

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



61.

PRUEBAS ELECTRICAS PARA CABLES
DE POTENCIA DE ALTA TENSION

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N

EDUARDO GARCIA OLIVARES
HUGO GERMAN SERRANO MIRANDA
LUIS ARMANDO CAÑON MARTINEZ
EDMUNDO JAVIER SUAREZ HERNANDEZ

MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

INTRODUCCION

I ELEMENTOS, PROPIEDADES Y CLASIFICACION DE LOS CABLES

1.1	Elementos que constituyen un cable	2
1.2	Conductor	5
1.2.1	Características comparativas	5
1.2.2	Proceso de elaboración de conductores	9
1.2.3	Calibre del conductor	10
1.2.4	Construcción del cable	12
1.2.5	Clasificación de cables	14
1.2.6	Efecto Kelvin o efecto superficial	18
1.3	Aislamiento	22
1.3.1	Propiedades químicas en un aislamiento	23
1.3.2	Nivel de aislamiento	27
1.3.3	Temperatura de operación normal de un cable	29
1.3.4	Temperatura de operación de sobrecarga	29
1.3.5	Temperatura de corto circuito	29
1.3.6	Tipos de aislamiento	30
1.3.7	Resistencia de aislamiento en un cable	55
1.4	Pantalla	56
1.4.1	Esfuerzo eléctrico	66
1.4.2	Campo y potencial eléctrico en un cable monopolar	66
1.4.3	Polarización de la materia	77
1.4.4	Histéresis dieléctrica	81
1.4.5	Pérdidas dieléctricas y factor de potencia en un cable.	83
1.4.6	Pérdidas dieléctricas	87
1.5	Cubierta exterior en los cables de potencia.....	88
1.5.1	Propiedades físicas y mecánicas del plomo	88
1.5.2	Propiedades físicas y químicas del aluminio	89
1.5.3	Armaduras en los cables de alta tensión	90
1.5.4	Cubiertas exteriores no metálicas	91
1.5.5	Propiedades del PVC (Policloruro de Vinilo).	92



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

II	CAPACIDAD DE CORRIENTE Y EFECTOS INDUCTIVOS Y CAPACITIVOS DE UN CABLE.	
2.1	Capacidad de corriente en un cable	93
2.1.1	Capacidad de corriente en condiciones de sobrecarga de un cable aislado	100
2.1.2	Resistencia térmica de la cubierta exterior no metálica	108
2.1.3	Resistencia térmica del terreno	108
2.2	Efectos inductivos en un cable de potencia	111
2.2.1	Definición de inductancia	112
2.2.2	Definición de la ley de Ampere	113
2.2.3	Inductancia en una línea monofásica	120
2.2.4	Inductancia de una línea trifásica	124
2.2.5	Corrientes inducidas en las pantallas	132
2.3	Capacitancia de un cable monofásico	136
2.4	Capacitancia en los cables trifásicos	138
III	TERMINALES Y EMPALMES	
3.1	Conceptos generales	142
3.2	Conos de esfuerzo	147
3.3	Manguitos terminales	150
3.4	Manguitos de empalme	154
3.5	Manguitos de derivación	157
3.6	Plug (clavija) y receptáculo	161
3.7	Receptáculos de codo y bujía	162
IV	NORMAS	
4.1	Normalización de los cables	166
4.2	Designación de los cables subterráneos	168
V	PRUEBAS	
5.1	Resistencia óhmica de conductores	176
5.2	Prueba de resistencia a la tensión	178

5.3	Prueba de elongación	180
5.4	Prueba de deformación	181
5.5	Prueba de fatiga a la tensión	182
5.6	Prueba de desgarre	182
5.7	Prueba de doblado en frío	183
5.8	Pruebas de envejecimiento	185
5.8.1	Prueba de oxígeno a presión	188
5.8.2	Prueba de horno de aire caliente a presión	191
5.8.3	Prueba de envejecimiento acelerado en aceite	194
5.9	Prueba de extracción por solventes para materiales vulcanizables de base estilénica	196
5.10	Prueba en aislamientos de conductores	199
5.10.1	Prueba de esfuerzo dieléctrico de corto tiempo sobre aislamiento de conductores	199
5.10.2	Prueba de doblado en frío y esfuerzo dieléctrico de tiempo largo	202
5.10.3	Prueba de capacidad y factor de potencia	203
5.10.4	Prueba de resistencia al ozono	203
5.11	Pruebas de absorción acelerada de agua	203
5.11.1	Método eléctrico	204
5.11.2	Método gravimétrico	205
5.12	Pruebas para chaquetas termoplásticas	206
5.12.1	Prueba de choque térmico	206
5.12.2	Prueba de distorsión por calor	210
5.12.3	Prueba de doblado en frío para chaquetas termoplásticas	212
5.12.4	Prueba de agrietamiento térmico	213
5.12.5	Prueba de resistividad de la superficie	214
5.12.6	Prueba de descarga con dobles en U	216
5.13	Pruebas para cables de energía con aislamiento de papel impregnado y forro de plomo	217
5.13.1	Determinación del espesor de aislamiento y examen de cinturón y pantallas	217
5.13.2	Determinación del espesor del forro de plomo	219

5.13.3	Prueba de flexibilidad del forro de plomo	220
5.13.4	Resistencia a la deformación por dobles	221
5.13.5	Determinación de la adherencia del polietileno	223
5.14	Pruebas eléctricas sobre cables terminados	224
5.14.1	Prueba de voltaje de A.C	224
5.14.2	Prueba de voltaje de D.C	225
5.14.3	Prueba de chispa de C.D	225
5.14.4	Prueba de voltaje después de la instalación	226
5.14.5	Resistencia de aislamiento	226
5.14.6	Prueba de nivel de extinción de descargas parciales ..	228
5.14.7	Prueba de tensión de impulso a la ruptura en conductores eléctricos aislados	231

VI EVALUACION DE RESULTADOS.

6.1	Pruebas mecánicas antes del envejecimiento	236
6.1.1	Prueba de resistencia a la tensión y prueba de elongación	237
6.1.2	Prueba de deformación	239
6.1.3	Prueba de esfuerzo a la tensión	240
6.2	Prueba de envejecimiento acelerado en horno	241
6.3	Prueba de envejecimiento acelerado en aceite	244
6.4	Pruebas eléctricas	245
6.4.1	Prueba de alta tensión a corriente alterna	245
6.4.2	Resistencia de aislamiento	247
6.4.3	Prueba de extinción de descargas parciales.....	249
6.5	Resumen	250

APENDICE A: CONCEPTOS GENERALES..... 251

APENDICE B: CONCEPTOS Y DEFINICIONES CONCERNIENTES A AISLAMIENTOS. 258

BIBLIOGRAFIA 270

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

La evolución de cables subterráneos en México se inicia con las primeras instalaciones que datan de principios del presente siglo. A partir de la década de los años 60's es cuando empiezan a desarrollarse sistemas subterráneos de consideración en ciudades importantes como México, Monterrey y Guadalajara.

Una vez que un país se inicia en su etapa de desarrollo, - necesariamente debe requerir un respaldo tecnológico elevado en lo que respecta a la distribución de energía eléctrica para alimentar a todo tipo de industria, por esta razón aumenta la demanda de canalizaciones subterráneas, de tal forma que se deba conjuntar: economía, seguridad, sencillez y bajo mantenimiento para que no agraven en forma considerable el costo total de dicha instalación.

De lo mencionado anteriormente y muy especialmente en nuestro país también surge la necesidad de atender a las demandas que ocasiona el gran crecimiento urbanístico tales como el condominio y las zonas residenciales periféricas cuyo requisito fundamental en ambos y sobre todo este último que se encuentra situado en zonas arboladas y de gran vegetación, es conservar la belleza arquitectónica además de - satisfacer la continuidad de servicio, aumento de la demanda de energía eléctrica y seguridad de las personas.

El contenido del presente trabajo tiene como propósito fundamental comprobar las propiedades eléctricas y mecánicas de un cable de potencia, a fin de poder confirmar y demostrar que se encuentra en óptimas condiciones para brindar servicio bajo determinadas circunstancias a la cual debe estar sometido. Teniendo como criterio de evalua-



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

ción los resultados que arroje la experimentación sobre un cierto modelo que se ajusta a determinadas normas de prueba.

En lo que respecta a la presentación de los capítulos que conforman este trabajo, el estudio de los dos primeros corresponden a un análisis de todos los elementos y las funciones que desempeñan cada uno de ellos en un cable eléctrico de potencia, así como los principales fenómenos que acontecen cuando este se encuentra sujeto a determinadas condiciones de carga. De lo anterior es más importante hacer un análisis detallado de teoría y conceptos básicos, por ser la única forma de respaldar solidamente los acontecimientos y los resultados que arrojan las pruebas de laboratorio.

En el tercer capítulo se expone el estudio de los elementos complementarios que debe de tener un cable eléctrico y de potencia así como las funciones que desempeñan en su instalación, mantenimiento y servicio.

En el cuarto capítulo se hace referencia al patrón de normalización de cables, ya que estas constituyen reglas adoptadas que se deben seguir para establecer un mínimo de especificaciones que se tienen que cumplir con toda rigurosidad en la selección de un cable. Así como también ofrecen medidas de seguridad y adecuado funcionamiento en la producción, transporte y empleo de la energía eléctrica, evitan perturbaciones en las instalaciones contribuyendo de un modo indirecto a la seguridad de estas y a la de los aparatos de consumo. Además tienden a procurar las soluciones más favorables desde el punto de vista técnico-económico.

El quinto capítulo describe las pruebas generales realizadas sobre cables eléctricos específicamente de conductores con aislamientos termoplásticos, termofijos, siendo estas tanto de campo como de control de calidad.

Las pruebas realizadas tienen como finalidad determinar tanto eléctrica como físicamente el estado en que se encuentran todos los materiales antes y después de la fabricación del cable, debido a factores de operación y ambientales.

En el sexto capítulo se realizan pruebas en los laboratorios de CONDUMEX, BALTEAU y Facultad de Ingeniería de la UNAM, para comprobar y verificar si un determinado cable cumple con las pruebas descritas en el capítulo quinto, el objetivo primordial es comprobar la calidad y el buen funcionamiento de un cable de uso común para el servicio eléctrico en la ciudad de México.

CAPITULO I

ELEMENTOS, PROPIEDADES Y CLASIFICACION DE LOS CABLES

1.1 Elementos que constituyen un cable

Para obtener el cable eléctrico de potencia que -- cumpla exactamente las necesidades eléctricas en un sistema, debemos dar un mínimo de especificaciones que cubran las propiedades del cable deseado, no obtendremos el cable exacto -- pidiéndolo por su rango de KV como única especificación.

A continuación se proporcionan los elementos que -- constituyen un cable y que deberán ser especificados claramente para poder reunir todas las características que deseamos sean satisfechas por nuestro cable.

La fig. 1.1 nos muestra un cable de potencia elemental y sus elementos constitutivos. La fig. 1.2 nos muestra un cable trifásico de 15 KV provisto de envoltura metálica, a prueba de líquidos y gases.

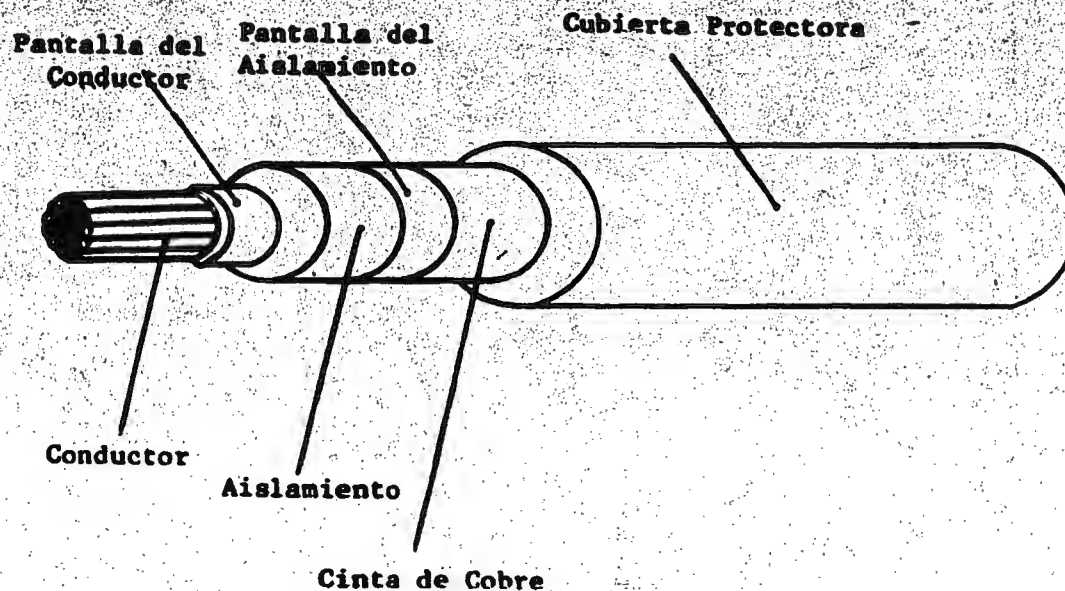


Fig. 1.1. Cable de Potencia Elemental



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

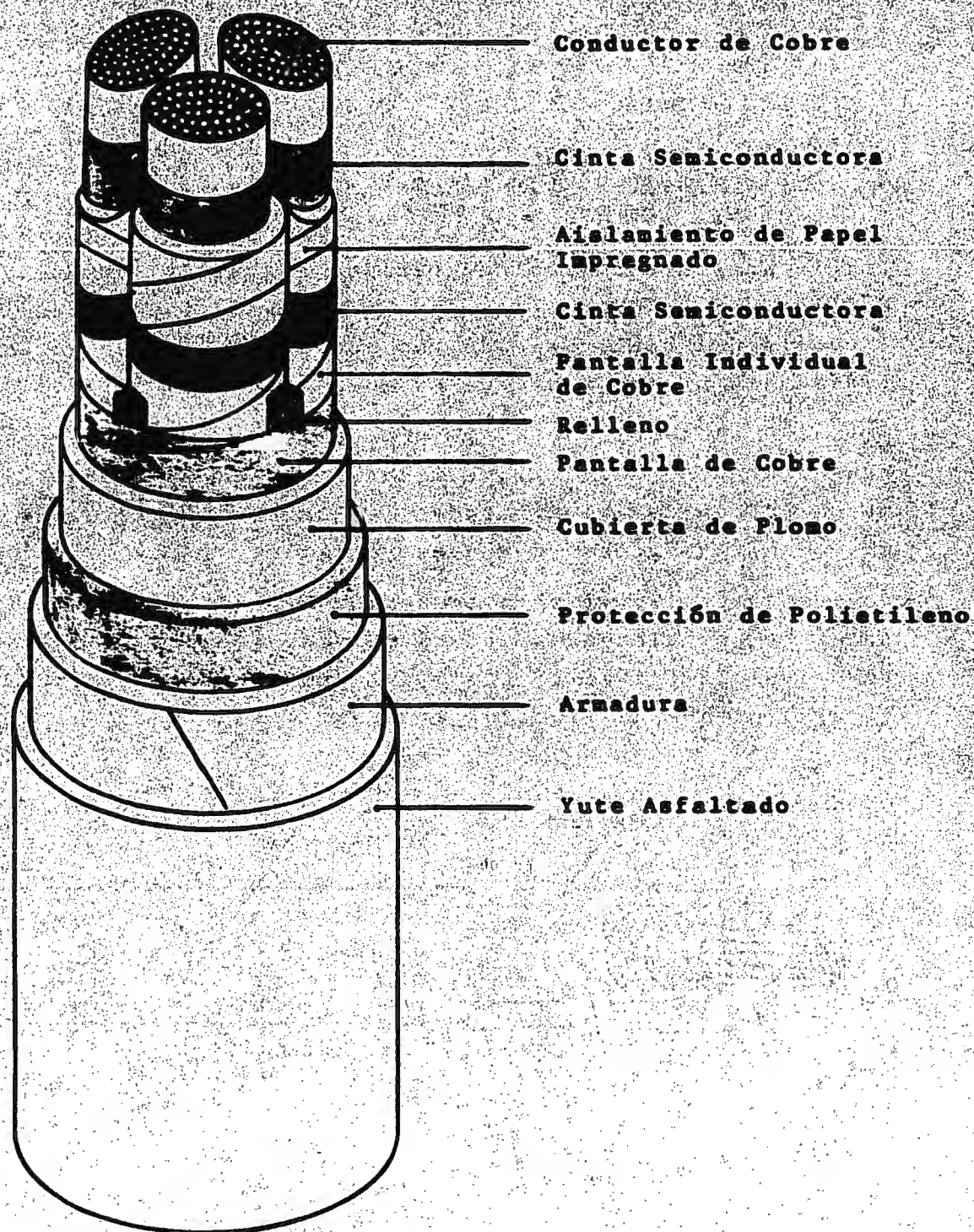


Fig. 1.2

Cable tripolar aislado con papel impregnado y con forro de plomo para 15 KV.

Los elementos que constituyen un cable en forma general y que más adelante trataremos detenidamente, serán:

Conductor.- De Cobre, Aluminio, en hilos trenzados, hilos compactados, etc.

Cubierta Semiconductora.- En forma de cintas trenzadas o extruida, nos sirve para eliminar las discontinuidades de los hilos del conductor trenzados y nos uniformiza la intensidad del campo eléctrico a la vez que da dirección radial a las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por el conductor.

Aislamiento.- Debe ser un material de propiedades dieléctricas buenas, puede ser encintado como el papel impregnado en aceite y el cambray barnizado, o extruido como los aislamientos plásticos.

Cubierta o Pantalla Semiconductora del Aislamiento.- Encintada o extruida, la extrusión es menos propensa a irregularidades de fabricación, pero presenta una mayor dificultad al removerse en empalmes o terminales.

Cubierta de Cinta de Cobre.- Cinta plana o alambre en espiral, estas cubiertas son muy sensibles a dobleces pronunciados del cable y pueden cortar o perforar el aislamiento.

Cinta del Cable o Envoltura.- Usada principalmente para proteger la cubierta de cobre encintado cuando el cable es enrollado o doblado.

Relleno.- Usado para hacer una envoltura redonda de los conductores aislados individualmente, cuando ellos son ensamblados dentro de un cable multiconductor. Sin relleno, los esfuerzos mecánicos de todo el cable durante su instalación, estarían concentrados en el conductor próximo al punto de esfuerzo.

Armadura.- La armadura de cintas de metal en espiral, es muy común en cables de uso industrial pesado, ya que contribuye a aliviar los esfuerzos mecánicos durante las tensiones del cable.

Envoltura Total.- Usada con o sin armadura, sobre cables multiconductores, da protección mecánica y química durante la instalación del cable.

Para fijar mejor las ideas, en la figura 1.3 hemos representado la sección transversal de un cable trifásico subterráneo típico, con todos sus elementos constituyentes.

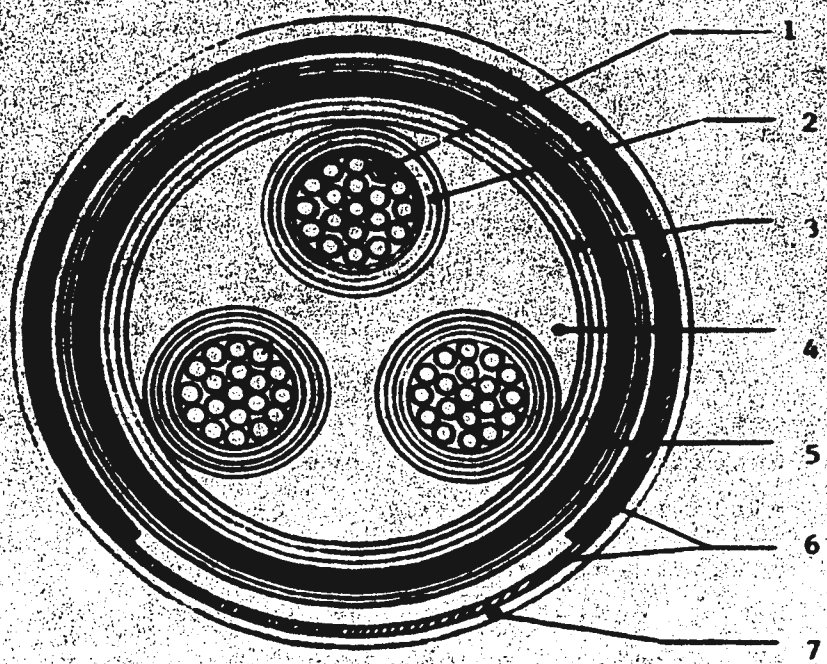


Fig. 1.3 Sección transversal de un cable subterráneo
1-Conductores. 2-Aislamiento. 3-Cintura.
4-Relleno o espesor aislante. 5-Envoltura metálica. 6-Armadura. 7-Cubierta exterior.

1.2 Conductor

La parte esencial de un cable es el conductor metálico, siendo éste el que conduce la corriente de carga.

Históricamente el aluminio fué usado a causa de su alta conductividad eléctrica y rápida disponibilidad, sin embargo, surgieron problemas como el siguiente: Para un determinado valor de corriente, el calibre del conductor de aluminio era mayor que el de cobre, esto repercutía en los ductos ya que tenían que ser más grandes para pasar conductores de gran tamaño. Así pues se optó por tomar al cobre como elemento conductor debido a su conductividad, ductilidad, resistencia a los agentes químicos, resistencia a la tensión, ahorro en espacio y bajo costo de instalación en ductos.

Hoy en día, debido a la gran variedad de aplicaciones que se da al cobre, la demanda es grande por lo que el precio tiende a subir. Siendo el aluminio uno de los metales que más existen en la tierra la sustitución del cobre por el aluminio es inevitable en algunos casos. Hoy en día los conductores aéreos en líneas de transmisión, son de aluminio, el problema de la ruptura, para claros largos, debido al peso de los mismos, se soluciona reforzandolos con acero. A continuación se comparan las características de ambos metales con el fin de ampliar la visión que tenemos de ellos.

