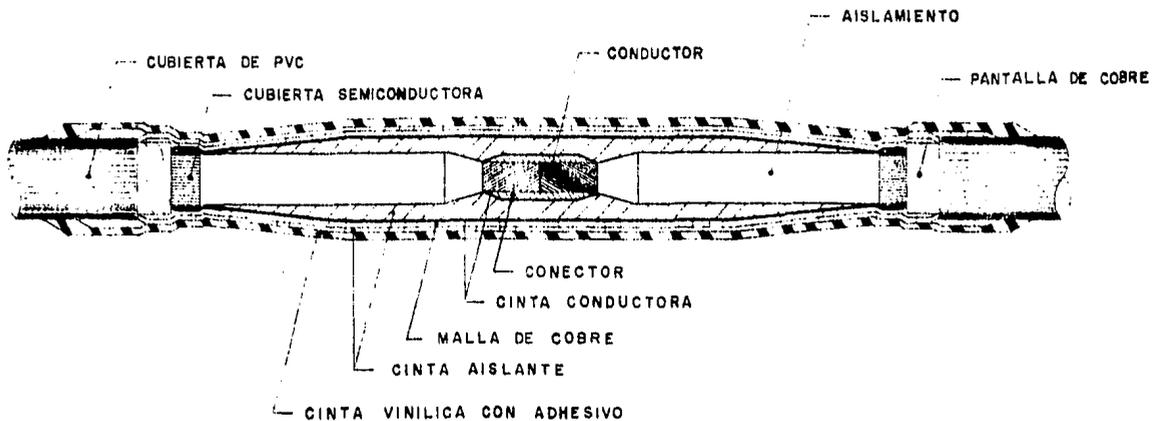
- a) Encintado. Son aquellos en donde la restitución de los diferentes componentes del cable, a excepción del conductor, se lleva a cabo aplicando cintas en forma sucesiva, hasta obtener todos los elementos del cable; las cintas aislantes aplicadas para obtener un nivel de aislamiento adecuado, pueden ser del tipo auto-vulcanizable, las cuales no contienen tampoco ningún adhesivo. Dependiendo del elemento a restituir serán las características físicas y químicas que tendrán las cintas utilizadas en la elaboración de un empalme completamente encintado.

Existen algunos diseños en los cuales por sus condiciones de servicio se hace necesario proporcionarles encapsula

dos de sistemas epóxicos o compuestos fluidos, para lograr una mejor operación del sistema cable-empalme. Tal es el caso en uniones para cables con aislamiento de papel impregnado en aceite, en el que se hace necesario que el empalme este provisto de un compuesto compatible con el aceite de impregnación y que proporcione al cable, en la longitud del empalme, la función que desempeña el aceite.

En la (Fig. 4.9) se muestran los detalles constructivos de un empalme encintado.

- b) Empalme premoldeado. Los empalmes premoldeados fueron diseñados en un principio para unir cables con aislamiento extruído, y en la actualidad adicionando algunos otros componentes, estos accesorios se están desarrollando para unir cables con aislamiento laminar.
- c) Moldeados en el campo. Son aquellos en que los componentes del empalme son aplicados en los cables a unir utilizando materiales sólidos vulcanizables por medio de calor y presión suministrados por medio de equipo diseñado para tal fin.



DETALLE CONSTRUCTIVO DE UN EMPALME ENCINTADO.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
CABLE SUBTERRANEO
TIPO TUBO A 230 KV

JOSE RANDON ESCALANTE JAIMES

CAPITULO No. 4

FIGURA No. 4.9

d) **Termocontráctiles.** Son aquellos en que los componentes son aplicados en el cable a unir utilizando materiales con características retráctiles con la acción del calor suministrado con un equipo diseñado para tal fin.

4.5.3.- **Selección.** Para seleccionar adecuadamente el tipo de empalme que cumpla ampliamente los requerimientos de restituir cada uno de los elementos del cable será necesario conocer la construcción de este y hacer mención de ella en el momento de solicitar el equipo de empalme requerido.