1.2.1 Características comparativas

Debido a que el aluminio necesita alta tecnología en su proceso y siendo este uno de los metales más abundantes, concluimos que su uso será conveniente si se cuenta con la materia prima suficiente y la tecnología adecuada. El proceso de elaboración de conductores de cobre es menos costoso que el de conductores de aluminio. El costo de instalación en conductores de aluminio sube debido a que su tamaño es mayor, esto lo podemos ver con el siguiente análisis; la maquinaria usada en su instalación tendrá que ser mayor y consecuentemente requerirá de una mayor cantidad de energía, energía que a la postre se traduce en costo. El precio de

de rescate del cobre es muy superior al del aluminio. La conductividad del aluminio es solo el 61% con respecto a la del cobre, así, para la misma cantidad de corriente, el área de la sección transversal del aluminio es mayor, esto trae como consecuencia aumento del material que lo aislará, aumento en el tamaño de ductos si es que se requiere de estos, las terminales del conductor necesitan ser de mayor tamaño, etc. En líneas aéreas, cuando usamos conectores a presión, el aluminio al encontrarse bajo esfuerzos de compresión reduce el área de su sección transversal, esto es debido a la suavidad del metal, el efecto que causa esta característica es un mal contacto entre el conector y el conductor. En lo referente a conectores soldables es más difícil soldar en Aluminio que en Cobre. Al estar el aluminio en contacto con oxígeno, este reacciona, formando sobre él una capa de óxido de aluminio, la cual afecta y favorece al conductor, lo favorece ya que dicha capa sirve para proteger al conductor de agentes químicos, lo afecta ya que aumenta la resistencia eléctrica del mismo considerablemente, afectando sus características de operación y creando una deficiente continuidad de corriente entre conductor y conector. Por su parte el cobre también reacciona con el oxígeno formándose en la superficie exterior una película de óxido cuproso, que también tiene altos valores resistivos, solo que en este caso el tiempo de formación de dicha película es grande, caso contrario al aluminio que reacciona casi instantáneamente. Conviene hacer notar que en sistemas de distribución subterránea casi no hay contacto entre conductor y oxígeno, y por lo tanto el efecto anterior no se presenta.

Debido a que el aluminio es anódico con la mayoría de los metales, incluso con el cobre, al estar en contacto y en presencia de un electrolito se crea una diferencia de potencial entre el aluminio y el metal, esto ocasiona que del

aluminio se desprendan electrones y que el aluminio se disuelva en el electrolítico, a dicha reacción se la llama corrosión electrolítica, si el ambiente es alcalino la corrosión electrolítica aumenta considerablemente, en consecuencia aumenta la disolución del aluminio, debido a que es difícil evitar el contacto entre cobre y aluminio en presencia de electrolitos, pues la mayoría de conectores y terminales están hechos de cobre dicha corrosión es inevitable.

El procedimiento de vulcanización del aislamiento de un cable implica el uso de azufre, este elemento al entrar en contacto con el cobre reacciona y provoca un aumento de la resistividad del metal así como una reducción de flexibilidad; para el aluminio no sucede igual, ya que éste no reacciona con el azufre.

A continuación se dan tres tablas comparativas de las propiedades entre el cobre y el aluminio, además de otros materiales empleados en la fabricación de cables eléctricos.

	Cobre	Aluminio
Resistencia Eléctrica (CD)	100	100.0
Diámetro	100	126.5
Sección transversal	100	160.0
Peso	100	48.5

Tabla 1.1 Comparación en % para conductores con igual Conductancia (Capacidad de Corriente).

	Cobre	Aluminio
Sección transversal	100	100.0
Conductancia	100	61.0
Resistencia Eléctrica	100	160.0
Peso	100	30.5

Tabla 1.2 Comparación en % para conductores de igual Diámetro.

1.2.2 Proceso de elaboración de Conductores

El metal en lingotes, para formar un conductor, pasa por procesos de estirado en frío y en caliente. Por medio del estirado en caliente se le da forma de alambón y por el estirado en frío se le proporciona su dimensión definitiva, esto es, se le da el calibre; después del estirado se somete a un tratamiento térmico que consiste en calentar al metal hasta su temperatura de cristalización, temperatura en la que las estructuras atómicas del metal se reacomodan ya que en los pasos de estirado el metal sufre un desacomodo en sus estructuras. Una vez realizados estos pasos se somete a un tratamiento de estañado que tiene como fin proteger al conductor de agentes químicos como el azufre, que viene a ser un agente en la vulcanización de elastómeros empleados para aislar al conductor; en conductores de aluminio este paso de estañado no es requisito necesario ya que como vimos anteriormente el aluminio y el azufre no reaccionan químicamente.

Dado que en cables aislados con butilo la aplicación de azufre es inevitable, estos deben ser estañados, no sucede lo mismo con conductores aislados con polietileno de cadena cruzada pues este aislamiento emplea óxido metálico como agente en la vulcanización el cual no es nocivo al cobre.

Una vez estañado el conductor adquiere menor flexibilidad y aumenta su resistencia eléctrica, propiedades que van en contra de las deseadas para una instalación subterránea; sin embargo mejora su soldabilidad, esto es, será posible soldar más fácilmente uniones y terminales que tienen conectores soldables.

Dependiendo del tratamiento térmico un conductor puede ser duro, semiduro o suave, a continuación se describen estos.

Conductor de Temple Duro.- Este conductor solo es estirado y no recibe tratamiento térmico.

Conductor de Temple Semiduro.- Este conductor es estirado, inmediatamente después sometido a tratamiento térmico y por último estirado una vez más.

Conductor de Temple Suave.- Este conductor es aquel que una vez estirado se lleva a un tratamiento térmico de recocido.

	TEMPLE DURO		TEMPLE SUAVE	
	Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
Resistencia a la Tensión (Kgf/cm ²)	11589.84	4821.66	6250.30	2142.96
Conductividad en %	97.16	61.0	100.0	62-63

Tabla 1.4 Comparación entre conductores de temple duro y temple suave.

Como se puede apreciar en un conductor de temple suave donde su estructura atómica no se altera la conductividad es máxima siendo al contrario para un conductor de temple duro.

La resistencia a la tensión es mayor en los conductores de temple duro por lo tanto estos serán mas resistentes a la ruptura y menos flexibles; dado que en instalaciones subterráneas la flexibilidad y conductividad son cualidades buscadas, el conductor de temple suave es el más óptimo.

1.2.3 Calibre del Conductor

El calibre del conductor es el área transversal del mismo, esto es, a mayor sección mayor calibre y a menor sección menor calibre.

La escala que prevalece para alambres destinados para usos eléctricos es la AWG (American Wire Gauge) diseñada por J.R. Brown en 1857 (ver tabla 5).

Esta escala tiene la siguiente propiedad; Sus números representan pasos de estirados, siendo estos, además, retrogresivos, es decir, un número mayor representa un conductor con un diámetro menor y viceversa.

La escala AWG empieza en el número 36 y termina en el 4/0 correspondiendo un diámetro de 5 y 460 mils respectivamente.

Es conveniente aclarar que 1 mil equivale a una milésima de pulgada y una circular mil corresponde a una área circular cuyo diámetro es igual a 1 mil.

Dado que en esta escala se cumple la siguiente regla $d_x = d_{36} K^n$ donde n es un número que existe entre el 36 y el número x inclusive, unicamente despejamos a la constante K, conociendo de antemano los diámetros tenemos que

$$K = \sqrt[n]{\frac{d_x}{d_{36}}} \text{ si } d_x \text{ es el diámetro del calibre 4/0 entonces:}$$

$K = 1.229$, conocidos la cte. K, y el diámetro del conductor número 36, podemos conocer cualquier diámetro de la escala.

Por la definición de circular mil para conocer el área de un conductor en circular mils se necesita saber unicamente cuantos círculos de una mil caben en el mismo. Así por regla de tres, tenemos:

Un diámetro de una mil corresponde a una área de 1 C.M. (circular mil), un diámetro de X mil corresponde a una área de X C.M.

Como el área de un círculo en función de su diámetro esta dada por la expresión:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Podemos expresar matemáticamente la relación anterior de la siguiente forma:

$$\frac{\sqrt{D_x^2}}{4} = A_x \quad (1.1)$$

$$\frac{\sqrt{(1)^2}}{4} = 1 \text{ C.M.} \quad (1.2)$$

Iguando las ecuaciones (1.1) y (1.2) tenemos:

$$A_x = \frac{1 \text{ C.M.} \cdot \frac{\sqrt{D_x^2}}{4}}{\frac{\sqrt{(1)^2}}{4}} = D_x^2 \text{ C.M.} \quad (1.3)$$

Simplificando la ecuación (1.3) nos queda:

$$A_x = D_x^2 \quad (1.4)$$

Donde A_x es el área desconocida; La expresión (1.3) es válida para diámetros expresados en mils.

Es frecuente ver que a partir del calibre 4/0 el área de la sección transversal del conductor se expresa en miles de circular mil, (ver tabla 5)

Existen expresiones obtenidas geométricamente, que dan valores de resistencia en ohms/1000 pies a 20°C, peso en libras/1000 pies a 20°C y área de la sección transversal del conductor en circular mils, conociendo solo el calibre AWG-- estas son:

$$R = 10^{\frac{n-10}{10}} \quad (1.5)$$

$$M = 10^{\frac{25-n}{10}} \quad (1.6)$$

$$CM = 10 \frac{50-n}{10} \quad (1.7)$$

Donde:

R = Resistencia en Ohms/1000 pies

M = Peso en libras/1000 pies

CM = Área de de la sección transversal del conductor, en circular mils

n = calibre AWG

1.2.4 Construcción del cable

Debido a que en la práctica es a veces necesario el uso de conductores con una sección transversal grande, y dado que estos no son comercialmente fabricados, se recurre a usar un conductor que tenga varios alambres con la suma de sus secciones como la deseada; esto es un cable.

La formación de un conductor por varios alambres--trenzados favorece en sí, al mismo, ya que aumenta su flexibilidad, facilitando su manejo durante su instalación, por tanto si a un conductor lo dotamos de gran cantidad de hilos aumentamos su flexibilidad.

Tipos de cables:

La industria cablera crea tres tipos principales de cables:

- 1- Cordón torcido sencillo
- 2- Cable concentrico
- 3- Cable flexible tipo calabrote

1- El cordón torcido sencillo se forma torciendo entre sí varios alambres, esto es, ningún alambre tiene una posición determinada. La aplicación de este cable para distribución de energía eléctrica es nula; el calibre del mismo está dado por la suma de los calibres individuales de cada alambre.

2- Cable concéntrico

Este cable se construye con alambres de igual diámetro, el proceso de fabricación consiste en enrollar helicoidalmente seis alambres sobre uno que sirva de eje, para dar calibres mayores se van aumentando capas, así la capa siguiente sería de doce alambres, después de dieciocho, posteriormente veinticuatro, y así sucesivamente; conviene mencionar que el sentido de las capas se invierte entre una y otra.

Una fórmula que da el número de alambres de diámetro uniforme, conocido el número de capas, es el siguiente:

$$\text{Número de alambres} = 3X^2 - 3X + 1 \quad (1.6)$$

Donde X es el número de capas tomando el conductor del centro como una de ellas.

Es conveniente hablar del paso de un conductor antes de hablar de cables por clase.

Entiéndase por paso a la distancia axial entre dos posiciones análogas del mismo alambre (véase figura 1.4) en esta figura, el número de conductores existente en el paso es de 15.

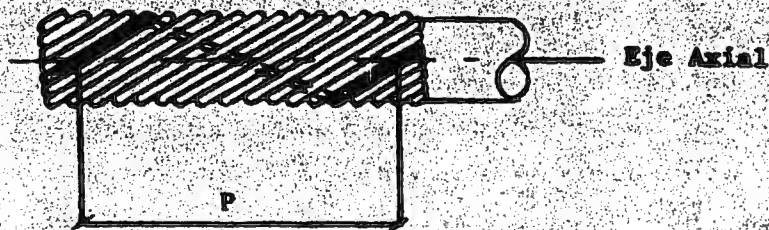


Fig. 1.4 Paso de un conductor.

Existen varias clases de cables concéntricos, designados por A, AA, B, C, D, la construcción es exactamente igual en cada uno de ellos, y lo único que los diferencia es el número de alambres de que se compone el paso para un calibre dado, así, el número de alambres para un calibre dado AWG

en cada construcción es:

Calibre	Clase B	Clase C	Clase D
El dado	7	19	37

3- Cable tipo calabrote

Esta construcción es para conductores de gran calibre que además requieren de gran flexibilidad.

El cable en cuestión se usa principalmente para conducir magnitudes elevadas de corriente, este tipo de cables son construidos en seis formas que son:

a) Construcción en torcido sencillo.-

(a este tipo de construcción se le denomina cordón)

b) Construcción concéntrica de alambres.-

(a este tipo de construcción se le denomina torón)

c) Construcción concéntrica de torones

d) Construcción torcido sencillo de torones

e) Construcción concéntrica de cordones

f) Construcción torcido sencillo de cordones

1.2.5 Clasificación de cables.-

Debido a la gran variedad en tipos de cables existe dificultad en hacer clasificaciones, así los hay desnudos y aislados; dependiendo de su aplicación los hay para radio -- frecuencia, potencia, portaelectrodos, terminal de bobina, - etc. si lo que importa es el material, los hay de aluminio y de cobre; también dependiendo del aislamiento, los tenemos-- aislados con papel, hule, termoplástico, etc. respecto al número de fases, los hay monofásicos, trifásico, atendiendo la forma del cable, existen redondos, coaxiales; si la cuestión es la forma del conductor, los hay redondos, sectoriales ----

segmentales, etc. por el tipo de cubierta protectora existen de metal, armados, asfalto, etc. por la temperatura que resisten, los hay para bajas, medias y altas.

La clasificación de cables atendiendo la forma de su sección transversal es la siguiente:

- 1- Concentrico circular
- 2- Circular compacto
- 3- Sectoral compacto
- 4- Anular
- 5- Segmental

La figura (1.5) nos muestra la forma física que guarda cada uno de estos.

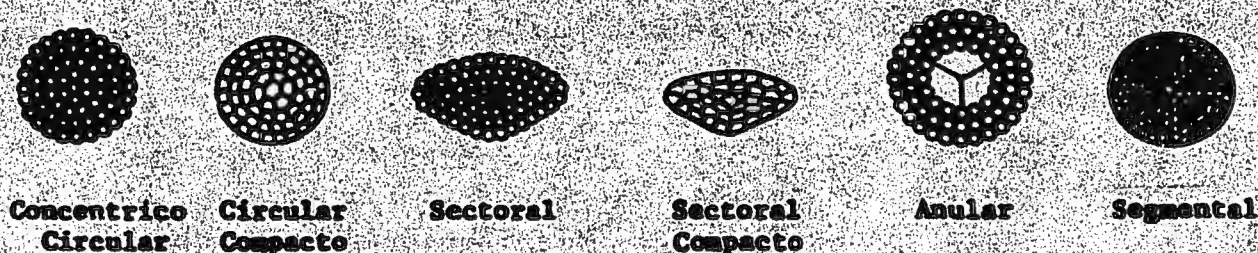


Fig. (1.5)

1- Conductor de sección transversal circular.

Como su nombre lo indica, la sección transversal es un círculo, tiene las siguientes ventajas:

a) La distribución del campo eléctrico es más controlable, ya que su superficie se asemeja -- mas a un cilindro por lo que el relleno entre la pantalla y el conductor será escaso.

b) Fácil de fabricar, barato y con gran flexibilidad

Dentro de las desventajas de este tipo de construc-

ción se pueden mencionar las siguientes:

- a) El área en cables trifásicos se eleva considerablemente
- b) El costo del cable aumenta

2- Conductor de sección transversal compacta.

Este conductor es, en número de alambres, igual al anterior, en lo único que difiere es que este está sometido a compresión a fin de reducir la sección. Como en el anterior tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- a) Menor diámetro, menor área, ocupa menos espacio
- b) En ductos requiere menos aislamiento
- c) El campo eléctrico es más fácil de controlar que en un normal, ya que en un normal no se cuenta con una superficie más lisa.

Desventajas:

- a) Aumento en el costo, debido a su proceso adicional de compresión, este aumento sin embargo puede compensarse con la disminución de aislamiento y la reducción de las pantallas.
- b) A causa de la compresión la flexibilidad es reducida

3- Conductor de sección transversal sectoral.

Llamado así, pues la forma que adquieren el conjunto de alambres es semejante a un sector de círculo, este conductor únicamente se emplea en cables trifásicos formando en conjunto un círculo, una vez formado el círculo el proceso de aislarlo es sencillo. Guarda las siguientes ventajas:

- a) Ahorro de espacio notorio cuando se compara con un conductor trifásico formado por conductores circulares

Desventajas:

- a) Debido a la forma de su sección este conductor se aísla por medio de cintas impregnadas de tela o de papel, el querer aislar la fases con termoplásticos por extrusión es contraproducente debido a su dificultad y costo
- b) El campo eléctrico se distribuye sin uniformidad a través de su aislamiento, esto es, se producen concentraciones en las aristas creando un mayor esfuerzo en esa sección
- c) La flexibilidad en este conductor es baja

4- Conductor de sección transversal sectoral compacta.

Este conductor tiene el mismo número de hilos por capa que el anterior, solo que a cada capa de este le es aplicada una presión inmediatamente después de que cada capa es acomodada, esto logra una reducción del perímetro para una misma sección transversal del conductor.

Ventajas:

- a) Ahorro de espacio
- b) Ahorro de aislamiento

Desventajas:

- a) Solo es posible aislarlo con cintas
- b) Baja flexibilidad
- c) El campo eléctrico no es uniforme en el aislamiento

5- Conductor de sección transversal anular.

Este conductor como su nombre lo indica adquiere la forma de un anillo, esto es, los alambres son enrollados --

sobre un cilindro hueco, cilindro formado por lámina enrollada espiralmente o por un simple tubo prefabricado.

Tiene las siguientes ventajas:

- a) Ahorro en material
- b) Evita el efecto Kelvin
- c) Aumenta la superficie exterior y con esto reduce las concentraciones de campo eléctrico ya que la superficie exterior del conductor tiende a ser más lisa y se reducen las fallas en el aislamiento
- d) Mayor capacidad de corriente
- e) Mejor disipación del calor

Desventajas:

- a) Costo elevado
- b) Construcción complicada

Cabe mencionar que en estos conductores es posible introducir gas a presión o aceite en el interior del tubo -- evitando con esto la formación de burbujas ionizables entre aislamiento y conductor.

6- Conductor de sección transversal segmental.

Este tipo de cable es generalmente de un alto calibre, como se aprecia en la figura(1.5), construido por conductores de sección sectorial, El conductor toma tres o cuatro sectoriales y los aísla entre sí para reducir el efecto Kelvin pues a medida que crece el calibre este se vuelve más intenso.

1.2.6 Efecto Kelvin o Efecto superficial.

Este efecto se produce cuando por un conductor circula una corriente alterna y se explica de la manera siguiente manera:

La distribución de la corriente es uniforme única y exclusivamente cuando por el conductor circula una corrien

te continúa, si la corriente es alterna, y a medida que aumenta la frecuencia se hace más pronunciada la diferencia entre las densidades de corriente de las distintas zonas de una sección transversal.

Esto lo podemos analizar si imaginamos a el conductor formado por filamentos longitudinales normales a la sección del del conductor, si hacemos circular corriente alterna producirémos un flujo alterno y esto a su vez una fuerza electromotriz que se opone a la tensión aplicada, debido a los encadenamientos de flujo entre filamentos, la fuerza electromotriz crecerá donde exista un mayor encadenamiento dado que--- los filamentos situados en la superficie no son alcanzados -- por el flujo interno, el encadenamiento de enlaces de flujo - en los filamentos cercanos en la superficie es menor que en el interior.

Suponiendo filamentos de área y resistencia similares, la caída de voltaje en cada uno de estos estará dada -- por la expresión:

$$V = RI - FEM$$

Donde :

V = Voltaje aplicado

R = Resistencia del filamento

I = Corriente que circula en el filamento

FEM = Fuerza electromotriz inducida

Pues bien la caída de voltaje para filamentos con las características anteriores deberá ser igual y para que la igualdad anterior se cumpla, para un voltaje constante y resistencia constante, se tendrán que dar las siguientes combinaciones:

-Disminución de la corriente con aumento de FEM

-Disminución de la FEM con aumento de la corriente

En conclusión dado que la FEM es mayor en el centro la corriente en dicho lugar es menor.

Así pues, el efecto que da una distribución no uniforme de corriente en la sección transversal del conductor lo llamamos efecto Kelvin.

Denominamos factor superficial o factor Kelvin al cociente formado por la resistencia a la corriente alterna entre la resistencia a la corriente continua para un conductor dado así:

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

La tabla 1.6 nos muestra los diferentes valores de K tomando como parametro $X=0.027678 f/R_0$ donde:

f = Frecuencia en CPS

R_0 = Resistencia a la CD a la temperatura de operación en ohms/1000 pies

Esto es, conocida R_0 y la frecuencia de trabajo se encuentra X y con este valor se pasa a la tabla para conocer la relación R/R_0 .

En el caso de CA, la inductancia es afectada también, al no ser uniformemente distribuida la corriente en la sección del conductor, la misma tabla nos da la relación de L/L_0 en donde L_0 es la inductancia, suponiendo la corriente uniformemente distribuida, y L la inductancia cuando la densidad de corriente no es uniforme.

Para altas frecuencias y en conductores de radio considerable, el efecto Kelvin altera completamente los valores de resistencia y reactancia, incluso a las frecuencias normales de distribución, el efecto Kelvin es impor-

Tabla 1.6 RELACION DE RESISTENCIA Y REACTANCIA

DEBIDAS AL EFECTO KELVIN

x	R/Ro	L/Lo	x	R/Ro	L/Lo	x	R/Ro	L/Lo	x	R/Ro	L/Lo
0.0	1.00000	1.00000	2.9	1.28644	0.86012	6.6	2.60313	0.42389	17.0	6.26817	0.16614
0.1	1.00000	1.00000	3.0	1.31809	0.84517	6.8	2.67312	0.41171	18.0	6.62129	0.15694
0.2	1.00000	1.00000	3.1	1.35102	0.82975	7.0	2.74319	0.40021	19.0	6.97446	0.14870
0.3	1.00004	0.99998	3.2	1.38504	0.81397	7.2	2.81334	0.38933	20.0	7.32767	0.14128
0.4	1.00013	0.99993	3.3	1.41999	0.79794	7.4	2.88355	0.37902	21.0	7.68091	0.13456
0.5	1.00032	0.99984	3.4	1.45570	0.78175	7.6	2.95380	0.36923	22.0	8.03418	0.12846
0.6	1.00067	0.99966	3.5	1.49202	0.76550	7.8	3.02411	0.35992	23.0	8.38748	0.12288
0.7	1.00124	0.99937	3.6	1.52879	0.74929	8.0	3.09445	0.35107	24.0	8.74079	0.11777
0.8	1.00212	0.99894	3.7	1.56587	0.73320	8.2	3.16480	0.34263	25.0	9.09412	0.11307
0.9	1.00340	0.99830	3.8	1.60314	0.71729	8.4	3.23518	0.33460	26.0	9.44748	0.10872
1.0	1.00519	0.99741	3.9	1.64051	0.70165	8.6	3.30557	0.32692	28.0	10.15422	0.10096
1.1	1.00758	0.99621	4.0	1.67787	0.68632	8.8	3.37597	0.31958	30.0	10.86101	0.09424
1.2	1.01071	0.99465	4.1	1.71516	0.67135	9.0	3.44638	0.31257	32.0	11.58785	0.08835
1.3	1.01470	0.99266	4.2	1.75233	0.65677	9.2	3.51680	0.30585	34.0	12.27471	0.08316
1.4	1.01969	0.99017	4.3	1.78933	0.64262	9.4	3.58723	0.29941	36.0	12.98160	0.07854
1.5	1.02582	0.98711	4.4	1.82614	0.62890	9.6	3.65766	0.29324	38.0	13.68852	0.07441
1.6	1.03323	0.98342	4.5	1.86275	0.61563	9.8	3.72812	0.28731	40.0	14.39545	0.07069
1.7	1.04205	0.97904	4.6	1.89914	0.60281	10.0	3.79857	0.28162	42.0	15.10240	0.06733
1.8	1.05240	0.97390	4.7	1.93533	0.59044	10.5	3.97477	0.26832	44.0	15.80936	0.06427
1.9	1.06440	0.96795	4.8	1.97131	0.57852	11.0	4.15100	0.25622	46.0	16.51634	0.06148
2.0	1.07816	0.96113	4.9	2.00710	0.56703	11.5	4.32727	0.24516	48.0	17.22333	0.05892
2.1	1.09375	0.95343	5.0	2.04272	0.55597	12.0	4.50358	0.23501	50.0	17.93032	0.05656
2.2	1.11126	0.94482	5.2	2.11353	0.53506	12.5	4.67993	0.22567	60.0	21.46541	0.04713
2.3	1.13069	0.93527	5.4	2.18389	0.51566	13.0	4.85631	0.21703	70.0	25.00063	0.04040
2.4	1.15207	0.92482	5.6	2.25393	0.49764	13.5	5.03272	0.20903	80.0	28.53593	0.03535
2.5	1.17538	0.91347	5.8	2.32380	0.48086	14.0	5.20915	0.20160	90.0	32.07127	0.03142
2.6	1.20056	0.90126	6.0	2.39359	0.46521	14.5	5.38560	0.19468	100.0	35.60666	0.02828
2.7	1.22753	0.88825	6.2	2.46338	0.45056	15.0	5.56208	0.18822	∞	∞	0
2.8	1.25620	0.87451	6.4	2.53321	0.43682	16.0	5.91509	0.17649			

R/Ro = Relación de resistencias debido al efecto Skin.- L/Lo = Relación de Inductancias debido al efecto Skin.

R = Resistencia en A.C.- L = Inductancia para una densidad de corriente no uniforme.- Lo = Inductancia para una densidad de corriente uniforme.- Ro = Resistencia en D.C. (frecuencia = 0).- f = Frecuencia en ciclos por segundos.

Reproducido por National Bureau of Standards, Boletín 169.

tante en los grandes conductores.

1.3 Aislamiento

Por muchos años se usó el papel impregnado en aceite y el cambray barnizado como aislamiento en los cables de potencia de alta tensión.

A menor tensión se usaron aislamientos a base de caucho, ya que su nivel de resistencia a la temperatura de operación del cable era baja y por su incapacidad de resistir al ataque del ozono, el cual puede ser generado a voltajes altos. En un principio los cauchos fueron usados para 60°C y 2000 volts como máximo.

A partir de la segunda guerra mundial, fue desarrollado un compuesto obtenido del petróleo, el hule butil que fue llamado hule sintético, este compuesto era resistente al ozono y con características térmicas considerablemente mejores que el hule o caucho natural y fue usado hasta niveles de 15 KV, desplazando al caucho natural y al cambray barnizado de varias aplicaciones.

El polietileno, a partir de 1946, fue usado como aislamiento en sistemas hasta de 15 KV y en 1965 fue usado para voltajes tan altos como 13.8 KV.

Después de la segunda guerra mundial, el polietileno tuvo más uso gracias a sus buenas propiedades dieléctricas sin embargo, tuvo su mayor desventaja en su punto de fusión bajo, ya que en un rango de temperatura de 110 a 115°C el material se derrite y hay problema de excentri---

cidad en el aislamiento del conductor.

Con el desarrollo comercial de los cables con aislamiento de polietileno de cadena cruzada, al inicio de la década de los 60's, los problemas térmicos asociados a el polietileno parecieron estar solucionados, ya que las propiedades dieléctricas del polietileno de cadena cruzada fueron tan buenas como las del polietileno y sus propiedades térmicas fueron superiores.

De uso relativamente nuevo, es la aplicación de la familia del polietileno-propileno, comunmente llamado hule -- etileno propileno (EPR), como aislamiento de cables. Este polímero es más flexible que cualquier polietileno y es mucho más resistente a el Ozono y a la Ionización que otros, aunque sus propiedades dieléctricas no son tan buenas como la de los polietilenos, sus propiedades térmicas son semejantes de tal modo que el EPR puede ser considerado a la misma temperatura que el polietileno de cadena cruzada.

Las sustancias usadas como aislamiento, así como las propiedades que deben cumplir y sus usos, serán examinadas detenidamente a continuación.

1.3.1 Propiedades Químicas en un Aislamiento.

A continuación mostramos como los materiales plásticos pueden ser afectados por la exposición al aire libre ambiental. Los posibles efectos de la luz ultravioleta, oxígeno atmosférico, humedad gases y sólidos de la polución. Los aislamientos y las cubiertas protectoras deben soportar lo anterior para su buen funcionamiento.

Los componentes del ambiente, más probables de causar cambios significativos en las propiedades de los materiales polímeros son:

- Luz ultravioleta (U. V.) Componente de la luz Solar
- Oxígeno Atmosférico.
- Humedad, lluvia, rocío, etc.

Luz Ultra Violeta

La luz puede causar solamente, un cambio químico, si la energía de los fotones individuales es al menos igual a la energía de enlace encontrada en la molécula del polímero. La energía de un fotón está relacionada a su longitud de onda por la ecuación.

$$E = \frac{h c}{\lambda}$$

Donde: h es la constante de Planck.
 c es la velocidad de la luz
 λ es la longitud de onda del fotón.

Luz U. V. de longitud de onda de 2800 a 4000 Å tiene suficiente energía para romper varios tipos de enlaces químicos, tales como C-H, C-C, C-Cl, C - Si, algunos de los cuales se presentan en la mayoría de los polímeros comunes. La ruptura de los enlaces químicos, da como resultado una reducción en el peso molecular y una degradación del polímero, la cual puede ser reconocida por la pérdida de las propiedades mecánicas y eléctricas.

Oxígeno Atmosférico.

En presencia de oxígeno, los radicales libres pueden llevar a un efecto auto-catalítico por la generación de varios tipos nuevos de radicales por ejemplo, una reacción en cadena de radicales degradados.

Humedad.

La humedad que puede presentarse como lluvia, rocío, condensación o excesiva humedad, pueden atacar y degradar diferentes polímeros de diferentes formas:

- a) Hidrólisis química.
- b) Producción de radicales hidroxilo en presencia de luz solar, la cual puede participar fomentando reacciones en los radicales llevando al polímero a su degradación.
- c) El congelamiento del agua en imperfecciones de la superficie puede causar grietas en las cuales más agua puede depositarse causando nuevas grietas en nuevos congelamientos.
- d) Contaminantes disueltos en una superficie húmeda, pueden causar pérdida de la integridad eléctrica, por ejemplo, por tracking o perforación del dieléctrico.
- e) En ciertos polímeros la humedad puede disolver y sacar los plastificantes y estabilizadores, resultando más quebradizo o reduciendo su propiedad de resistir la oxidación.
- f) La absorción de agua incrementa las pérdidas eléctricas, las cuales pueden dar como resultado una redistribución de esfuerzos eléctricos y por lo tanto falla.

Los gases contaminantes más comunes en la atmósfera son: ozono, óxido de azufre y óxido de nitrógeno. Se pueden presentar debido a emisiones directas de fábricas, chimeneas de casas, tubos de escape de automóviles y como un resultado de reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Estos gases contaminantes reaccionan químicamente con la superficie del polímero y pueden causar cambios significativos en sus propiedades y en su funcionamiento.

Ozono

El ozono es químicamente muy reactivo y abarca cualquier insaturación que se presente en un polímero, causando ruptura de las cadenas y formaciones carbónicas. La importancia de formaciones carbónicas en presencia de Luz Ultravioleta

ta ha sido comentada anteriormente.

Los sitios de insaturación pueden ser presentados en las moléculas del polímero por diseño, así, muchos elastómeros contienen grandes cantidades de insaturación que facilitan su vulcanización. La insaturación puede también ser formada por servicio como un resultado de degradación por luz ultravioleta.

La reacción de poliestileno con ozono puede proceder muy rápidamente a 60°C con un conjunto de cadenas rotas y la formación de grandes cantidades de grupos carbonados.

Oxido de Azufre

El principal óxido de azufre en la atmósfera es el dióxido. Se ha demostrado que el dióxido de azufre en presencia de luz ultravioleta reacciona con los materiales hidrocarburos creando degradaciones en estos.

Es probable que el ácido sulfúrico dañe el sistema de polímeros con abundante relleno inorgánico, ya que reacciona con este.

El poliestileno forma cadena cruzada casi completamente en presencia de dióxido de azufre y luz ultravioleta, mientras que no hay reacción cuando solo se presenta el dióxido de azufre. El polipropileno es afectado de una manera similar.

Oxido de Nitrógeno

El principal óxido de nitrógeno presente en la contaminación atmosférica es el dióxido.

La exposición a dióxido de nitrógeno da como resultado una incorporación de grupos de nitrógeno en la cadena -

principal.

En el caso de polipropileno, el encadenamiento cruzado ocurre en presencia de luz ultravioleta.

Por lo tanto la presencia simultánea de contaminantes atmosféricos gaseosos con luz ultravioleta forman una -- fuerte degradación para la mayoría de los materiales polímeros.

Contaminantes Sólidos

Los típicos contaminantes sólidos incluyen polvo, ceniza, sal, arena, cemento en polvo, hollín, etc. y pueden ser en naturaleza ácida, neutra o alcalina. Estos contaminantes varían grandemente dependiendo de la localización geográfica.

La ceniza puede ser muy dañina tanto que puede causar alta corriente de fuga superficial, la cual, puede abrir el camino a trackin y erosión. Algunos contaminantes altamente alcalinos pueden causar daño químico. Por otro lado, polvos no reactivos harán una excelente película protectora del polímero contra la luz ultravioleta incidente.

1.3.2 Nivel de Aislamiento.

El voltaje a lo largo de un aislamiento varía desde cero en la parte exterior, a 100% en el fondo del aislamiento, en el conductor. Cuando este voltaje se incrementa será necesario mayor cantidad de aislamiento. El espesor de la pared depende además de la calidad dieléctrica del aislamiento. En este respecto, el polietileno ha demostrado su utilidad como buen aislante ya que sus características dieléctricas son excelentes.

En diseños usuales, el espesor de la pared es basado en niveles conservadores de esfuerzos dieléctricos, va---

riando de 65 volts por mil a 100 volts por mil.

El voltaje de operación no excederá el rango de voltaje de circuito por más de 5% durante su operación continua, ó 10% durante emergencia que no dure más de 15 minutos.

La selección del nivel de aislamiento de un cable - que será usado en una instalación particular será hecha basándonos en el voltaje aplicado de fase a fase y la categoría general del sistema como sigue:

a) 100% de nivel de aislamiento.

Los cables en esta categoría, pueden ser aplicados - donde el sistema es provisto de reelevadores de protección de tal modo que las fallas a tierra, serán despejadas tan rápido como sea posible, pero en todo caso dentro de un minuto. Mientras estos cables son aplicables a la gran mayoría de -- instalaciones con cables en sistemas aterrizados, pueden ser usados también en otros sistemas donde la aplicación del cable es aceptable, dotando a lo antes dicho de interruptores necesarios para desenergizar la zona de falla.

b) 133% de nivel de aislamiento.

Este nivel de aislamiento corresponde a sistemas no aterrizados. Cables en esta categoría pueden ser aplicados - en situaciones donde claramente las necesidades de la categoría de 100% de nivel de aislamiento no pueden ser usados, y sin embargo hay suficiente seguridad de que la sección de la falla será desenergizada en un tiempo que no exceda una hora.

También pueden ser usados cuando una graduación de aislamiento adicional sobre la categoría del 100% de nivel - es necesaria.

1.3.3 Temperatura de operación normal de un cable.

Es la temperatura del conductor, tal que no dañe al aislamiento especificado, si el conductor es operado a esta temperatura indefinidamente. Los rangos de ampacidad de las tablas de AIEE-IPCEA están basados de tal forma, que no excedan los rangos de temperatura de operación normal del conductor.

1.3.4 Temperatura de operación de sobrecarga.

Es una temperatura que el conductor puede permitir alcanzar cuando el cable está en sobrecarga 6 mas alta que la normal para un cierto período de tiempo.

Esta condición es posible que exista donde haya --- una demanda inusual en el sistema (debido a la carga de aire acondicionado en un día caluroso de verano, por ejemplo) o cuando una falla de un circuito requiere otro circuito o circuitos que lleven más que su parte proporcional de la carga. Por definición, estas sobrecargas de emergencia pueden durar dondequiera de 100 ciclos (1.67 seg.) a 100 horas. El tiempo total envuelto en semejante sobrecarga de emergencia, no será mayor de 100 horas por año, o más de 5 períodos semejantes durante la vida del cable.

1.3.5 Temperatura de corto circuito.

Es la temperatura del conductor durante la falla -- del sistema, en tal situación, el conductor debe tener flujo de corriente en los miles de amperes hasta que los reelevados, fusibles, o circuitos de interrupción puedan ser abiertos y cortar la corriente de falla. Por definición, esta corriente de corto circuito no fluirá por más de 100 ciclos -- (1.67 seg.). El calor causado por el corto circuito duran-

te este período es almacenado enteramente en el conductor, y no tiene tiempo de escapar através del aislamiento, ya que el período de tiempo es mínimo.

1.3.6 Tipos de aislamiento.

a) Papel impregnado en aceite.

El aislamiento de papel impregnado en aceite, se ha usado a cualquier nivel de tensión, especialmente de 15 KV - en adelante.

El papel que se emplea como aislamiento es de fibra de celulosa, la cual es entretrejida en forma tal que se obtenga una resistencia mecánica aceptable.

La celulosa es el constituyente esencial de las paredes de las células de los vegetales superiores, donde juega el papel de sustancia de apoyo o sostén. Existe en las fibras de algodón, el lino, el yute, la madera, etc.

La celulosa es una materia blanca, presentándose en forma de fibras cuyo aspecto depende de la materia de origen, su límite elástico es bastante bajo, pero su carga de roturas es del orden de la que presentan los metales, 26 a 80 kg/mm² para las fibras largas de algodón.

El papel constituye un excelente material aislante, siempre que no presente poros u oquedades, ya que una de sus desventajas es su higroscopia. En el papel dieléctrico, los poros se evitan impregnando el cable, ya envuelto en papel, con un aceite aislante a una temperatura entre los 100°C, el aceite se hace fluido a esa temperatura y es absorbida por el cable que se encuentra bajo la acción del vacío. A las temperaturas de servicio del cable, la masa papel aceite, es entre viscosa y plástica. Para evitar la entrada de humedad, se rodea el cable de una envoltura de plomo, estos cables de

plomo están normalizados para tensiones nominales hasta 60 KV. Para tendido bajo el suelo, se rodean de una banda de papel -- asfáltico, una armadura en dos capas de cinta de hierro y una vaina protectora exterior de yute impregnado.

Cuando no pueden evitarse los grandes esfuerzos de tracción, se empleará cable con armadura de alambres redondos o planos, mucho más resistentes a la tracción que la armadura de cinta de hierro, puede llevar en lugar de conductores de cobre, conductores de aluminio.

A continuación se presentan casos típicos de cables con aislamiento de papel.

Cable de cinturón.

Cada conductor lleva aislamiento de papel impregnado. Los conductores así aislados se cabiean entre sí y reciben en común una nueva envoltura de papel a modo de arrollamiento, lo cual constituye el llamado aislamiento de cinturón. Sobre éste se sujeta a presión una envoltura de plomo sin costuras. Los espacios que quedan entre las tres vainas reciben un relleno de papel, que antes podía ser también de yute.

Para apreciar lo anterior disponemos de la figura 1.6 que representa la sección transversal de un cable subterráneo tripolar armado para 6-10 KV, sección $3 \times 70 \text{ mm}^2$.

Los cables de cinturón muchas veces se constituyen como cables de sector. Como ejemplo tenemos la figura 1.7 corresponde a la sección de un cable subterráneo tripolar sectorial armado aislado con papel impregnado para 6-10 KV, sección $3 \times 70 \text{ mm}^2$.

Para el cable de cinturón, tanto de conductores de sector como de conductores redondos, puede decirse en general que las líneas de campo eléctrico en el interior no siempre --

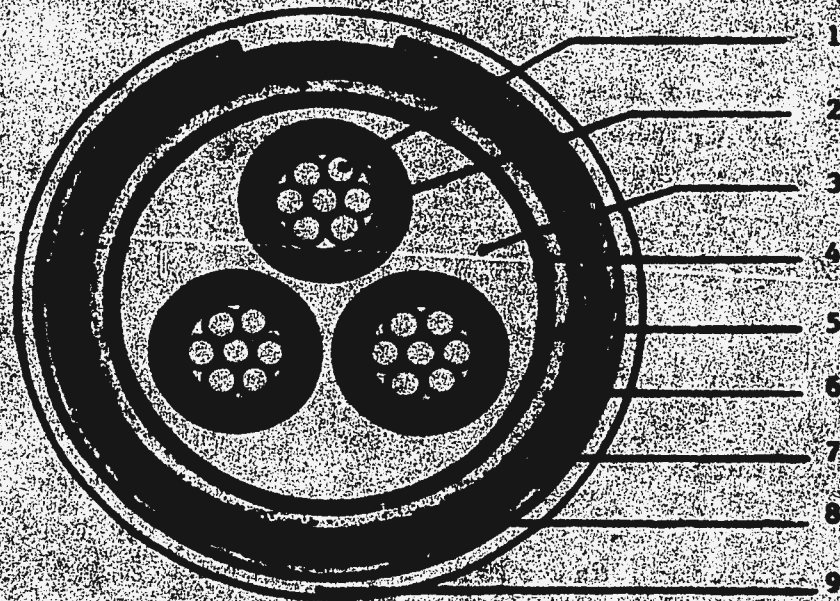


Fig. 1.6 Sección transversal de un cable subterráneo tripolar, aislado con papel impregnado. 1-Conductores - redondos (cobre ó aluminio). 2- Aislamiento individual (papel impregnado). 3- Espesor aislante (masa aislante). 4- Cintura (papel impregnado). 5-- envoltura metálica (plomo). 6- Protección anticorrosión (papel aceitado). 7- Asiento de armadura - (fibras textiles impregnadas). 8- Armadura (flejes de acero). 9- Cubierta exterior (fibras textiles impregnadas).

atraviesan perpendicularmente, sino en sentido oblicuo, a el papel que rodea a los conductores como lo muestra la figura- 1.8.

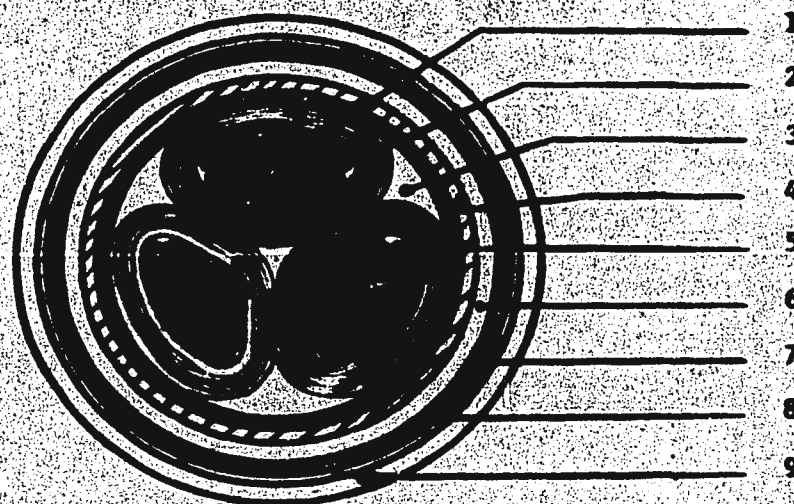


Fig. 1.7 Sección transversal de un cable subterráneo tripolar, aislado con papel impregnado. 1- Conductores sectoriales (cobre ó aluminio). 2- Aislamiento individual (papel impregnado). 3- Espesor aislante (masa aislante). 4- Cintura (papel impregnado). 5- Envoltura metálica (plomo). 6- Protección anticorrosión (papel aceitado). 7- Asiento de armadura (fibras textiles impregnadas). 8- Armadura (fleje de acero). 9- Cubierta exterior (fibras textiles impregnadas).

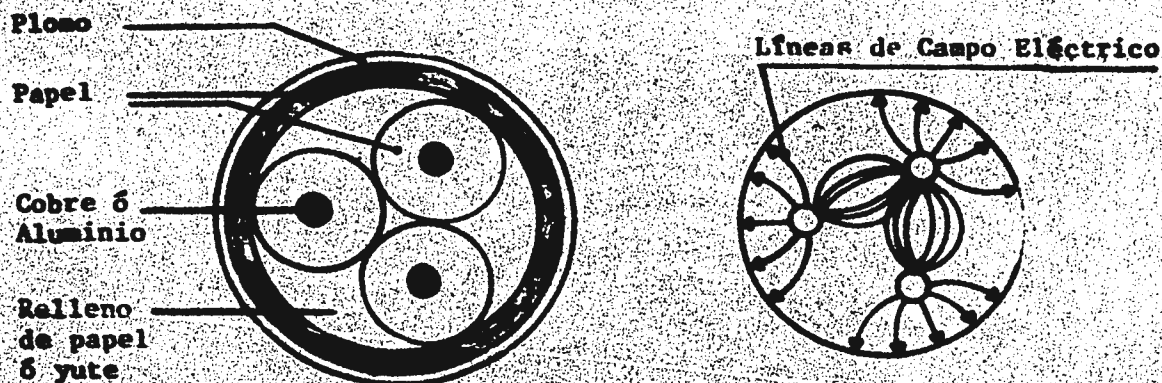


Fig. 1.8 Líneas de Campo Eléctrico para un cable de cinturón.