Los datos básicos para selección son:

- a) Empalme recto o derivación
- b) Clase de aislamiento del sistema
- c) Cable monofásico o trifásico
- d) Calibre del conductor
- e) Material del conductor
- f) Si requiere protección exterior adicional

Instalación. El equipo para empalmes debe estar provisto con el material suficiente para llevar a cabo, desde las

operaciones de preparación y limpieza de los cables a unir hasta la reconstrucción total de todos los elementos de dichos cables, además se debe proporcionar un instructivo de instalación el cual es una guía útil para conocer las dimensiones de preparación o retirado de cada uno de los elementos de los cables a unir.

a) Unión de conductores cobre-cobre. La unión de dos conductores cobre-cobre, puede realizarse de varias maneras; las más importantes son las siguientes:

a.1) Por soldadura

a.2) Por compresión

a.1) Unión de conductores cobre-cobre por soldadura. Cuando tenga que efectuarse este tipo de unión, previamente deben protegerse los extremos de los aislamientos con cinta de tela aceitada para evitar la acción directa de la llama o el contacto con el estaño fundido sobre dichos aislamientos.

En este tipo de unión debe emplearse un tipo de conector o manguito como el representado en la (Fig. 4.10), es decir, abierto longitudinalmente para permitir la penetración

del estaño; estos manguitos están normalizados de acuerdo con las secciones de los conductores que deben empalmarse y están fabricados de latón estañado o de cobre que debe estañarse antes de proceder a la soldadura, como veremos más adelante.

Para el empleo de la soldadura, previamente se impregnan las partes que se han de soldar con pasta antioxidante rigurosamente neutra; puede emplearse una solución de colofonia fina con alcohol; luego se colocará el manguito correspondiente entre los dos extremos de los cables a soldar, de forma que estos queden en posición horizontal y separados entre sí unos 5 mm. (Fig. 4.11). Después, se aplica directamente la llama del mechero al centro del manguito y se funde el estaño en barra (proporción: 50% de estaño y 50% de plomo); cuando se ha conseguido la penetración del estaño, se refunde ligeramente y se deja enfriar. Hay que cuidar de no elevar excesivamente la temperatura para no carbonizar los bordes del aislamiento; por esta razón debe retirarse la llama a intervalos. Este procedimiento requiere gran destreza por parte de los operarios que han de efectuarlo.

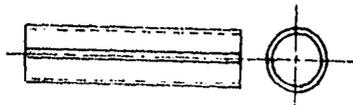


FIG. 4.10 MANGUITO DE EMPALME PARA UNION DE CONDUCTORES
COBRE-COBRE POR SOLDADURA

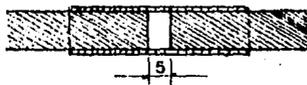


FIG. 4.11 SEPARACION DE LOS
EXTREMOS DE DOS CABLES
DE COBRE PARA UNION POR
SOLDADURA

- a.2) Unión de conductores cobre-cobre por compresión. Esta técnica consiste en la penetración guiada y a la profundidad impuesta por un punzón de sección y forma determinada, en un manguito tubular de latón o cobre, apoyado sobre una matriz abierta que soporta el manguito, en el que previamente se han introducido las cuerdas de los conductores que se deben unir, cuando se ha terminado la operación, se levanta el punzón y el manguito quedará unido al conductor por compresión.

Los elementos necesarios para realizar la unión de conductores de cobre por compresión, son los siguientes:

1.- Manguitos de empalme o conectores, como el representado en la (Fig. 4.12) para cada sección de cable debe utilizarse un manguito determinado, ya que estos están normalizados. La endadura en la parte central del manguito hace de tope para ambos extremos de los cables que se han de empalmar.

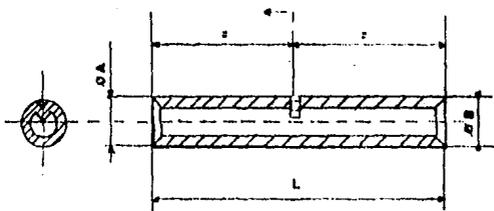


FIG.4.12 MANGUITO DE EMPALME PARA
UNION DE CONDUCTORES COBRE-
COBRE POR COMPRESION.

2.- Conjuntos matriz-punzón, semejantes al representado en la (Fig. 4.13); en la (Fig. 4.14) se representa la sección

transversal del cable comprimido.

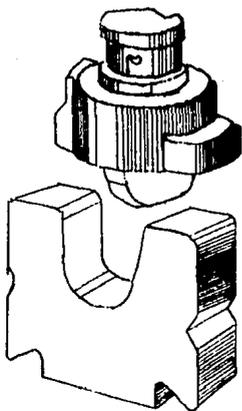


FIG. 4.13 CONJUNTO MATRIZ-PUNZON
PARA UNION DE CONDUCTORES COBRE-
COBRE POR COMPRESION.