La intensidad de campo eléctrico puede descomponerse en cada punto en dos componentes, una de las cuales está dispuesta perpendicularmente, la otra longitudinalmente con respecto a la capa de papel. Como la rigidez dieléctrica a lo largo de la capa de papel es mucho más baja que perpendicularmente a la misma, resulta que el cable peligra más precisamente en esa dirección longitudinal.

De aquí que se aspire a que el cable trabaje eléctricamente solo en dirección radial, o sea, normal a la carga de papel lo cual se logra con el cable de venas metalizadas.

Cable con venas metalizadas. Se rodea cada conductor aislado con una finísima hoja metálica puesta a tierra, y los tres conductores van comprimidos conjuntamente bajo una camisa de plomo. Veamos ahora la sección de un cable tripolar armado de almas apantalladas, cuya constitución se muestra en la figura 1.9.

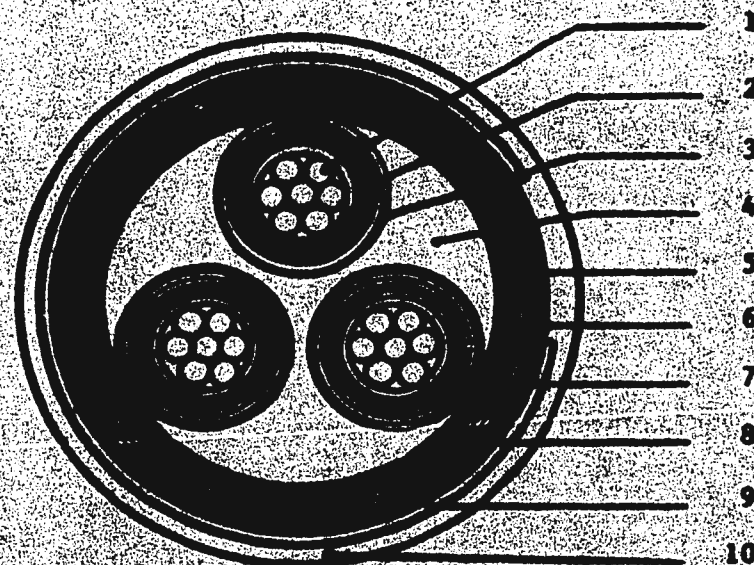


Fig. 1.9 Sección transversal de un cable subterráneo tripolar de campo radial, aislado con papel impregnado (cable H). 1- Conductores redondos (cobre o aluminio). 2- Aislamiento individual (papel impregnado). 3- Hoja Metálica. 4- Espesor Aislante -- (masa aislante). 5- Pantalla conjunta (cintas de papel grafiado y cintas metálicas). 6- Envoltura metálica (plomo). 7- Protección anticorrosión (papel aceitado). 8- Asiento de armadura (fibras textiles impregnadas). 9- Armadura (flejes de acero). 10- Cubierta exterior (fibras textiles impregnadas).

Como se aprecia en la figura 1.10 en el cable metalizado tenemos únicamente esfuerzos radiales, ó sea, en dirección de la máxima resistencia dieléctrica. El relleno y las cuñas, apenas sufren sollicitaciones eléctricas.

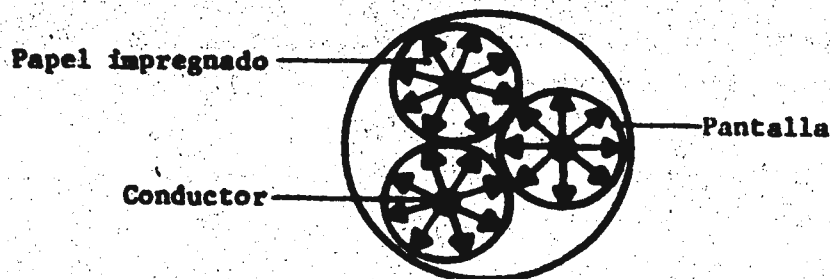


Fig. 1.10 Esfuerzos para un cable con Venas Metalizadas.

Cable de envoltura triple. Cada conductor lleva su propia envoltura de plomo. Con ello, el esfuerzo eléctrico del aislamiento de papel es siempre radial, el relleno queda fuera del campo eléctrico. Como cada una de las camisas citadas protege de por sí contra la humedad a cada una de las venas, sólo el aislamiento de papel necesita estar impregnado, pero no ya el relleno. Cada una de las tres venas está rodeada de papel asfáltico como protección contra la corrosión. La figura 1.11 corresponde a un cable tripolar armado, con tres envolturas de plomo (cable triplomo), que tiene la siguiente constitución.

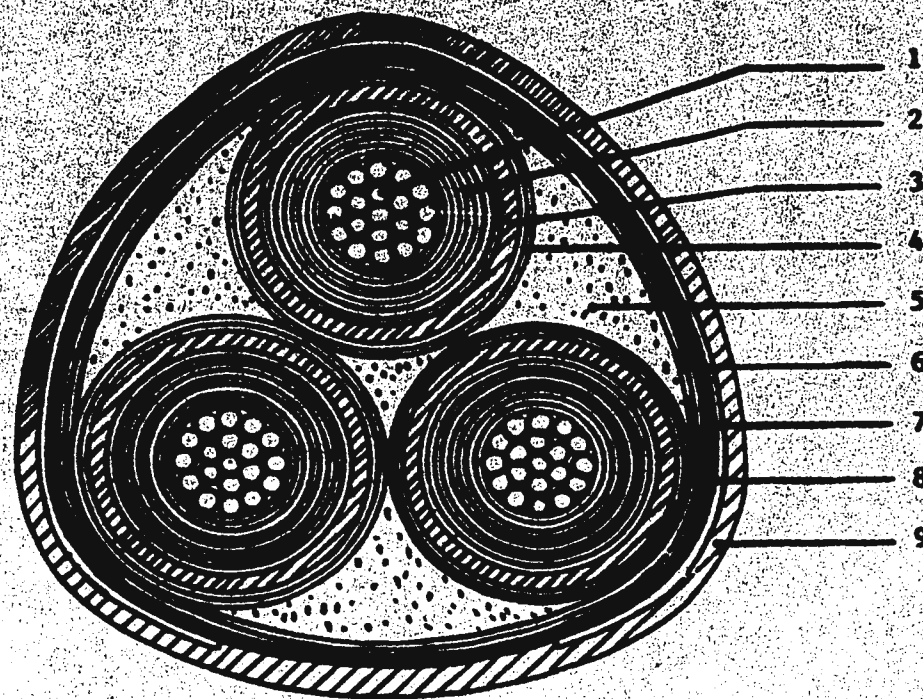


Fig. 1.11 Sección transversal de un cable subterráneo tripolar de campo radial, aislado con papel impregnado (cable triplomo). - 1- Conductores redondos (cobre o aluminio). 2- Aislamiento individual (papel impregnado). 3- Envolturas metálicas individuales (plomo). 4- Protección individual anticorrosión -- (papel aceitado). 5- Espesor aislante (masa aislante). 6- Protección conjunta anticorrosión (papel aceitado). 7- Aisien

to de armadura (fibras textiles impregnadas). 8- Armadura (fibras de acero). 9- Cubierta exterior (fibras textiles impregnadas).

Resumiendo diremos que el papel como aislante tiene las siguientes ventajas:

- a) Características dieléctricas buenas.
- b) Temperatura de operación elevadas.

Sus principales desventajas:

- a) Susceptibles a ionización, operando bajo ciclos térmicos drásticos.

La falla del dieléctrico es imminente cuando se pone en contacto con humedad, una perforación en la cubierta protectora metálica, - por pequeña que sea, es suficiente para producir la falla. Es un cable pesado, su instalación es difícil, la elaboración de uniones y terminales en este tipo de cables es complicada y delicada, requiere de mano de obra especializada. Las tablas 1.8 y 1.9 que a continuación se dan muestran algunas características del papel y el aceite usados en el aislamiento a base de papel impregnado.

Peso específico sin impregnar en gr/cm^3	1.1 a 1.25
Peso específico impregnado en gr/cm^3	1.43
Tensión eficaz para espesor de 0.1 mm:	
- A 50 Hz., por corto tiempo, a 20°C KV	14
- A 50 Hz., 1 minuto, a 20°C KV	10
- A 50 Hz., 1 minuto, a 90°C KV	10
Constante dieléctrica ϵ	4.0 a 4.3
Factor de pérdidas $\text{tg } \delta$	0.0025 a 0.0045

Tabla 1.8 Características Técnicas del papel impregnado para cables Subterráneos.

Peso específico en gr/cm^3	0.865 a 0.885
Viscosidad a 20°C	28 a 35
Viscosidad a 50°C	9 a 10.5
Viscosidad a 100°C	3 a 3.3
Punto de solidificación en $^\circ\text{C}$	-30
Punto de inflamación en $^\circ\text{C}$	150 a 170
Constante dieléctrica ϵ	2

Tabla 1.9 Características Técnicas de los Aceites para impregnación de papel de cables subterráneos. *

* Valores para Aceite fluido.

b) Caucho Natural (hule natural).

Existen gran cantidad de especies vegetales que pueden producir el caucho, pero prácticamente la casi totalidad del mismo procede de la especie llamada hevea brasiliensis.

El caucho no es un polímero bien definido en un producto --- transparente sin olor, de masa específica 0.92 g/cm^3 , mal conductor de la electricidad y del calor, presenta el fenómeno de alta elasticidad sólo entre ciertos límites muy estrechos de temperatura. Por debajo de 4°C se vuelve duro y frágil, mientras que por encima de 30°C presenta --- plasticidad y se vuelve pegajoso. Estas propiedades indican que el caucho natural no tendría aplicaciones si no se le sometiera a un tratamiento llamado vulcanización que se explica en el Apendice I.

La vulcanización da al caucho sus propiedades elásticas usales, la presencia de "puentes" de azufre da elasticidad al caucho.

Si se aumenta progresivamente la proporción de azufre la alta elasticidad va disminuyendo, cuando se añade aproximadamente un 30 % de azufre, se obtiene una sustancia dura y rígida desprovista de elasticidad, la cual es empleada como aislamiento de cables.

El oxígeno se fija con facilidad en el caucho y éste pierde progresivamente sus propiedades mecánicas (envejecimiento) ya sea por

endurecimiento, ya por una especie de reblandecimiento pegajoso.

Esta acción reduce la duración de servicio de los artículos y obliga a tomar precauciones tales como; local fresco, sin luz directa, mejor húmedo que seco, etc. Se limitan los efectos perjudiciales de la oxidación con la adición de sustancias llamadas antioxidantes que permiten aumentar la duración de utilización del caucho.

Este aislamiento es apropiado para la transmisión y distribución de energía eléctrica, bajo condiciones normales de instalación. La temperatura del conductor no excederá los 75°C para voltajes de 8000 — volts ó menos a un nivel de aislamiento de 100 ó 133 por ciento, y no — excederá los 70°C para voltajes de 28 000 volts ó menos a un nivel de — aislamiento de 100 por ciento ó 15 000 volts ó menos a un nivel de aislam_{iento} de 133 por ciento. (tabla 1.10).

FISICAS	Peso específico a 20°C en gr/cm ³	1.4
	Carga de rotura en Kg/cm ²	100
	Alargamiento a la rotura en %	380
	Temperatura máxima de trabajo continuo °C	60
	Temperatura de fragilidad °C	- 35
	Resistencia a la llamas	Mala
ELECTRICAS	Resistencia a 20 °C en ohmios/cm ² /cm.	10 ¹⁴
	Rigidez dieléctrica a 20 °C en KV/mm.	25
	Constante dieléctrica a 50 Hz.	2.7
	Factor de pérdidas (tg δ) a 50 Hz., y 20 °C	0.02
QUIMICAS	Resistencia al ozono.	Mediana
	Resistencia a la humedad	Buena
	Resistencia a aceites y grasas minerales	Mala

Tabla 1.10 Características Técnicas del Caucho Natural Vulcanizado en cables subterráneos.

c) Poli-isobuteno (Caucho butil)

Los alemanes, durante la guerra de 1914-1918, llevaron adelante la idea de crear un caucho sintético polimerizando el isopreno, pero la calidad de los productos obtenidos siempre fué muy inferior a la del caucho natural.

Después se ha reconocido que además pueden polimerizarse otros cuerpos, obteniéndose así productos con excelentes propiedades elásticas. Estos diversos productos tienen sus características propias, físicas, mecánicas y químicas; si bien no son superiores al caucho natural en todos los aspectos, son preferibles a él en algunas aplicaciones.

La denominación "caucho sintético", algunas veces empleada, es impropia, ya que los elastómeros sintéticos tienen una constitución química distinta de la del caucho natural.

El poli-isobuteno, también llamado caucho butil ó caucho sintético, es un elastómero sintético.

El isobuteno se extrae de los gases de "cracking" de los petróleos ó con menor frecuencia, se obtiene por deshidratación del alcohol isobutílico.

Con la polimerización se obtienen los poli-isobutenos que si bien reúnen propiedades elásticas satisfactorias, a causa de su saturación química no pueden ser vulcanizados.

Los poli-isobutenos se emplean principalmente bajo el nombre de "caucho butil", se designa con esta denominación a un producto obtenido por copolimerización a ~ 100 °C, de isobuteno y de una ligera cantidad de butadieno ó con más frecuencia de isopreno (alrededor del 2 %), y que admite la vulcanización.

Debido a su saturación, el caucho butil posee gran resistencia a la oxidación y a ciertos agentes químicos, presenta una gran resistencia al desgarramiento, lo aplicamos como aislamiento de cables eléctricos.

El hule butil es y ha sido uno de los aislamientos más usados en circuitos de alta tensión. El hule butil es inherentemente resistente al ozono, al calor, a la humedad y al envejecimiento. Este aislamiento es usado en conductores para uso aéreo, en conduit, en ductos, o directamente enterrado con cubierta protectora adecuada. Ellos pueden operar hasta 90°C dependiendo del voltaje.

La temperatura a la cual se puede elevar el cable para los diferentes tipos de operación, están de acuerdo al voltaje a que vayan a trabajar de acuerdo a la tabla 1.11.

Voltaje (KV)	Temperaturas (°C)		
	En operación continua	En operación de sobrecarga	En operación de corto circuito
0 - 5	90	125	200
5 - 15	85	120	200
15 - 25	80	115	200
25 - 35	80	110	200

Factor de Potencia 1.0

Constante dieléctrica 3.0

Tabla 1.11

Lo anterior junto con su elevado valor de rigidez dieléctrica permiten el empleo de este material para aislar cables para operar hasta 35 KV.

Sin embargo el mayor inconveniente de este material son los espesores requeridos, ya que son mayores que los requeridos en otros materiales. Cable de dimensiones grandes tendrá mayor volumen, peso y por tanto mayor costo.

d) Polietileno.

Los polietilenos son productos de la polimerización del etileno.

El etileno se obtiene generalmente ya sea por descomposición térmica del propano ó del etano extraído de los gases de destilación del petróleo; ó por descomposición térmica de esencia pesada de petróleo, obteniéndose simultáneamente etileno y homólogos superiores.

El etileno también es extraído de los gases de "cracking" -- por condensación fraccionada a baja temperatura.

Se emplean dos técnicas de polimerización:

Alta presión. -- La polimerización se efectúa a una presión elevada que puede alcanzar las 1500 atm., a una temperatura inferior a los 200°C y en presencia de un catalizador. (Oxígeno).

Baja presión. -- Esta polimerización puesta en práctica por primera vez en 1953, se efectúa a la temperatura de unos 140°C, a baja presión (de 10 a 40 atm.) y en presencia de un catalizador.

El polímero de baja presión presenta un punto de fusión de 135°C en lugar de los 110 - 115°C para el polietileno a alta presión y una mejora de las propiedades mecánicas.

Los polietilenos se presentan en forma de masas blancas, transparentes, ligeros ($\rho = 0.92$ a 0.96 g/cm³), que se utilizan sin plastificante.

Insolubles en frío en todos los disolventes, se vuelven solubles hacia los 70°C particularmente en los hidrocarburos, presentan cualidades excepcionales como aislamientos eléctricos de cables.

Los conductores aislados con polietileno son aplicados en circuitos subterráneos y exteriores de hasta 15 KV y en conductores con voltajes estables hasta 69 KV. El aislamiento de polietileno vulcanizado ha sido usado para circuitos subterráneos primarios entre 15 KV y has

ta 115 KV., demostrando alta resistencia al calor, elevado valor de rigidez dieléctrica y resistencia eléctrica.

Las pérdidas dieléctricas son prácticamente nulas independientemente del voltaje de operación, debido a su factor de potencia bajísimo, su constante dieléctrica baja y la conservación de todas sus características dieléctricas aún a frecuencias muy elevadas, permiten usar este material en cables para radiofrecuencias, telefonía e intercomunicación en general.

Sus dos principales inconvenientes son, su baja resistencia al efecto corona, y su temperatura de fusión baja.

El polietileno es atacado por la ionización, formando cavidades cuyo volumen crece con el tiempo, hasta que se produce la ruptura dieléctrica del aislamiento.

Temperatura de operación continua	75°C
Temperatura de operación de sobrecarga	90°C
Temperatura de operación de corto circuito	150°C

El polietileno es muy resistente al ataque de la mayoría de los solventes, ácidos, aceites, grasas, hidrocarburos, etc. (tabla 1.12)

FISICAS	Peso específico a 20°C en gr/cm ³	0.92
	Carga de rotura en Kg/cm ²	125
	Alargamiento a la rotura en %	400
	Temperatura de fragilidad °C	- 30
	Resistencia a la llama	Arde
ELECTRICAS	Resistividad a 20°C en ohmios cm ² /cm.	10 ¹⁸
	Rigidez dieléctrica a 20°C en KV/mm.	30
	Constante dieléctrica a 50 Hz.	2.30
	Factor de pérdidas (tg δ) a 50 Hz entre - 20°C y + 80°C	2 a 5 X 10 ⁻⁴
QUIMICAS	Resistencia al ozono	Muy buena
	Resistencia a la humedad	Excepcional
	Resistencia a aceites y grasas minerales	Mediana

Tabla 1.12 Características Técnicas de las mezclas de polietileno en cables subterráneos.

e) Polietileno de Cadena Cruzada.

Es el material termoestable más empleado como aislante de los cables subterráneos, es una sustancia resultante de las tentativas para eliminar la condición termoplástica del polietileno, aumentando de esta forma las temperaturas de trabajo y de fusión del material.

En este compuesto, se puede decir que las características dieléctricas del polietileno no son alteradas, no sucediendo lo mismo con sus propiedades mecánicas, pues resulta un material más duro y más rígido y con mayor resistencia al calor.

Laboriosos estudios y pruebas llevaron a descubrir agentes y procesos que podían desarrollar en el polietileno, enlaces intermoleculares estables. En cierto modo, la reticulación es comparable a la vulcanización de un elastómero ya que se proporciona al producto tratado la propiedad de fundirse a alta temperatura sin reblandecimiento previo; por esta razón, a este material se le conoce también con el nombre inapropiado de polietileno vulcanizado. El producto presenta una dureza notable ya que las macromoléculas de etileno que se encuentran enlazadas linealmente, sufren un encadenamiento cruzado entre sí.

El polietileno de cadena cruzada, conserva todas las propiedades eléctricas, mecánicas y químicas del polietileno inicial, pero su temperatura de trabajo se eleva ahora hasta unos 90°C y, en casos de emergencia, hasta 130°C, sin que la vida del cable resulte seriamente afectada. En caso de cortocircuitos francos puede alcanzar temperaturas de 250°C durante 30 segundos. Alrededor de los 300°C, se carboniza sin previa fusión.

Las principales características técnicas de este material se expresan en la tabla 1. 13.

FISICAS	Peso específico a 20°C en gr/cm ³	1.2
	Carga de rotura en Kg/cm ²	150
	Alargamiento a la rotura en %	200
	Temperatura máxima de trabajo continuo °C	90
	Temperatura de fragilidad °C	- 20
	Resistencia a la llama	Moderada
ELECTRICAS	Resistividad a 20°C en ohmios/cm ² /cm	10 ¹⁶
	Rigidez dieléctrica a 20°C en KV/mm.	15
	Constante dieléctrica a 50 Hz.	3
	Factor de pérdidas (tgδ) a 50 Hz., y 20°C	1 X 10 ⁻²
QUIMICAS	Resistencia al ozono	Excelente
	Resistencia a la humedad	Excelente
	Resistencia a aceites y grasas minerales	Excelente

Tabla 1.13 Características técnicas de las mezclas de Polietileno de Cadena Cruzada empleadas en cables subterráneos.

f) Policloruro de vinilo. (PVC).

Los policloruros de vinilo se obtienen por polimerización -- del cloruro de vinilo.

Con frecuencia, este se obtiene por fijación del cloruro de hidrógeno en el acetileno en presencia de un catalizador

El cloruro de vinilo se polimeriza en las condiciones más variadas.

El punto de reblandecimiento es de 80 a 85°C. Estos productos son insolubles en todos los disolventes corrientes, los policloruros de vinilo tienen una inercia química particularmente grande y son incombustibles. Sin embargo, un calentamiento prolongado conduce a su descomposición con desprendimiento de cloruro de hidrógeno. Son buenos aislantes eléctricos.

Este material no permite temperaturas superiores a 105°C, — por periodos reducidos, pudiendo estar ocasionados por sobrecorriente.

Este material es usado para cables que operan hasta 25 KV.

Sus propiedades mecánicas son buenas, es resistente a la tensión, a la abrasión y al impacto, sin embargo, esta última se reduce en forma considerable en temperaturas bajas (10°C).

El PVC., no se ve atacado por una gran cantidad de solventes tales como ácidos, alcalies, grasas, hidrocarburos y aceites. Por otra parte es auto extingible (no propaga la flama). Un PVC soporta todo tipo de intemperismos, luz solar, humedad, etc.

La flexibilidad del material es buena, facilitándose la instalación con este tipo de cables, sin embargo no es tanta que permita el empleo de este material en conductores flexibles.

Las características mecánicas y su resistencia al ataque qumico, han hecho que se generalice el empleo de este material como cubierta protectora del aislamiento de los cables de energía, (tabla 1.14)

		Tipo de Mezcla	
Características		Para aislamiento	Para cubierta
FISICAS	Peso específico a 20°C en gr/cm ³	1.3	1.33
	Carga de rotura en Kg/cm ²	170	150
	Alargamiento a la rotura en %	150	160
	Coefficiente de dilatación por °C	7 X 10 ⁻⁵	20 X 10 ⁻⁵
	Temperatura máxima de trabajo continuo °C	80	80
	Temperatura de fragilidad °C	- 20	- 20
	Resistencia a la llama	Se autoextingue	Se autoextingue
ELECTRICAS	Resistividad a 20°C en ohmios/cm ² /cm	10 ¹⁵	5 X 10 ¹⁴
	Rigidez dieléctrica a 20°C en KV/mm.	40	35
	Constante dieléctrica a 50 Hz., y -- 20°C	5	5
	Constante dieléctrica a 50 Hz., y -- 80°C	7	7
	Factor de pérdidas (tg δ) a 50 Hz., y 20°C	9 X 10 ⁻²	9 X 10 ⁻²
	Factor de pérdidas (tg δ) a 50 Hz., y 80°C	4 X 10 ⁻²	4 X 10 ⁻²
QUIMICAS	Resistencia al ozono y oxígeno	Excelente	Excelente
	Resistencia a la humedad	Buena	Buena
	Resistencia a aceites y grasas minerales	Excelente	Excelente
	Resistencia a soluciones ácidas diluidas	Muy buena	Muy buena

Tabla 1.14 Características técnicas de las mezclas de policloruro de vinilo empleados en cables subterráneos.

g) Hule Etileno Propileno. (EPR).

El etileno propileno (EPR) comúnmente conocido como hule etileno propileno, es logrado del etileno y su vecino el propileno, el cual es un hule que se vulcaniza igual que el polietileno de cadena cruzada - por medio de un peróxido.

El etileno se obtiene generalmente ya sea por descomposición térmica del propano ó del etano extraído de los gases de destilación del petróleo ó por descomposición térmica de esencia pesada de petróleo, obteniéndose simultáneamente etileno y homólogos superiores.

El propileno extraído del gas natural ó del gas "cracking" - del petróleo.

Su temperatura máxima de empleo es de 150°C, en lugar de --- 120°C para el polietileno a baja presión, y su resistencia a la rotura alcanza los 60 Kg/mm².

El etileno propileno ha tenido últimamente un amplio uso como aislamiento para conductores. Tiene también una mejor resistencia al efecto de ionización y una mayor flexibilidad; aunque estas propiedades se ven reducidas al mínimo por las condiciones de diseño de los cables - para alta tensión; la resistencia al efecto de ionización por el uso de pantallas, ya que cualquier aislamiento deberá funcionar dentro de los límites de voltaje marcados por la norma en condiciones seguras de operación la flexibilidad del polietileno de cadena cruzada es adecuada para instalaciones normales, exceptuando aquellas en que se requieren cables-móviles de potencia ó cordones flexibles. La combinación ideal sería -- una mezcla de polietileno de cadena cruzada y etileno propileno aprovechando la mayor flexibilidad y resistencia al efecto corona del segundo y los mejores valores de aislamiento que se obtienen con el primero.

Cuando se polimeriza el propileno, este adquiere dureza con una temperatura de fusión alrededor de 170°C. Su dureza lo hace inadecuado para aislamiento de cables, pero cuando el etileno y el propileno son polimerizados juntos obtenemos un material flexible con una combinación de las propiedades deseables de ambos, polietileno y polipropileno.

El material llamado propiamente polietilenopropileno, es conocido como etileno propileno ó EPR.

Todas las características eléctricas, químicas y físicas de los aislamientos basados en polietileno ó etileno propileno, han sido encontrados de tal modo que los espesores de los aislamientos han sido reducidos aproximadamente al 50 % del necesario para los aislamientos de hule.

En el copolímero etileno propileno (EPM), se tiene típicamente un 55 % de etileno y un 45 % de propileno.

En el terpolímero etileno propileno (EPDM) tenemos, 52 % de etileno, 45 % de propileno, 1 - 4 hexadieno, más rellenos, estabilizadores, etc.

Resumiendo podemos decir que el etileno propileno tiene excelente resistencia al efecto corona, al calor y a la acción de los solventes, además posee una gran flexibilidad. Su resistencia a la oxidación, ozono e intemperismo es buena. Sus principales características son la combinación de características dieléctricas excelentes similares a las del polietileno, teniendo un factor de potencia de 1.57, constante dieléctrica de aproximadamente 3.

Como característica más interesante se puede mencionar que es resistente a los aceites y a los disolventes, es inflamable aunque de combustión retardada, pudiendo reducirse su combustibilidad, aplicando -- unas cubiertas apropiadas de policloruro de vinilo.

Permite temperaturas de trabajo comprendidas entre 70 y 85°C manteniendo buena flexibilidad dentro de esta gama. Es particularmente resistente a los efectos provocados por la ionización del aire, pudiendo considerarse notablemente superior al caucho butílico en ese aspecto. Las restantes características eléctricas son parecidas a las del caucho-butílico permitiendo aplicaciones similares a las de este material, pero ampliadas a las destinadas a la alta tensión a causa de su resistencia a los efectos de la ionización.

b) Copolímero Butadieno - Estireno. (SBR).

La buna S (llamada SBR en los Estados Unidos) es un copolímero del butadieno que contiene alrededor de una cuarta parte de estireno.

El butadieno se fabrica principalmente por deshidrogenación-catalítica del butano y de los butenos normales. Se obtiene también por "cracking" térmico de hidrocarburos superiores al butano y a partir del alcohol etílico, las bunas están lejos de reunir las condiciones del caucho natural, pero se obtienen mejores resultados por copolimerización del butadieno con el estireno.

La temperatura a la que puede operar el estireno butadieno es de 75°C en ambiente seco o húmedo. Sin embargo su resistencia eléctrica es reducida, la que limita su empleo a bajas tensiones, hasta de 2 KV.

Factor de potencia 0.01 - 0.04

Constante dieléctrica 3 - 5

La principal característica de este material es su flexibilidad, lo que permite obtener conductores de extraordinaria flexibilidad.

(tabla 1.15).

FISICAS	Peso específico a 20°C en gr/cm ³	1.4
	Carga de rotura en Kg/cm ²	70
	Alargamiento a la rotura en %	380
	Temperatura máxima de trabajo continuo °C	60
	Temperatura de fragilidad °C	- 35
	Resistencia a la llama	Mala
ELECTRICAS	Resistividad a 20°C en ohmios cm ² /cm	10 ¹⁴
	Rigidez dieléctrica a 20°C en KV/mm.	25
	Constante dieléctrica a 50 Hz.	3.5
	Factor de pérdidas (tg δ) a 50 Hz., y 20°C	0.02
QUIMICAS	Resistencia al ozono	Mediana
	Resistencia a la humedad	Buena
	Resistencia a aceites y grasas minerales	Mala

Tabla 1.15 Características técnicas del Butadieno Estireno en cables subterráneos.

i) Policloropreno. (Neopreno).

El cloropreno se obtiene a partir del acetileno.

El cloropreno es polimerizado en emulsión bajo la acción del calor ó de los rayos ultravioleta, después de aplicarle los aditivos deseados.

El policloropreno (llamado también neopreno en los Estados Unidos) es sometido a una vulcanización con óxido de zinc ó de magnesio.

Los policloroprenos son incombustibles; presentan una gran resistencia a la acción de los aceites minerales, a los agentes exteriores y a la luz solar, lo que explica sus aplicaciones como aislamiento y

en mayor proporción se utiliza como cubierta protectora de los cables --
eléctricos. (tabla 1.16)

FISICAS	Peso específico a 20°C en gr/cm ³	1.5
	Carga de rotura en Kg/cm ²	70
	Alargamiento a la rotura en %	500
	Temperatura máxima de trabajo continuo °C	80
	Temperatura de fragilidad °C	- 25
	Resistencia a la llama	Buena
ELECTRICAS	Resistividad a 20°C en ohmios cm ² /cm	10 ¹²
	Rigidez dieléctrica a 20°C en KV/mm	25
	Constante dieléctrica a 50 Hz.	8
	Factor de pérdidas (tg δ) a 50 Hz., y 20°C	0.04
QUIMICAS	Resistencia al ozono	Buena
	Resistencia a la humedad	Mediana
	Resistencia a aceite y grasas minerales	Buena

Tabla 1.16 Características técnicas del Policloropreno 6 Neopreno
empleado en cables subterráneos.

Grado de Aislamiento	Temperatura Máxima °C	Clasificación de Voltaje fase a fase		Locali- dades.
		100 % de ni- vel de ais- lamiento.	133 % de ni- vel de ais- lamiento.	
Hule Sintético 60°C	60	2000	2000	Seco
Hule Sintético resis- tente a la humedad -- 60°C	60	2000	2000	Seco & Mojado
Hule Natural 60°C	60	2000	2000	Seco
Hule Sintético 75°C	75	2000	2000	Seco
Hule Sintético Resistente al calor	75	2000	2000	Seco
Resistente a la hume- dad.	60	2000	2000	Mojado
Hule Natural 75°C	75	2000	2000	Seco
Hule Sintético resis- tente al calor y a la humedad	75	2000	2000	Seco & Mojado
Hule Natural & Sinté- tico resistente al -- ozono	75 70	8000 28000	8000 15000	Seco & Mojado Seco & Mojado
Hule Butyl resistente al ozono	85 80	15000 28000	15000 15000	Seco & Mojado Seco & Mojado
Hule Sintético 90°C	90	2000	2000	Seco
Hule Silicone resisten- te al ozono	125	5000	5000	Seco & Mojado
Poliétileno Clorosulfo- nado	90	2000	2000	Seco & Mojado

Tabla 1.17 Clasificación general de aislamientos de Hule.

Propiedad	Poliétileno Vulcanizado (XLP)	Etileno Propileno (EPR)	Hule Butilo
Eléctricas			
Constante dieléctrica	2.5	3.5	3.5
Factor de potencia	0.1	1.0	1.5
Resistividad(ohm-cm)	10.0×10^{15}	1.0×10^{15}	1.0×10^{15}
Esfuerzo dieléctrico CA (por- pasos VPM)	750	350	350
Resistencia al impulso (1 1/2x 40 ms VPM)	1800	900	900
Resistencia a corona (IPCRA U curvatura 6 horas)	150 V/m max	250 v/m max	200 v/m max
Resistencia al tracking	Del mismo orden de estabilidad- como corona.	Del mismo orden de estabilidad- como corona	Del mismo orden de estabilidad- como corona
Estabilidad ciclo de carga 90°C	Excelente	Excelente	Excelente
Estabilidad en carga de emer- gencia 130°C	Excelente	Excelente	Excelente
Térmicas			
Resistividad(°C/Watts/cm ³)	400	500	500
Estabilidad de envejecimiento en aire 7 días a 121°C Reten- ción de Tensión y elongación	90.0+	90.0+	60.0+
Temperatura de fragilidad	-80°C	-55°C	-55°C
Humedad			
Resistencia eléctrica a la hu- medad D450, 14 días factor de estabilidad	0.1	1.0	1.0
Resistencia mecánica a la hu- medad 7 días en 70°C H ₂ O mg/in ²	1.0	5.0	10.0
Estabilidad de voltaje CD en H ₂ O	Excelente	Excelente	Excelente
Químicas			
Resistencia al ozono(0.03% con- centración)	Excelente	Excelente	Excelente
Resistencia al aceite	Moderado	Pobre	Pobre
Resistencia a los alcalis	Excelente	Bueno	Pobre
Resistencia acidos	Excelente	Bueno	Bueno
Físicas			
Tensión lb/in ²	2200	750	800
Elongación %	500	350	400
Resistencia al goteo	Excelente	Regular	Pobre
Instalación			
Empalme Terminal	Convencional Con o sin mufas	Convencional Con o sin mufas	Convencional Con o sin mufas
Temperatura de operación			
Continua	90°C	90°C	85°C
Emergencia	130°C	130°C	105°C
Circuito corto	250°C	250°C	200°C

Tabla 1.18 Tabla comparativa de aislamientos (valores típicos).

1.3.7 Resistencia de Aislamiento en un cable.

Consideremos un cable monofásico (Ver figura 1.12), cuyo conductor tiene radio r y diámetro de pantalla D . La resistencia de aislamiento de un tubo de radio x , espesor diferencial dx y longitud l , está dada por la siguiente ecuación:

$$dR = \rho \frac{dx}{A}$$

Donde:

ρ = Resistividad.

A = Area transversal.

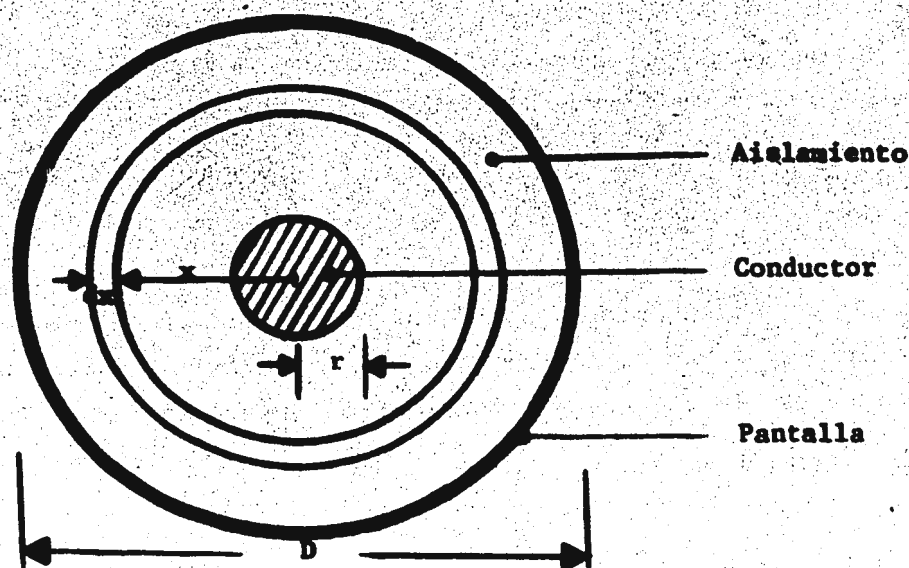


Fig. 1.12 Vista transversal de un cable monofásico para determinar la resistencia de aislamiento.

con $A=2\pi lx$

$$dR = \rho \frac{dx}{2\pi lx} \quad \text{integrando}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \int_r^{2D} \frac{dx}{x} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left[\frac{D}{2r} \right] \Omega/m$$

(Ecuación 1.9)

El valor de ρ_0 para el papel impregnado es cerca de 5×10^{14} ohms, y decrece exponencialmente con la temperatura a razón de:

$$\rho_t = \rho_0 e^{-\alpha t}$$

Donde:

$$\alpha = 0.05$$

Así la Ecuación 1.9 nos da la resistencia de aislamiento de un cable para cualquier temperatura si sustituimos ρ_t en la misma.

1.4 Pantalla.

La razón de las pantallas en los cables de potencia tanto sobre el conductor como sobre el aislamiento, es la de proporcionar una distribución uniforme de esfuerzos eléctricos en el aislamiento.

La figura 1.13 nos muestra como están situadas las pantallas tanto de conductor como de aislamiento.

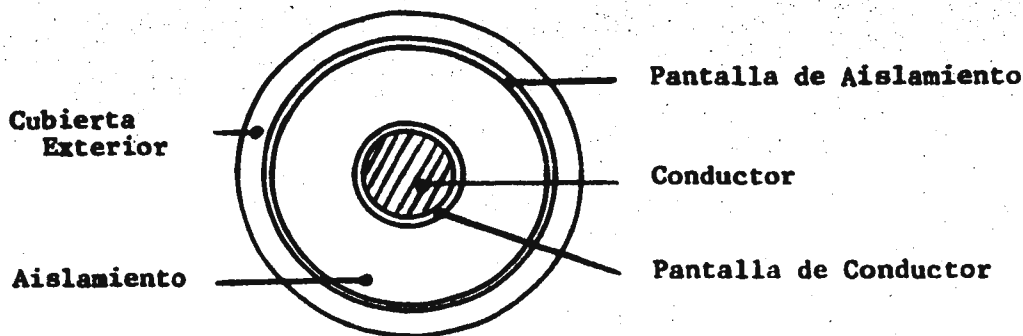


Fig. 1.13 Pantallas en un cable.

En un conductor energizado, el campo eléctrico tiene dos componentes; uno radial ocasionado por la diferencia de potencial aplicado en el conductor y otro longitudinal, debido al gradiente de potencial requerido para mantener la corriente eléctrica circulando a través del conductor (Ver figura 1.14).

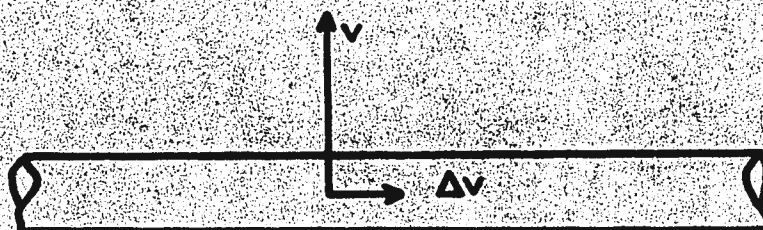


Fig. 1.14 Representación gráfica de los vectores componentes del campo eléctrico radial longitudinal.

Conforme el voltaje aplicado al conductor se va haciendo mayor, la diferencia entre las dos componentes anteriores (radial y longitudinal) se va haciendo mayor, esto es, la componente radial se va haciendo mayor que la componente longitudinal, aproximadamente 10 veces.

Para fines de estudio de la distribución del campo eléctrico alrededor del conductor, podemos despreciar el gradiente de potencial -- (efecto dinámico) y considerar al conductor como si estuviera energizado sólo con carga estática.

Teniendo en cuenta, que cuando un conductor con carga electrostática, establece a su alrededor un campo eléctrico cuya dirección es perpendicular al conductor, figura 1.15, el campo eléctrico en un medio dieléctrico se puede representar por líneas de fuerza con tal, que -

la dirección de las líneas de fuerza en cualquier punto, sea igual a la del campo eléctrico, y la magnitud del mismo, queda determinado por el número de líneas que cruzan una unidad de área arbitraria, tomando en cuenta lo anterior, la figura 1.15 muestra el fenómeno.

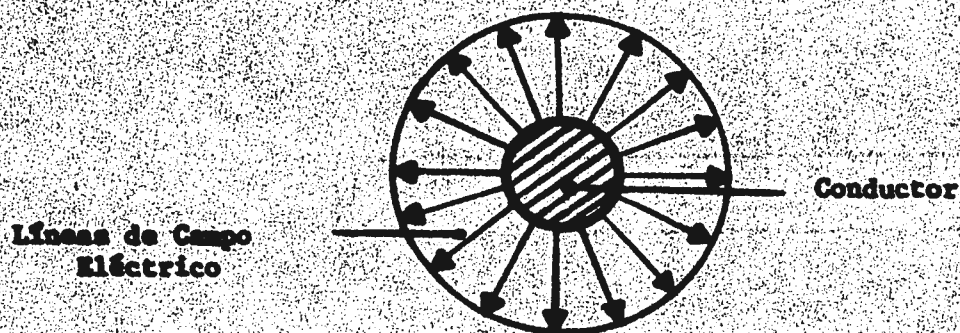


Fig. 1.15 Representación del campo eléctrico en un conductor.

De la figura 1.15 se observa que las líneas de campo eléctrico están más agrupadas en la superficie del conductor que en el resto del espacio, esto indica que si hay un mayor número de líneas de campo eléctrico atravesando un área determinada, el campo eléctrico será mayor en esos puntos de la superficie del conductor, este fenómeno se explicará con mayor detalle cuando se traten los esfuerzos eléctricos en los cables de potencia que están sujetos a una tensión determinada.

En la mayoría de los casos el conductor no está formado por un sólo alambre, sino que está constituido por varios alambres, generalmente en cableado concéntrico, de lo que resulta que su superficie no es

lisa y el perímetro de la sección transversal no es una circunferencia.

Por tanto la distribución de campo se modifica tal como lo muestra la figura 1.16.

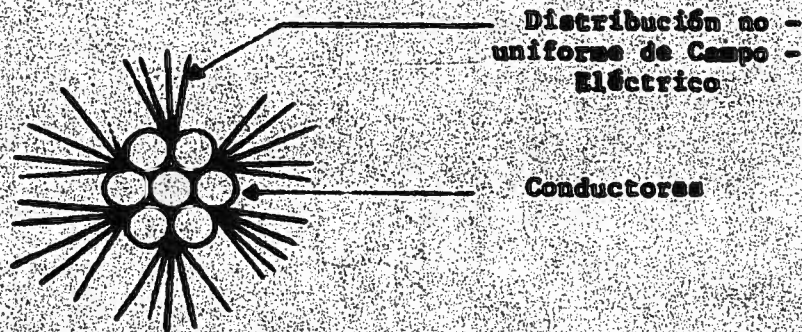


Fig. 1.16 Distribución de campo eléctrico en un cable concéntrico.

En la figura 1.16 se observa que el campo eléctrico se concentra en unos puntos con mayor intensidad, esto es, existen puntos en el aislamiento, donde se presenta concentración de esfuerzos eléctricos.

Como posteriormente veremos, estos esfuerzos eléctricos pueden alcanzar valores superiores a la rigidez dieléctrica del material aislante, pudiendo ocasionar falla en el aislamiento.

Como los conductores no están bien compactados puede haber espacio entre dos conductores contiguos y la capa inferior del aislamiento quedando burbujas de aire atrapadas entre la superficie interior del aislamiento, estas burbujas de aire están sometidas a campos eléctricos

intensos porque como posteriormente veremos la intensidad de campo eléctrico es máxima en la superficie de los conductores.

La figura 1.17 muestra como se puede encontrar atrapada una burbuja de aire dentro de un cable de potencia.