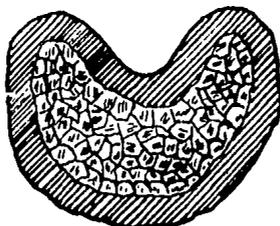


FIG. 4.14 SECCION TRANSVERSAL DE
UN CABLE DE COBRE-PUNZONADO.

3.- Herramientas de conformado. Para este tipo de secciones de cables se emplean prensas oleohidráulicas accionadas por motor eléctrico o por motor de gasolina (Fig. 4.15); la prensa

representada en la (Fig. 4.15), puede ejercer una presión de - 50 Toneladas y está diseñada para efectuar empalmes con gran rapidez. Cada operación de prensado dura solamente 10 segundos y toda la maniobra se gobierna con una sola manija. En general, las prensas oleohidráulicas consisten, esencialmente, - en una bomba accionada por uno de los sistemas expuestos (manualmente, con motor eléctrico, con motor de gasolina, etc.) que actúa oleohidráulicamente sobre un pistón, el cual a su vez, - acciona el punzón; la matriz queda fija sobre la cabeza correspondiente. Los punzones y matrices son intercambiables en cada prensa, de acuerdo con las secciones de los cables que se - deben empalmar.

Las principales ventajas de las uniones de cables por compresión, son las siguientes:

- a) Los resultados son siempre idénticos
- b) No precisan de ninguna operación previa
- c) La detección en caso de error es sencilla y clara
- d) Mayor rapidez en la operación

En los cables para alta tensión debe tenerse especial cuidado de evitar las puntas y aristas y eliminar los huecos, -

en los que podría producirse un principio de ionización. Para evitar estos inconvenientes, se redondearán todas las aristas que se hayan producido durante la compresión y se rellenarán los huecos existentes con material semiconductor.

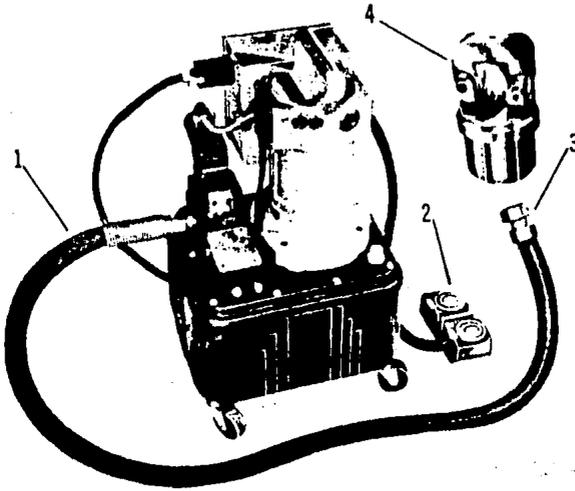


Figura 4.15.- Prensa con accionamiento de motor eléctrico, para unión de conductores por compresión. 1.- Manguera. 2.- Interruptor de pedal. 3.- Cople adaptador. 4.- Cabeza aplicadora.

4.5.4.- Proceso de elaboración de empalme encintado.

1.- Se preparan las puntas a unir y se instala el conductor, preferentemente de compresión para cables con aislamiento seco.

2.- Se rellenan las endaduras producidas por las pinzas en el conector, cubriendo este y el conductor desnudo con cinta conductora, a fin de uniformizar el perfil.

3.- Se restituye el aislamiento con cinta auto-vulcanizable, hasta obtener un espesor igual a 1 1/2 veces el del aislamiento original del cable.

4.- Se restituye el primer elemento conductor de la pantalla del cable con cinta conductora, encintado a medio traslape y con tensión uniforme.

5.- La continuidad metálica se consigue dando un encintado a medio traslape con malla de cobre estañada; es necesario soldar a la pantalla original, tanto la malla como la trenza para conectar la tierra.

6.- Eléctricamente terminado el empalme, falta ahora proporcionar la protección necesaria. Esta se logra con cinta -

aplicada sobre la malla de cobre.

7.- Restituyendo la cubierta externa original del cable con cinta de neopreno o vinílica según sea el material original.

8.- Si la cubierta es de plomo, y se desea mayor protección se pone una cubierta de cinta de fibra de vidrio impregnada en resina epoxy.

4.5.5.- Fallas más comunes en su elaboración.

1.- Al cortar la cubierta protectora del cable, no dañar la pantalla electrostática, sobre todo cerca de donde se inició el corte.

2.- Al efectuar el corte de la pantalla, no cortar o lastimar el aislamiento, ya que esto equivaldría a dejar una burbuja atrapada.