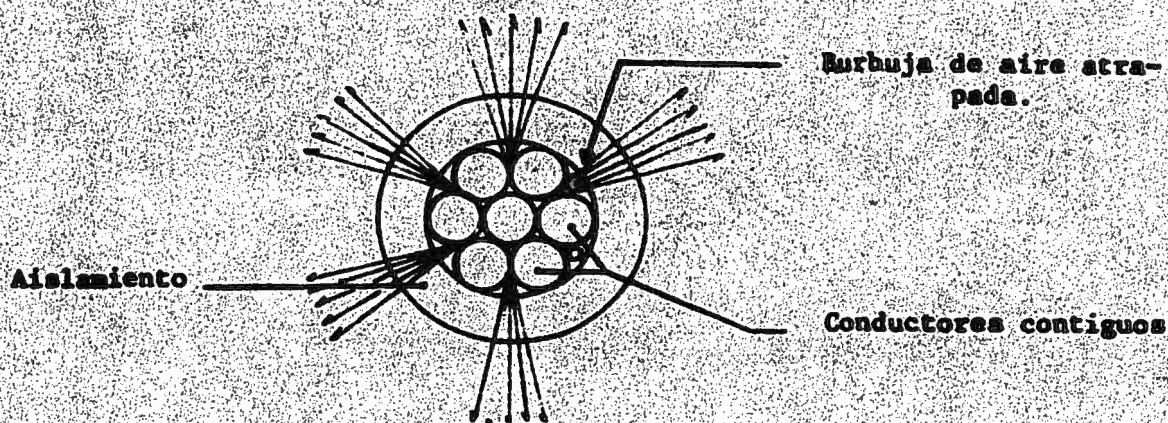


Fig. 1.17 Burbuja de aire atrapada en un conductor.

Por tanto cabe esperar, que la intensidad de campo eléctrico en esos puntos sea superior al valor de ruptura dieléctrica del aire con lo que provocan descargas parciales y como consecuencia una degradación del material aislante (carbonización) con una falla del aislamiento del cable.

Para evitar la concentración de esfuerzos de voltaje y efectos de descargas parciales en el aislamiento del cable, se debe poner al cable una superficie lisa, lo cual se logra colocando una pantalla de material semiconductor sobre el conductor metálico, tal como lo muestra-

la figura 1.18.

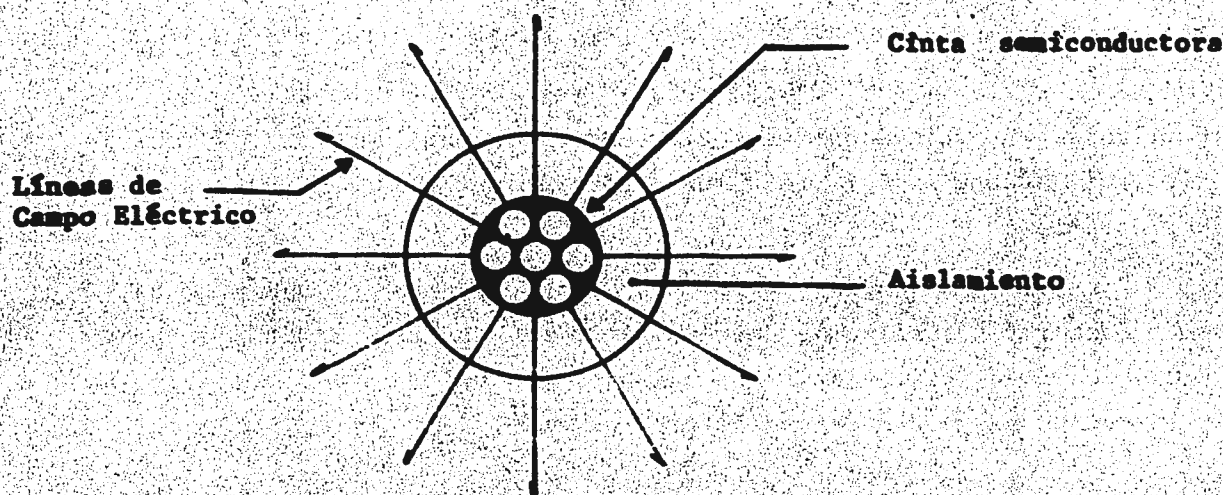


Fig. 1.18 Efecto de la pantalla de conductor en la distribución del campo eléctrico.

Como se ve en la figura 1.18 la superficie lisa hace que el campo eléctrico se distribuya uniforme y simétricamente a través del aislamiento, evitando así concentraciones de esfuerzos de voltaje que pudieran romper la rigidez dieléctrica del aislamiento.

Por otra parte, ya que el campo eléctrico se inicia en la cinta semiconductora, todas las burbujas entre la superficie del conductor y cinta semiconductora quedan fuera de la acción del campo eléctrico por lo que el riesgo de ionización queda descartado y con ello se elimina el peligro de posible degradación del aislamiento.

Una de las principales funciones del aislamiento, es absor--

ver dentro de su masa, todas las líneas de campo eléctrico debidas a la diferencia de potencial a que se encuentra sometido el conductor.

Ahora bien una línea de fuerza representante del campo eléctrico se debe iniciar en un conductor y terminar en otro.

En la figura 1.19 se muestra como se distribuye el campo eléctrico de un cable desprovisto de pantalla de aislamiento ó electrostática (a la pantalla del aislamiento también se le conoce como pantalla electrostática).

Se nota que el campo esta distribuido en forma simétrica, además conforme nos alejamos del conductor en dirección radial la intensidad de campo eléctrico se va reduciendo, es decir, la concentración de líneas de fuerza por unidad de área es menor.

Sin embargo, las líneas de fuerza no encuentran algún cuerpo metálico donde terminar, por lo que el campo eléctrico no queda confinado sólo en el aislamiento, sino que también queda fuera del aislamiento, en estas condiciones se somete la cubierta exterior del cable a gradientes de potencial elevados pudiendo deteriorarla por efectos de descargas parciales, ya que, los fines para el cual esta diseñada no son para efectos eléctricos.

Además si el medio ambiente que rodea al cable es aire, éste también se somete a gradientes de voltaje, cuyos valores pueden ser lo suficientemente grandes para que produzca la ionización del aire.

En ciertas condiciones ambientales, humedad y polvo depositado sobre la superficie del cable pueden crear trayectorias de baja resistencia eléctrica, que con el gradiente de potencial aplicado hará corrientes superficiales.

El producto de la resistencia superficial por la corriente que circula sobre la superficie del cable va a producir pérdidas eléctricas causadas por el efecto Joule, que elevan la temperatura del cable pudiéndose carbonizar dicha superficie.

En estas condiciones la resistencia superficial se reduce aumentando con ello la corriente hasta ocurrir la falla total del aislamiento.

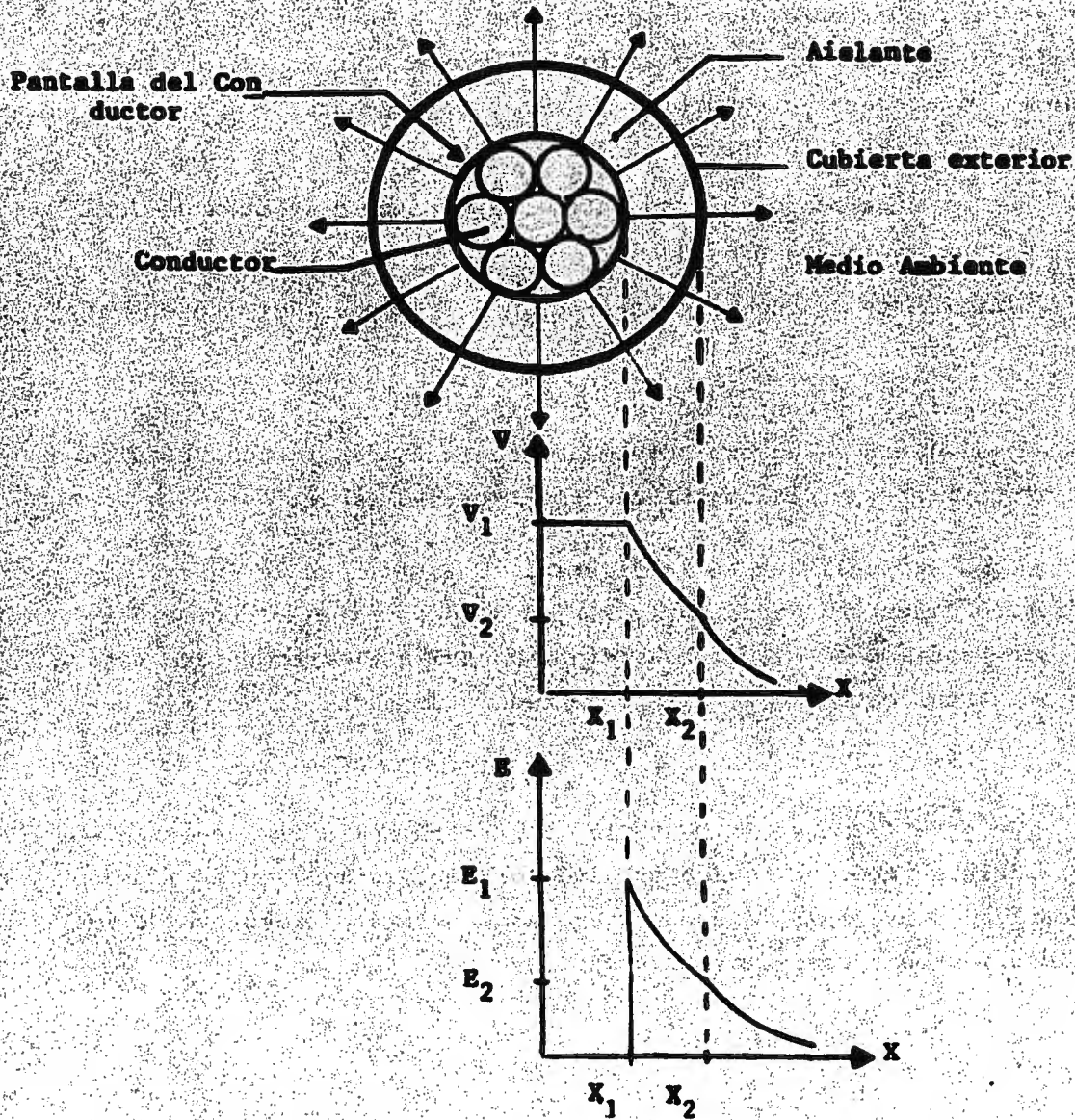


Fig. 1.19 Distribución de Potencial y Campo eléctrico de un cable eléctrico desprovisto de pantalla electrostática.

Para evitar todos los problemas anteriores, se coloca una -- pantalla metálica sobre el aislamiento (Ver figura 1.20).

En estas condiciones, todo el voltaje queda confinado exclu-- sivamente en el aislamiento, los elementos que se encuentran más allá -- del aislamiento quedan fuera de la acción del campo eléctrico, por lo -- que no quedan sometidos a ningún tipo de esfuerzos eléctricos. Entre -- ellos se incluye al aire que rodea al cable.

Se elimina la posibilidad de que se presenten efectos de ioni-- zación en la superficie del cable.

También se ve que la distribución del campo eléctrico es uni-- forme, radial y simétrica.

No existe concentración de esfuerzos eléctricos ni gradien-- tes de potencial que no sean exclusivamente radiales con lo que se evita que circule corriente por la superficie exterior del cable.

Como se puede ver en la figura 1.20 las líneas de fuerza de-- campo eléctrico salen del conductor y llegan a la pantalla electrostáti-- ca, pero este fenómeno sólo sucede si dicha pantalla electrostática está conectada a tierra, esto es, si está conectada a un punto de voltaje de-- referencia cero.

De otra forma si la pantalla electrostática no se aterriza - deberá considerarse como un conductor vivo por tener una distribución de carga eléctrica en su superficie exterior, además de otro fenómeno de in-- ducción eléctrica como posteriormente veremos.

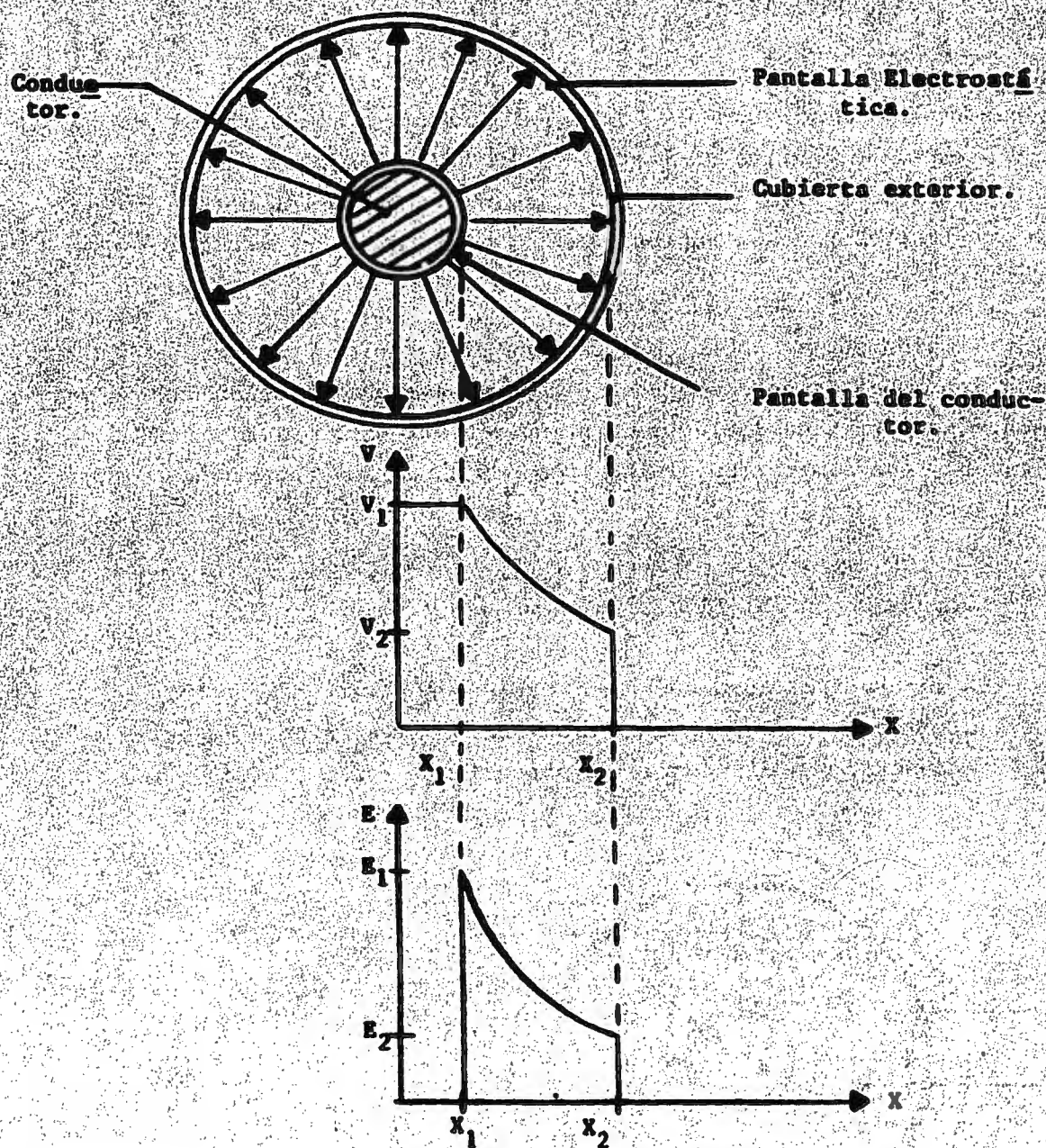


Fig. 1.20 Efecto de la pantalla electrostática en un cable.

1.4.1 Esfuerzo Eléctrico.

La intensidad de campo eléctrico E en un dieléctrico no puede ser incrementada indefinidamente, dado que para un cierto valor de campo eléctrico excedido ocurre una ruptura en dicho aislamiento. La máxima intensidad de campo eléctrico al cual puede estar sometido un dieléctrico sin que se produzca una ruptura en él, se le denomina esfuerzo eléctrico.

También se la conoce como rigidez dieléctrica o resistencia dieléctrica, en ambos casos el concepto es equivalente a lo mencionado anteriormente, así rigidez dieléctrica significa: El valor de campo eléctrico al que hay que someter un dieléctrico hasta que se produzca una perforación.

1.4.2 Campo y Potencial Eléctrico en un cable Monopolar.

La figura 1.21 nos muestra un cable monopolar, su pantalla se encuentra aterrizada y el conductor transporta una corriente I , existiendo de esta manera, una diferencia de potencial V entre conductor y pantalla.

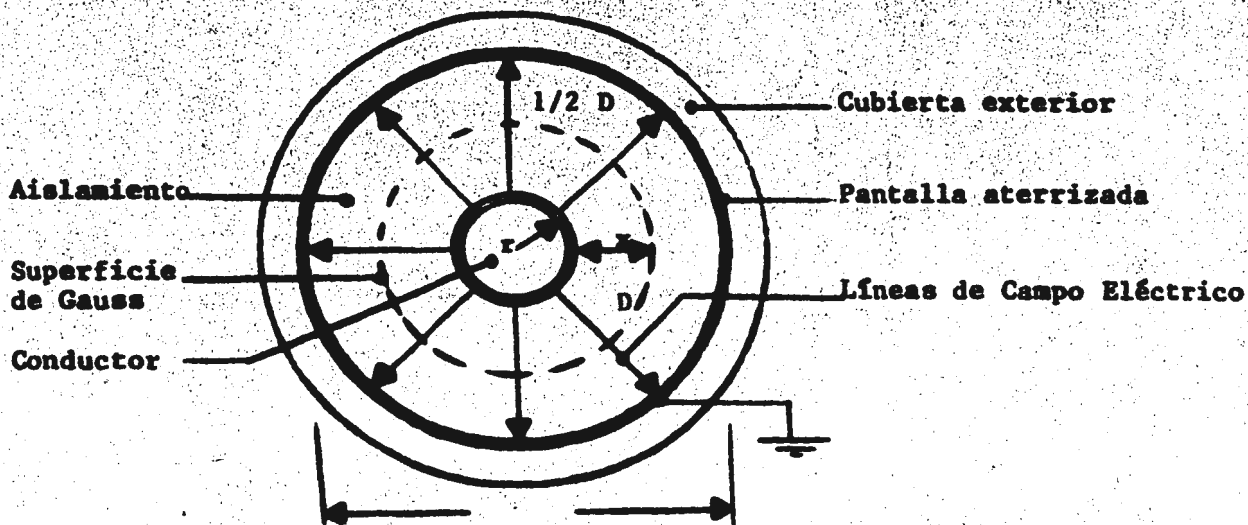


Fig. 1,21 Cable Monopolar.

Donde:

r = Radio del conductor.

$1/2D$ = Distancia del centro del conductor.

x = Distancia de un punto cualquiera comprendido en el intervalo $r < x < 1/2D$

Aplicando la Ley de Gauss en la región comprendida $r < x < 1/2D$ tenemos:

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q \quad (\text{Ecuación 1.10})$$

$$\epsilon_0 E (2\pi x)l = q$$

$$E = \frac{q}{2\pi \epsilon_0 x l} \left(\frac{\text{Volts}}{\text{metros}} \right) \quad (\text{Ecuación 1.11})$$

La expresión anterior nos proporciona el campo eléctrico en cualquier punto comprendido en el intervalo $r < x < 1/2D$.

El potencial eléctrico entre conductor y pantalla la podemos obtener partiendo del concepto de Gradiente de Potencial.

$$\vec{E} = -\nabla V = -\left(\frac{\partial V}{\partial X} \vec{i} + \frac{\partial V}{\partial Y} \vec{j} + \frac{\partial V}{\partial Z} \vec{k} \right) \quad (\text{Ecuación 1.12})$$

Como únicamente consideramos la componente radial de campo eléctrico, la ecuación de gradiente de potencial se reduce a:

$$\vec{E} = -\frac{\partial V}{\partial X} \vec{i} \quad (\text{Ecuación 1.13})$$

Teniendo en cuenta que:

$$V_{ab} = - \int_a^b dV = V_b - V_a$$

(Ecuación 1.14)

y dado que $V_b = 0$, ya que es un punto de la pantalla, además de que $V_a = V$ es un punto del conductor.

$$V_{ab} = -V = - \int_{x_1}^{x_2} E \, dx = - \int_r^{\frac{1}{2}D} \left(\frac{q}{2\pi\epsilon_0 x l} \right) dx$$

$$V = \left(\frac{q}{2\pi\epsilon_0 l} \right) \int_r^{\frac{1}{2}D} \frac{dx}{x} = \left(\frac{q}{2\pi\epsilon_0 l} \right) \ln \left(\frac{D}{2r} \right)$$

Pero como:

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 x l}$$

(Ecuación 1.15)

V en función de E:

$$V = E x \cdot \ln \left(\frac{D}{2r} \right) \quad \text{(Ecuación 1.16)}$$

Por tanto:

$$E = \frac{V}{x \ln \left[\frac{D}{2r} \right]} \quad \left[\frac{\text{Volts}}{\text{Metro}} \right]$$

(Ecuación 1.17)

De la expresión 1.17 podemos deducir en forma inmediata las siguientes observaciones:

- 1- El potencial eléctrico es máximo para $x = r$, lo que significa que el esfuerzo eléctrico es máximo en la superficie del conductor.
- 2- El esfuerzo eléctrico es mínimo para $x = 1/2D$, es decir, en los puntos sobre la superficie interna de la pantalla de aislamiento.
- 3- No existen esfuerzos en los puntos situados en $x = 1/2D$, dado que no hay campo eléctrico para esos puntos, según la Ley de Gauss.

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

Para la primera observación propuesta, la cuestión importante que hay que tener en cuenta es que para valores dados de potencial V y diámetro de pantalla de aislamiento D , el esfuerzo máximo E_{\max} , está dado por la siguiente expresión:

$$E_{\max} = \frac{V}{r \ln \left(\frac{D}{2r} \right)} = \frac{2V}{d \ln \left(\frac{D}{d} \right)} \quad (\text{Ecuación 1.18})$$

Donde:

d = Diámetro del conductor.

Ahora E_{\max} tiene un valor mínimo para la variación de d , es decir, cuando la derivada parcial de E_{\max} , con respecto a d es cero:

$$\frac{\partial E_{\max}}{\partial d} = 0 \quad (\text{Ecuación 1.19})$$

Para:

$$\frac{\partial E_{\max}}{\partial d} = \frac{2E}{[d \ln D/d]^2} \cdot \frac{\partial [d \ln D/d]}{\partial d}$$

$$\frac{\partial E_{\max}}{\partial d} = \frac{2E}{[d \ln D/d]^2} \left[\ln D/d + \frac{d}{D/d} \left(-\frac{D}{D^2} \right) \right]$$

$$\frac{\partial E_{\max}}{\partial d} = \frac{-2E}{[d \ln D/d]^2} \left[\ln D/d - 1 \right] \quad (\text{Ecuación 1.20})$$

esto ocurre cuando $\ln (D/d) = 1$ y se cumple para $D/d = 2.718$

En la práctica, para el diseño de cables, esta relación no es muy usual, por la siguiente razón:

La relación $D = 2.718 d$ aparentemente nos puede conducir a un ahorro de material, tanto de conductor como de aislante para un determinado diseño, pero observemos la relación $D = 2.718 d$.

Si d varía de $D/2$ a $D/4$, el esfuerzo máximo E_{\max} , tan sólo tiene una variación del 6 % esto implica no ser muy significativa dicha relación; un método más efectivo, tanto para uniformizar los esfuerzos eléctricos como para ahorrar material en el diseño de un cable, es la introducción de pantallas intermedias como lo muestra el cable de la figura 1.22.

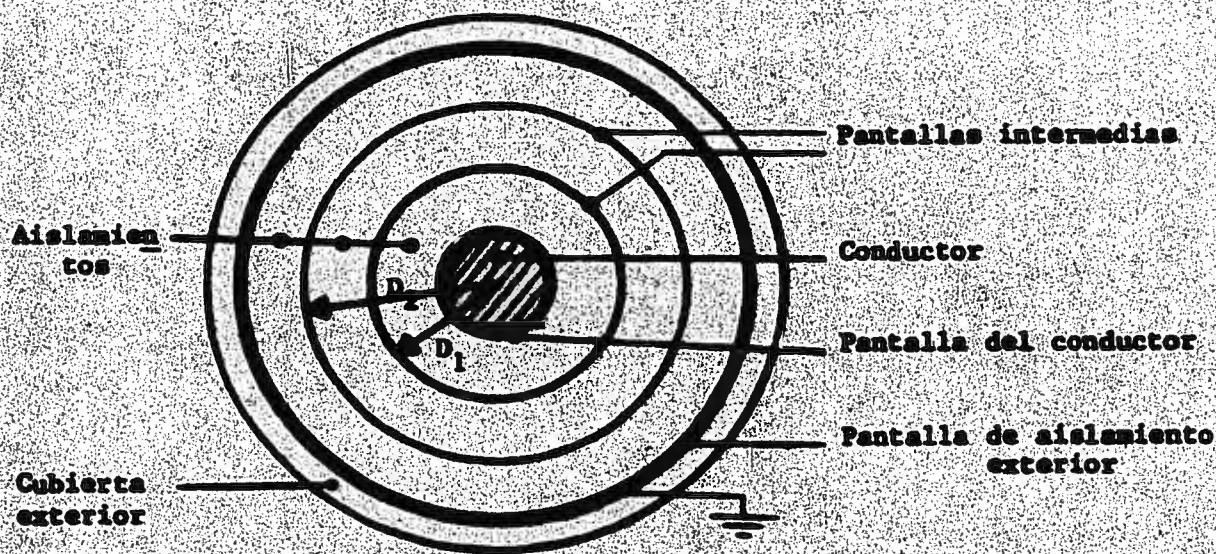


Fig. 1.22

Supongase que las pantallas intermedias cuyos diámetros son D_1 y D_2 se encuentran sujetas a los potenciales V_1 y V_2 respectivamente, el esfuerzo entre las pantallas varía inversamente proporcional a su distancia según el teorema de Gauss.

La figura 1.23 nos muestra de una manera más detallada el fenómeno eléctrico que ocurre en el interior del cable.

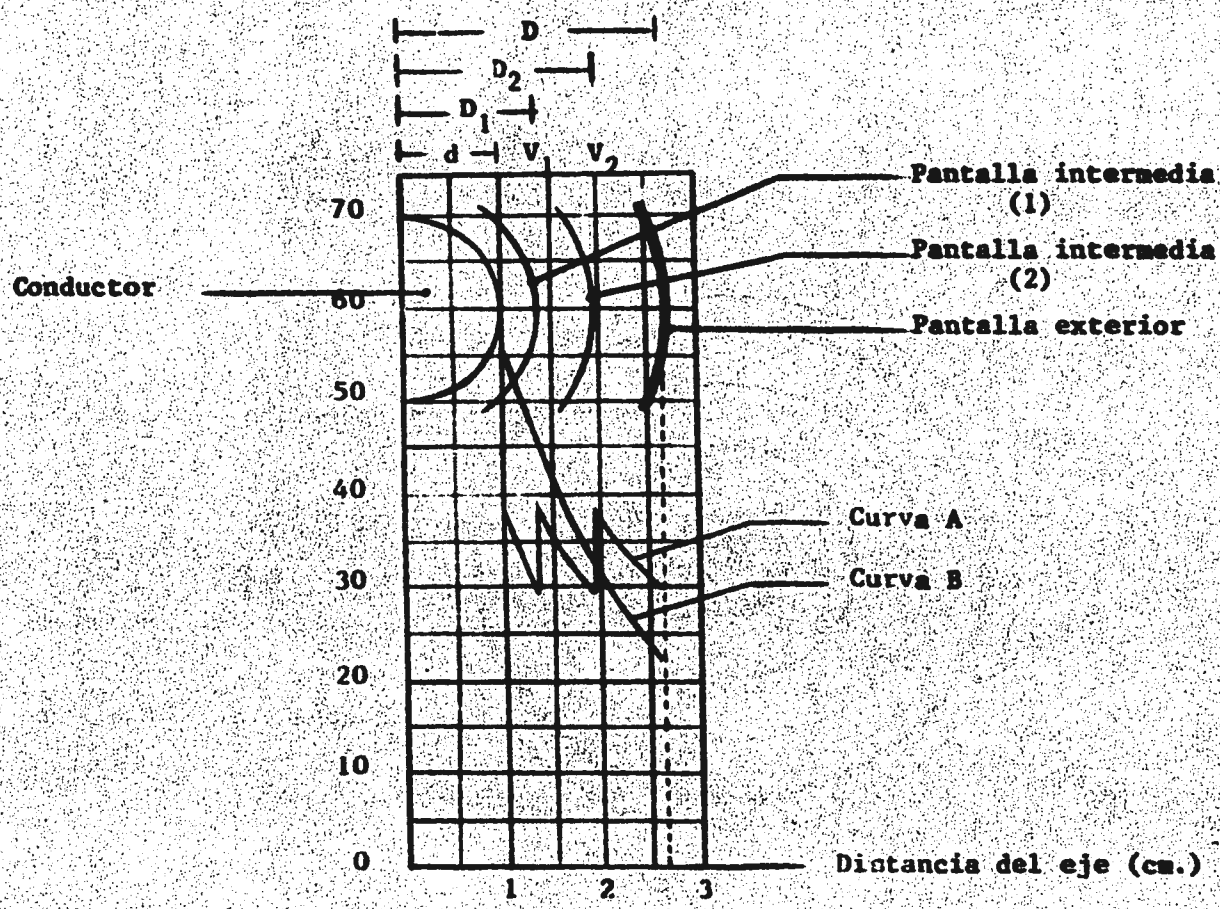


Fig. 1.23

De la ecuación de Gradiente de Potencial:

$$\bar{E} = -\frac{\partial V}{\partial x} \hat{i}$$

$$V = \int_{x_1}^{x_2} E_1 dx$$

(Ecuación 1.21)

Para el espacio comprendido entre conductor y la primera pantalla intermedia, tenemos una diferencia de potencial $V - V_1$

$$V - V_1 = \int_d^{D_1} E_1 dx =$$

$$\int_d^{D_1} \left(\frac{q_1}{2\pi\epsilon_0 x} \right) dx =$$

$$= \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left[\frac{D_1}{d} \right] \quad (\text{Ecuación 1.22})$$

$$V - V_1 = x E_1 \ln(D_1/d) \quad \text{Para: } d < x < D_1$$

Así:

$$E_1 = \frac{V - V_1}{x \ln(D_1/d)}$$

(Ecuación 1.23)

Como se vió anteriormente: $E_1 = E_{\max}$

si: $x = d$

$$E_{1 \max} = \frac{V - V_1}{d \ln(D_1/d)}$$

(Ecuación 1.24)

Similarmente el máximo esfuerzo entre la primera y la segunda pantallas intermedias:

$$E_{2 \max} = \frac{V_1 - V_2}{D_1 \ln(D_2/D_1)}$$

(Ecuación 1.25)

Mientras que el máximo de esfuerzo entre la segunda y la tercera pantallas intermedias está dado por:

$$E_3 \text{ max} = \frac{V_2}{D_2 \text{ Ln}(D/D_2)}$$

(Ecuación 1.26)

En la figura 1.23 la curva A representa la distribución de esfuerzos con pantallas intermedias, y la curva B representa la distribución de esfuerzos si no existiesen las pantallas intermedias.

Es posible escoger D_1 y D_2 de tal forma que los esfuerzos:

$$E_{1\text{max.}} = E_{2\text{max.}} = E_{3\text{max.}} \text{ haciendo } D_1/d = D_2/D_1 = D/D_2 = \alpha$$

Bajo estas condiciones se tiene:

De; (1.24) y (1.25).

$$\frac{V-V_1}{d \text{ Ln} \alpha} = \frac{V_1-V_2}{D_1 \text{ Ln} \alpha}$$

(Ecuación 1.27)

Donde:

$$\alpha (V-V_1) = V_1-V_2$$

(Ecuación 1.28)

De las ecuaciones (1.25) y (1.26) tenemos:

$$\frac{V_1-V_2}{D_1 \text{ Ln} \alpha} = \frac{V_2}{D_2 \text{ Ln} \alpha}$$

Donde:

$$\alpha(V_1 - V_2) = V_2$$

Donde:

(Ecuación 1.29)

De las ecuaciones (1.28) y (1.29) operando algebraicamente - para poner V_2 y V_1 en función de V y α tenemos:

$$V_2 = \frac{V}{1 + 1/\alpha + 1/\alpha^2}$$

$$V_1 = \frac{V(1+1/\alpha)}{1 + 1/\alpha + 1/\alpha^2}$$

Bajo estas condiciones el esfuerzo máximo está dado por:

$$E_{\max} = \frac{V - V_1}{d \ln \alpha} = \frac{V - \frac{V(1+1/\alpha)}{1 + 1/\alpha + 1/\alpha^2}}{d \ln \alpha}$$

$$E_{\max} = \frac{V}{(1 + \alpha + \alpha^2) d \ln \alpha}$$

Como:

$$\begin{aligned} D_1/d &= \alpha \\ D_2/D_1 &= \alpha \\ D_2/D_2 &= \alpha \end{aligned}$$

Tenemos que:

$$D/d = \alpha^3$$

De esta manera:

$$E_{\max} = \frac{V}{(1+\alpha^2) d \ln (D/d)^{1/3}} = \frac{V}{1/3 (1+\alpha^2) d \ln (D/d)}$$

La ecuación de máximo esfuerzo está dada por:

$$E_{\max} = \frac{V}{1/3(1+\alpha+\alpha^2) d \ln (D/d)}$$

(Ecuación 1.30)

Quitando las pantallas intermedias el máximo esfuerzo estaría dado por:

$$E_{\max} = \frac{V}{d \ln (D/d)}$$

(Ecuación 1.31)

Una observación importante que hay que hacer es la relativa a la ecuación 1.30 que se reduce a un factor $\frac{1}{3}(1+\alpha^3)$ con respecto a la ecuación 1.31, esto significa que el esfuerzo eléctrico en un cable con pantallas intermedias reduce su esfuerzo eléctrico a un factor $\frac{1}{3}(1+\alpha+\alpha^3)$ con respecto a este mismo cable pero sin pantallas desde luego que dependiendo del valor que se tome para α podemos reducir dicho esfuerzo eléctrico de acuerdo a los limitantes que se presenten.*

Notese que la construcción física del cable de la figura --- 1.23, además de presentar dificultades técnicas, resulta costosa, aunando a esta cuestión las dificultades de mantenimiento como lo es el empalme; es por esto que la fabricación de este tipo de cables si no es nula es muy escasa, ya que actualmente se fabrican omitiendo las pantallas, - pero usando varias capas con diferente constante dieléctrica, siendo las de menor magnitud las más alejadas, esto es con el principal objetivo de reducir costos de fabricación, ya que sería un desperdicio poner un material con buenas propiedades dieléctricas en zonas donde no se requiere, - como lo son las partes más alejadas del conductor.

* El factor α siempre debe de ser mayor a 1.

1.4.3 Polarización de la Materia.

En todas las substancias que no son conductoras se presenta un efecto importante, clasificado como un experimento de física del estado sólido y observando lo siguiente:

Cuando se llena completamente con una substancia aislante como mica o vidrio, el espacio entre las placas de un condensador, la capacitancia de éste aumenta en relación a éste mismo condensador, con el espacio entre sus placas vacío.

Este fenómeno descubierto por Faraday en 1834 se puede explicar de la siguiente manera:

Construyendo dos condensadores idénticos, en uno de los cuales se coloca un dieléctrico y en el otro se deja el aire como dieléctrico, cuando ambos condensadores se cargan hasta obtenerse la misma diferencia de potencial, se puede encontrar experimentalmente que la carga del primero es mayor que la del segundo. Inversamente para la misma diferencia de potencial V , la carga q es mayor cuando hay un dieléctrico - diferente al vacío (en este caso consideraremos al aire como al vacío) y de la relación podemos deducir que la capacitancia de un condensador au-

menta si se coloca un dieléctrico diferente al aire entre sus placas.

La relación de la capacitancia con el dieléctrico a la capacitancia sin él, se le conoce como Constante Dieléctrica K del Material. La tabla 1.19 nos muestra las constantes dieléctricas de los materiales más conocidos como aislantes.

Material	Cte. Dieléctrica K	Rigidez Dieléctrica (KV/mm.)
Vacío	1	
Aire	1.00054	0.8
Papel	3.5	14.0
Porcelana	6.5	4.0
Poliétileno	2.3	50.0
Poliestireno	2.6	25.0
● Neopreno	6.9	12.0
Dioxido de Titanio	100.0	6.0

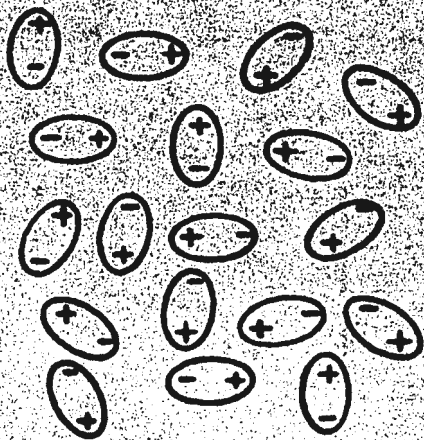
Tabla 1.19 Constantes Dieléctricas de los materiales más conocidos como Aislantes.

El origen del comportamiento anteriormente mencionado, está en la naturaleza eléctrica de la materia, aunque normalmente eléctricamente neutra como conjunto, la materia está constituida por cargas positivas y negativas igual número.

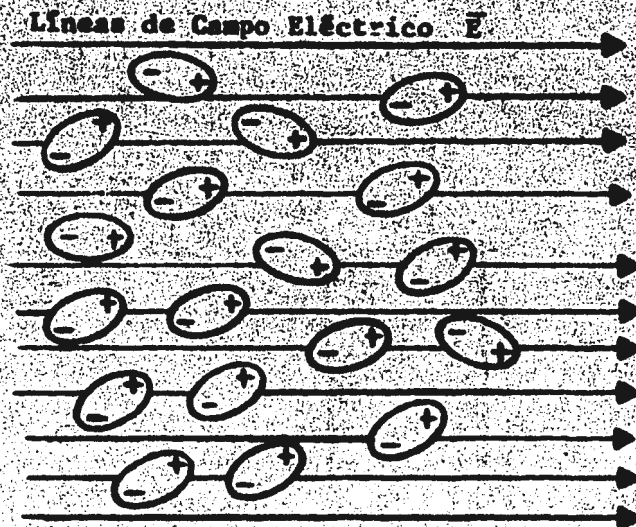
En las substancias dieléctricas estas cargas no son libres de moverse bajo la influencia de un campo eléctrico de origen externo como lo son los electrones de conducción de un metal. Sin embargo, las fuerzas que produce un campo externo, determinan pequeños desplazamientos relativos (en escala atómica) de las cargas de signo opuesto.

La extensión de estos desplazamientos depende de la mayor o menor rigidez con que las cargas están unidas. Este desplazamiento de cargas resultante debido al campo exterior se llama Polarización de la Substancia.

Las moléculas de algunos dieléctricos como el agua tienen momentos de dipolo eléctrico permanentes (véase "Dipolo en un campo eléctrico" en el apéndice), en materiales de esta clase llamados polares, — los momentos de dipolo eléctrico P tienden a alinearse bajo la acción de un campo eléctrico externo como lo muestra la figura 1.24. Debido a que las moléculas están en constante agitación térmica, el grado de alineamiento no será completo y aumentará al aumentar el campo eléctrico.



Moléculas con un momento de dipolo permanente, en ausencia de campo eléctrico.



Al aplicar el campo eléctrico se produce un alineamiento de los dipolos. (se polariza).

Fig. 1.24

ya sea que las moléculas tengan momentos de dipolo eléctrico permanente o no, los adquieren por inducción cuando se colocan en un campo eléctrico. Esto es, un campo eléctrico externo tiende a separar la carga negativa de la positiva en un átomo o una molécula. Este momento de dipolo eléctrico inducido existe sólo cuando hay un campo eléctrico, y es proporcional al campo eléctrico.

Este fenómeno se puede explicar de la siguiente manera:

La figura 1.25 es un condensador que contiene una carga q y que no está conectado a una batería, ahora coloquemos una pieza de dieléctrico, como la de la figura 1.26, entre las placas del condensador, nótese que el dieléctrico es eléctricamente neutro y que sus cargas se encuentran distribuidas al azar, ahora el efecto conjunto de alineamiento e inducción consiste en separar ligeramente el centro de la carga positiva con respecto al centro de la carga negativa, el dieléctrico en conjunto, aún cuando permanece eléctricamente neutro se polariza como lo muestra la figura 1.27.

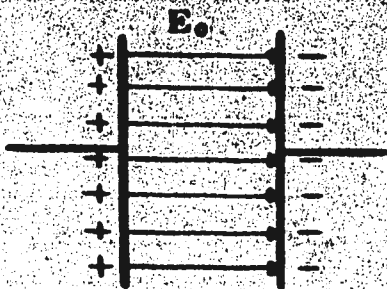


Fig. 1.25

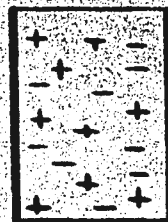


Fig. 1.26

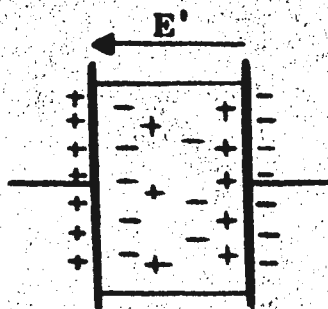


Fig. 1.27

$$\vec{E}_{\text{total}} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$$

El efecto neto que muestra la figura 1.27 es una acumulación de carga positiva en la cara derecha del condensador y de carga negativa en la izquierda.

Nótese que en todo el volumen dado del condensador no aparece ninguna carga en exceso ya que el dieléctrico permanece neutro. La carga superficial inducida positiva debe de ser de igual magnitud que la carga superficial inducida negativa, no hay transferencia de carga a distancia macroscópica, tal como ocurre cuando se hace pasar una corriente en un conductor ya que en este caso los electrones se alejan de sus posiciones de equilibrio en el caso del dieléctrico que estamos analizando, las distancias que se alejan las partículas cargadas son mucho menores que un diámetro atómico.

La figura 1.27 muestra que las cargas superficiales inducidas aparecerán siempre de tal manera que el campo eléctrico E' producido por ellas se opone al campo eléctrico E_0 , por lo tanto el campo eléctrico externo será la suma vectorial de E_0 y E' .

Resumiendo: Si se coloca un dieléctrico en un campo eléctrico aparecerán cargas inducidas cuyo efecto es debilitar el campo original dentro del dieléctrico.

1.4.4 Histéresis Dieléctrica.

En dieléctricos que son buenos aislantes la conducción en CD puede ser despreciable, pero para A. C., se presenta una corriente en fase con el campo eléctrico, que puede ser considerable y es debido al fenómeno de Histéresis Dieléctrica, este fenómeno es análogo al de histéresis magnética en los materiales ferromagnéticos.

Materiales como el vidrio y plásticos sintéticos el cual son buenos aisladores bajo condiciones estáticas pueden consumir una energía considerable debido a la presencia de campos alternos.

Como se explicó anteriormente en el fenómeno de polarización en los materiales dieléctricos, los electrones de los átomos de estos materiales, son ligeramente orientados y "desplazados" cuando están bajo la acción de un campo eléctrico, este produce un dipolo eléctrico y se dice que el átomo está polarizado, cuando el campo eléctrico cesa su acción el átomo vuelve a su estado normal es decir se despolariza, ahora si, el campo vuelve a estar presente, pero en dirección opuesta, dicho átomo se polariza de nuevo y en la misma dirección del campo eléctrico, este fenómeno se puede visualizar en la figura 1.28.

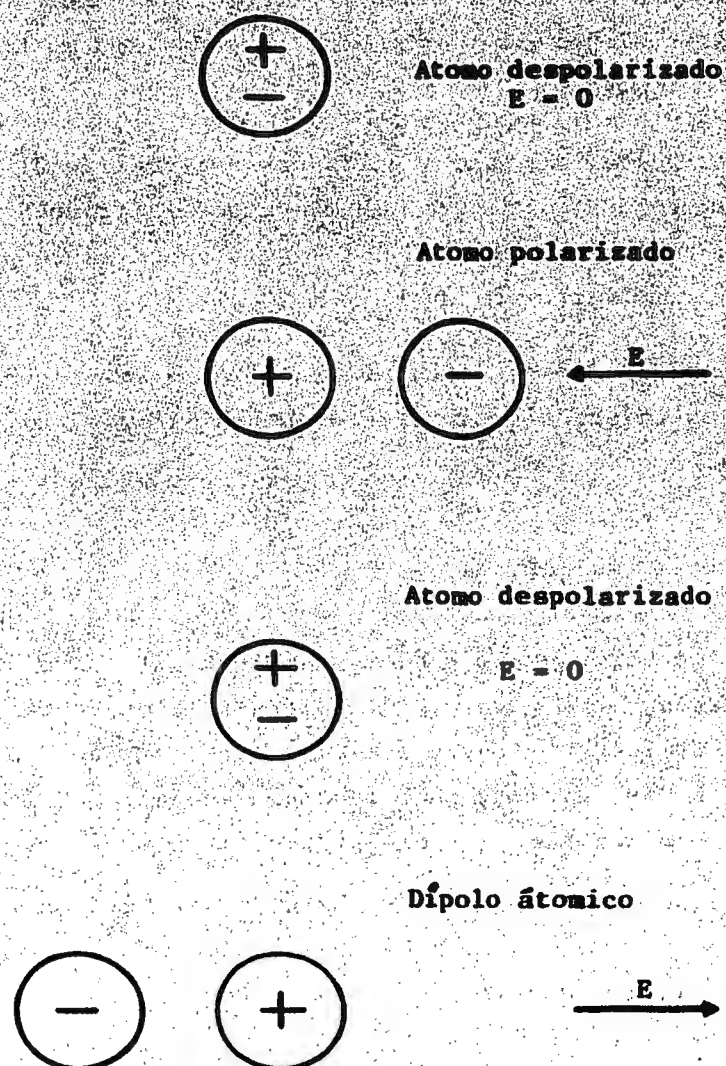


Fig. 1.28

La "fricción" a nivel atómico que tiene el dipolo en el dieléctrico debido al cambio de dirección en un campo eléctrico alterno, es la causa que origina pérdidas por calentamiento en dicho dieléctrico, como se puede observar dependiendo de la frecuencia que se esté empleando, es la que nos indica si estas pérdidas se originan con mayor ó menor grado.