3.- La terminación de la pantalla metálica no debe dejar rebabas ya que producen peligrosas concentraciones de esfuerzos.

4.- Al hacer el corte de la cinta semiconductor original

del cable, este debe de ser uniforme, y no dejar manchas o hilos.

5.- La permanencia de materiales semiconductores sobre el aislamiento propicia la falla de fase a tierra. Debe limpiarse perfectamente con solvente y trapo.

6.- La mala hechura de la punta de lápiz en el aislamiento produce el mismo efecto que si permanecieran burbujas ocluídas. Es necesario dejarla tersa haciendo uso de una lija.

7.- Al cortar el aislamiento, no debe lastimarse alguno de los conductores. Si esto sucediere, equivaldrá a una reducción del área efectiva del conductor.

C O N C L U S I O N E S

La finalidad de esta tésis ha sido darle un sentido práctico, apoyándola de la teoría necesaria para poder determinar el uso en todos los aspectos del CABLE SUBTERRANEO TIPO TUBO A 230 KV, mediante la información que aqui se ha concentrado, de tal forma, que podemos seguir paso a paso el desarrollo de las instalaciones subterráneas en ALTA TENSION.

Por otro lado, considerando cada uno de los procesos por los cuales se rige este tipo de instalación, como son: proyección, elección de materiales, instalación, pruebas y puesta en operación, se cumplirán satisfactoriamente los objetivos -- planteados, tales como confiabilidad y continuidad en el suministro de energía eléctrica, ya que en primera instancia es -- con lo que debe de contar una instalación subterránea de este tipo.

Además, por el gran crecimiento que ha tenido la Ciudad de México en los últimos años en cuanto a instalaciones -- eléctricas subterráneas se refiere, cada vez se complican más, debido a las ya tantas existentes que dificultan la instalación

de una nueva red, es decir se tienen que ajustar a las condiciones establecidas que imperan en ese momento sobre la ruta que seguirá la línea de transmisión subterránea.

Sería conveniente que se le diera mayor importancia a este tipo de obras para proyectar las nuevas ciudades industriales en los diferentes Estados de la República Mexicana, para que en lo futuro no se lleguen a incrementar los numerosos problemas que afrontamos en la actualidad.

Por último, teniendo presente un aspecto no menos importante, como es el costo tan alto que implica esta instalación, se puede asegurar que los beneficios que nos aporta este cable, a largo plazo, serán superiores.

Quiero hacer patente mi agradecimiento a la COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, CONDUMEX y al INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS por la ayuda brindada para realizar este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- UNDERGROUND SYSTEMS REFERENCE BOOK.
EDISON ELECTRIC INSTITUTE.
- 2.- POWER CABLES THEIR DESIGN AN INSTALLATION.
C. C. BARNES 2a. EDITION 1966.
CHAPMAN AND HALL LTD LONDON.
- 3.- MANUAL TECNICO DE CABLES DE ENERGIA.
MC. GRAW HILL Y CONDUMEX 2a. EDICION.
- 4.- TEMAS ACTUALES SOBRE CABLES SUBTERRANEOS -
DE ALTA TENSION DE C.A.
ING. JOSE V. SCHMILL. C.I. y F.
- 5.- INSTALACIONES SUBTERRANEAS. LIBRO 4
ING. VENDRELL LEZAMA ARTURO. C.I. y F.

- 6.- 1972 IEEE UNDERG BUND.
TRANSMISSION CONFERENCE
PROCEEDING PAPERS.

- 7.- MANUAL ELECTRICO. CONELEC.
CONDUCTORES ELECTRICOS. 3a. EDICION.

- 8.- CABLES SUBTERRANEOS I
JOSE RAMIREZ VAZQUEZ.
EDICIONES CEAC, S.A. 1974.

- 9.- CABLES SUBTERRANEOS II
JOSE RAMIREZ VAZQUEZ.
EDICIONES CEAC, S.A. 1974.

- 10.- TEMPERATURE AND LOAD CAPABILITY OF CABLE
SYSTEMS.
J.H. NEHER AND M. H. MC GRATH.
MEMBERS AIEE.

11.- TRANSMISSION AND DISTRIBUTION COMMITTEE.

PENNSYLVANIA ELECTRIC ASSOCIATION.

HERSHEY, PA. APRIL 30, 1974.

12.- UNDERGROUND TRANSMISSION PERSPECTIVE.

L.A. KILAR, R.R. BURGHARDT

WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION.

13.- SPECIAL REPORT ON TRANSMISSION.

ELECTRICAL WORLD, JULY 1, 1974.