La tabla 1.20 nos muestra como se reduce la rigidez dieléctrica para los materiales indicados, cuando se emplea una fuente de A.C. en los extremos del dieléctrico sujeto a la prueba.

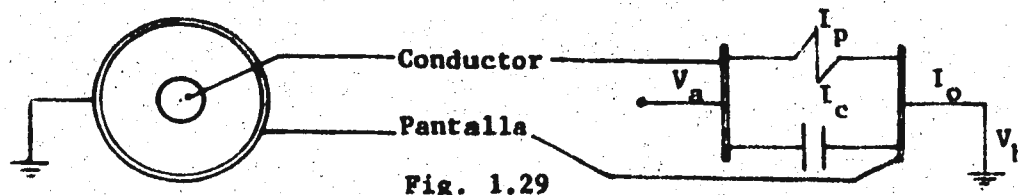
Material	Rigidez Dieléctrica D. C.	Rigidez Dieléctrica A. C.
Papel impregnado	73 KV/mm.	22 KV/mm.
Poliétileno	60 KV/mm.	20 KV/mm.
Cloruro de Polivinil	47 KV/mm.	16 KV/mm.
Butil	43 KV/mm.	14 KV/mm.

Tabla 1.20

1.4.5 Pérdidas Dieléctricas y factor de Potencia en un cable.

Al aplicar una diferencia de potencial V_{ab} entre el conductor de un cable y la pantalla, circulará una corriente I_0 , debido a que no es posible realizar un dieléctrico perfecto, por esta razón todo dieléctrico en cualquier capacitor en operación permite el flujo de una corriente llamada comunmente "corriente de drenado" ó de fuga.

Un modelo equivalente de un cable cuando se comporta como un capacitor es el mostrado en la figura 1.29.



I_0 está constituida por dos componentes:

$$I_p = \frac{V_{ab}}{R} \quad \text{en fase con } V_{ab}$$

$$I_c = \omega C V_{ab} \quad 90^\circ \text{ adelante de } V_{ab}$$

Donde:

R = Resistencia medida en ohms.

C = Capacitancia medida en farads del dieléctrico del cable.

El diagrama fasorial que representa a este fenómeno es el --
mostrado en la figura 1.30.

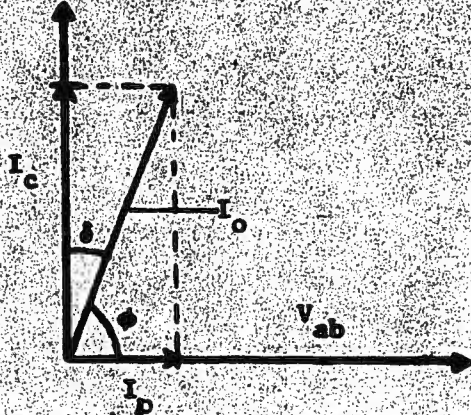


Fig. 1.30 Diagrama fasorial para determinar el factor de potencia y --
las pérdidas dieléctricas de un cable.

El ángulo δ que es el complemento del ángulo de defasamiento entre la corriente I_0 y la tensión aplicada V_{ab} , se le conoce como ángulo de pérdidas dieléctricas y a la $\tan \delta$ se le conoce como factor de disipación eléctrica.

El factor de potencia de un cable está dado por la siguiente relación:

$$F.P. = \frac{\text{Watts}}{V_{ab} I_0} = \frac{V_{ab}^2/R}{V_{ab} I_0} = \frac{V_{ab}/R}{I_0} = \cos. \phi$$

En cables cuya fabricación es de alta calidad, el ángulo es cercano a 90° de tal suerte que $\cos \phi$ y $\cot \phi$ sean muy pequeños y de valores muy cercanos a δ donde δ es $(\frac{\pi}{2} - \phi)$ radianes.

Bajo estas condiciones la siguiente relación es aproximada:

$$\text{F.P.} = \frac{G}{C}; \quad G = \frac{1}{R}$$

El factor de potencia de un cable es una característica del material aislante, su valor no es constante, sino que varía de acuerdo a las condiciones de operación del cable, así su valor aumenta en las siguientes situaciones:

- a) Aumento de temperatura.
- b) Presencia de humedad.
- c) Magnitud del voltaje aplicado.

La figura 1.31 muestra como el factor de potencia F.P. de un aislamiento aumenta con los esfuerzos dieléctricos, esta gráfica corresponde a un cable cuyo aislamiento es de papel impregnado.

Para una tensión mayor de 60 KV., por cm., podemos observar que el F.P., comienza a aumentar.

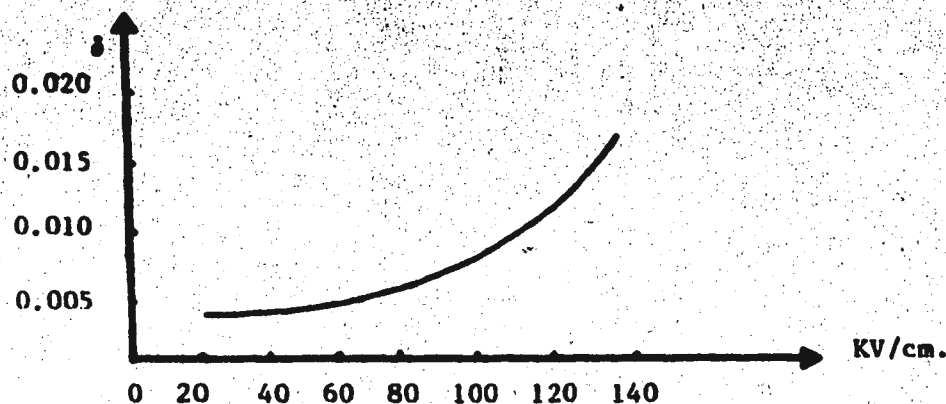


Fig. 1.31 Variación del factor de potencia debido a los esfuerzos dieléctricos.

La variación del factor de potencia debido al aumento de temperatura la podemos observar en la figura 1.32.

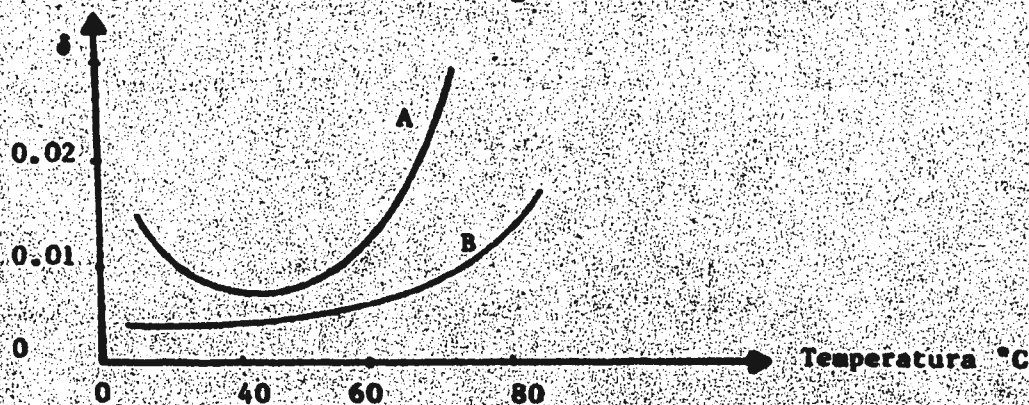


Fig. 1.32

La figura 1.32 corresponde a un cable cuyo dieléctrico también es papel impregnado, pero ahora con un fenómeno de mayor importancia. La curva B corresponde a un cable que su compuesto de papel y aceite es más seco que el de A, siendo ambos idénticos en cuanto a características geométricas de diseño. El cable al cual corresponde la curva B son de uso más generalizado hoy en día, dado que el comportamiento del factor de potencia Vs., temperatura se mantiene constante abajo de 50°C .

Por último la gráfica de la figura 1.33 nos muestra las curvas del factor de potencia en función de la temperatura tomando como parámetro el esfuerzo dieléctrico a que está sujeto.

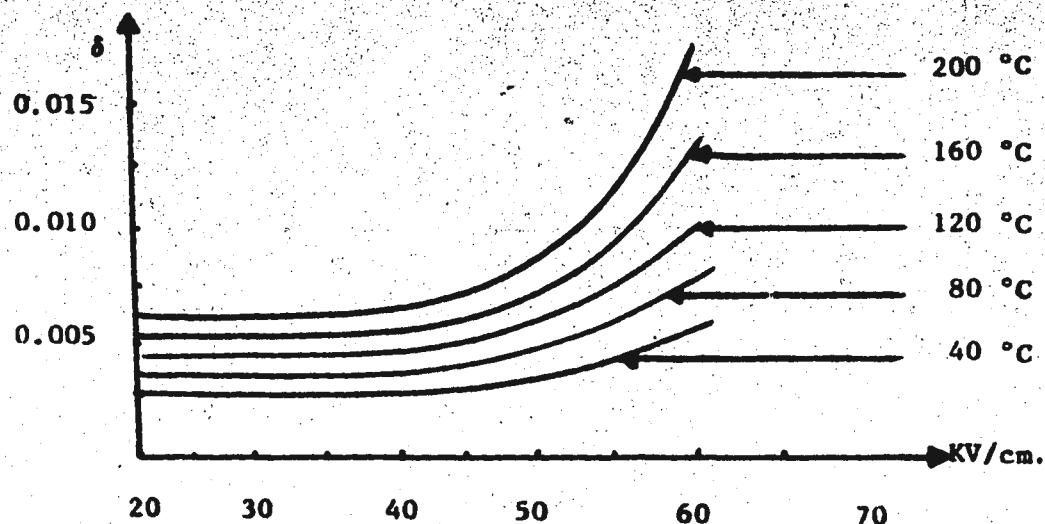


Fig. 1.33

1.4.6 Pérdidas Dieléctricas.

Las pérdidas dieléctricas consumidas por el dieléctrico es--
tan dadas por las relaciones siguientes:

$$P_d = \frac{V_{ab}^2}{R} = V_{ab} I_p = V_{ab} I_c \text{ Tang. } \delta = \omega C V_{ab}^2 \text{ Tang. } \delta$$

Donde:

P_d = Pérdidas en el dieléctrico.

ω = Frecuencia.

V_{ab} = Valor eficaz del voltaje.

C = Capacitancia del cable en cuestión.

$\text{Tan. } \delta$ = Factor de disipación eléctrica.

Las pérdidas dieléctricas P_d se deben a la carencia de homogeneidad del dieléctrico y a los efectos posteriores que resultan de ella (histeresis dieléctrica, pérdidas por conducción a través del dieléctrico, etc.).

Si se mide continuamente $\text{tan. } \delta$ al aumentar poco a poco el voltaje, resulta que al principio crece éste hasta que en el interior -- del aislador la temperatura es tan alta que se destruye el equilibrio -- térmico o, lo que ocurre más generalmente, aparece luminiscencia (ionización) en alguna parte del cable. Se produce entonces una discontinuidad en la curva $\text{tan. } \delta$, figura 1.33.

A partir de ese punto aumentan las pérdidas mucho más rápido. Durante la operación normal es muy importante que el voltaje permanezca por debajo de ese punto de discontinuidad ya mencionado.

Por otra parte P_d es proporcional al cuadrado del voltaje, - debido a esto, la cuestión de las pérdidas en el dieléctrico para el caso de altos voltajes tiene gran importancia, ya que reducen la capacidad de corriente transmitida en el cable, dado el aumento de temperatura que

ocasionan estas, consecuencia del empobrecimiento de la disipación de calor, da por resultado que la temperatura máxima a la que se puede elevar el material con el que se aísla el conductor, sin degradar sus propiedades, se alcanza rápidamente con la menor cantidad de corriente. Es, — pues, importante emplear para aislamientos de cables de potencia, materiales cuya constante dieléctrica y factor de potencia sean de valores reducidos.

1.5 Cubierta Exterior en los cables de potencia.

La cubierta exterior en los cables de potencia tiene por objeto proteger tanto mecánica como químicamente de agentes externos que lo rodean, así también, evitar que absorba humedad cuando éste tenga propiedades higroscópicas, como por ejemplo; el papel impregnado.

La necesidad para una adecuada protección se acentuó en la segunda guerra mundial dado el uso de cables de alta tensión (132, 275 - KV), con la introducción del cable con cubierta exterior de aluminio — (1948).

Inicialmente se usaron cubiertas protectoras de plomo y después de aluminio, por lo que primeramente mencionaremos las propiedades de estos metales, tanto físicas como mecánicas.

1.5.1 Propiedades Físicas y Mecánicas del Plomo.

- 1- Temperatura de fusión: 327°C
- 2- Peso específico: 11.4
- 3- Resistencia a la rotura: 1.3 - 1.8 KG/mm²
- 4- Impermeabilidad absoluta.
- 5- Suficiente flexibilidad.
- 6- Posibilidad de aplicarlo con la prensa a temperaturas bajas (200 a 260°C).
- 7- Resistencia relativa a la acción química de las sustancias que contiene la tierra.

Los defectos fundamentales de este material son:

- 1- Costo alto en comparación con el aluminio.
- 2- Inestabilidad a la corrosión electroquímica.
- 3- Propensión a la acción de los ácidos orgánicos que contiene la tierra.
- 4- Pequeña resistencia a la vibración (sobre todo si la temperatura es elevada, lo que a veces produce la destrucción de las envolventes de plomo de los cables tendidos en los puentes, gruas, etc.).
- 5- Peso específico grande, lo que hace que cerca del 50 % de peso del cable con conductores de cobre lo constituya el peso de la envolvente de plomo.
- 6- Para elevar la resistencia mecánica y la estabilidad de la cubierta exterior de plomo a las vibraciones se permite que este contenga antimonio en cantidad de 0.8 % y cobre hasta 0.08 %.

Poco después se comenzó a emplear aluminio en las cubiertas exteriores de los cables, debido a sus mejores cualidades que el plomo.

1.5.2 Propiedades Físicas y Químicas del Aluminio.

- 1- La solidez de la envolvente de aluminio es superior en varias veces a la del plomo (4.2 veces más ligero que el plomo). Peso específico 2.7.
- 2- Conductividad térmica del aluminio 6 veces superior a la del plomo.
- 3- Resistencia a la fatiga de vibración 25 veces superior a la del plomo.

Los defectos que se le atribuyen a este material son:

- 1- Débil estabilidad a la corrosión.
- 2- Dificultad tecnológica de su aplicación al cable, durante la fabricación debido a la alta temperatura de fusión (657°C).

Las envolventes de aluminio generalmente se protegen de la corrosión, aplicando cloruro de polivinilo (PVC) en forma de cintas ó de "manguera" continua por encima de este.

1.5.3 Armaduras en los cables de Alta Tensión.

Dependiendo de la instalación y condiciones de operación, muchos cables requieran de protección adicional, por ejemplo; cuando se instala un cable verticalmente como en el caso de los cables para tiro de mina, se requiere una elevada resistencia a la tensión mecánica, pues estando colgado dicho cable tiene que resistir su propio peso, bajo estas condiciones se les proporciona una protección adicional por medio de alambres de acero galvanizado ó flejes de acero. Esta armadura, se aplica en forma de espiral a un paso (factor de paso) que está en función del diámetro sobre una "cama" ó cubierta interior.

Dependiendo de la resistencia del esfuerzo de tensión que se requiera, se necesitará de una armadura simple ó doble. Si este último fuese el caso, los sentidos de aplicación de la armadura deberán ser opuestos para mayor consistencia mecánica.

1.5.4 Cubiertas Exteriores No Metálicas.

Se usan también cubiertas exteriores no metálicas, constituidas por distintos tipos de fibras, tejidas sobre el cable ó por materiales extruidos, especialmente para proteger cables con aislamientos termoplásticos o termofijos.

A continuación se mencionan algunas propiedades físicas y mecánicas de estas cubiertas (para mayor detalle vease el capítulo 1.3.6 en aislamiento de cables).

1.5.5 Propiedades del PVC., (Policloruro de Vinilo).

Actualmente es usado sobre una variedad de cables con aislamiento de plástico, es aplicado por extrusión y sin vulcanización.

Algunas propiedades son:

- 1- Costo bajo.
- 2- Mayor resistencia a las descargas parciales en comparación con otros aislamientos orgánicos sintéticos.
- 3- Voltaje de ruptura en un minuto de aplicación 180 KV/cm.

Algunas propiedades inconvenientes de este compuesto son:

- 1- Se usa en cables de baja tensión, debido a las limitaciones en cuanto a temperatura.
- 2- Tiene una constante dieléctrica elevada y en consecuencia pérdidas dieléctricas considerables.
- 3- Este material orgánico tiene la facilidad de deformarse con facilidad al aumentar la temperatura.

Otro material orgánico usado en cubiertas exteriores es el NEOPRENO, algunas veces llamo policloropeno. Este material orgánico puede ser vulcanizado de manera similar a la que se usa para vulcanizar el hule. Las propiedades físicas de este material son las siguientes:

- 1- Resistencia a la deterioración por aceites solventes.
- 2- Resistencia a los rayos solares, calor y llamas.
- 3- Flexibilidad.
- 4- Resistencia a agrietamientos por envejecimiento.

También se recomienda como recubrimiento protector sobre la cubierta exterior, cuando esta es metálica, pudiendo ser aplicado por extrusión en forma de tubo ajustado "manguera" ó por la aplicación de mul

tiples cintas de neopreno, en este caso, la envoltura espiral a menudo -
consiste de combinaciones de cintas de este material después es vulcani-
zado en su sitio por la aplicación de calor (usualmente vapor) y presión
para formar un recubrimiento fuerte y consistente.

CAPITULO II

CAPACIDAD DE CORRIENTE Y EFECTOS INDUCTIVOS Y CAPACITIVOS DE UN CABLE

2.1 Capacidad de corriente en un cable.

Un cable bajo determinadas condiciones de carga, aumenta su temperatura debido al efecto Joule que se presenta en el conductor, esto es, existencias de pérdidas óhmicas.

En primer lugar, la capacidad de corriente que puede transportar un cable, depende de la temperatura que pueda soportar su aislamiento sin deteriorarse, de la disipación del calor producido por las pérdidas del cable, así como también, de las condiciones del medio ambiente al cual está sujeto.

La diferencia de temperaturas ocasionadas por variaciones de carga, también deberán tomarse en cuenta, puesto que una alta e inadmisibles diferencia de temperaturas, trae como consecuencia un envejecimiento prematuro del aislamiento.

Bajo condiciones estables, el calor disipado es igual a la suma de todas las pérdidas en el cable. El calor fluye por conducción por la superficie del cable por conductividad térmica desde la tierra hacia la atmósfera, la diferencia entre la temperatura del conductor y la temperatura del medio ambiente es proporcional a las pérdidas totales ocasionadas.

La corriente transportada por el conductor, hace que aumente su temperatura, como se mencionó anteriormente, fenómeno debido al efecto Joule, después de cierto período de tiempo se llega a un punto de equilibrio, en el que se establece que el calor generado es igual al calor disipado a través de los elementos que constituyen a el cable, siendo estos: el aislamiento, armaduras, cubierta exterior y finalmente a sus medios al



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

rededores ya sea tierra, aire u otro gas.

El flujo de calor, que es debido a la diferencia de temperaturas entre el conductor y los elementos dispuestos en sus alrededores, puede ser representado en el mejor de los casos como una analogía con los circuitos eléctricos resistivos o sea, leyes que rigen el comportamiento de elementos térmicos, son muy similares a las leyes que rigen los circuitos eléctricos.

De esta forma podemos establecer la siguiente analogía:

Para cualquier conductor de sección transversal A (mts^2) y resistividad (ohms/mts.), se cumple que por la ley de Ohm, la corriente del circuito está dada por:

$$I = \frac{dV \times A}{\rho \times dL} = \frac{\text{Caída de tensión} \times \text{Área transversal}}{\text{Resistividad eléctrica} \times \text{Longitud}}$$

El término $\frac{dL}{A}$ es la resistencia eléctrica del circuito.

Análogamente para el circuito térmico, el flujo de calor está dado por la siguiente expresión:

$$H = \frac{d\theta \times A}{\rho' \times dL} = \frac{\text{Caída de temperatura} \times \text{Área transversal}}{\text{Resistividad térmica} \times \text{Longitud}}$$

El término $\frac{dL}{A}$ se le conoce como resistencia térmica del cuerpo, las unidades de ρ' son $^{\circ}\text{C} \times \text{cm./Watt}$

A la expresión anterior se le conoce como ley de Ohm térmica o para el flujo de calor.

Tomando como base esto, podemos hacer las equivalencias Térmica — Eléctricas para representar los problemas de calor, que de una manera general pueden ser tratados dentro del ámbito de problemas que involucren corrientes eléctricas.

Circuito eléctrico	↔	Circuito térmico
Corriente (ampe.)	—————	Flujo de calor (watts)
Caída de tensión (volts)	—————	Dif. de temperaturas (°C)
Resistencia eléctrica (ohms)	—————	Resistencia térmica (°C x cm/watt)
Equipotencial	—————	Isotermas
Líneas de flujo de corriente	—————	Líneas de flujo de calor

Sea T_c la temperatura del conductor de un cable y T_a la temperatura del medio ambiente, si llamamos a θ la diferencia de temperatura anteriores, el flujo de calor H generado por los conductores será :

$$H = \frac{\theta}{G_t} \quad \begin{array}{l} \text{Caída de temperatura total} \\ \text{Resistencia térmica total} \end{array} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

La figura(2.1) nos muestra el circuito equivalente para el flujo de calor producido por los conductores de un cable trifásico.

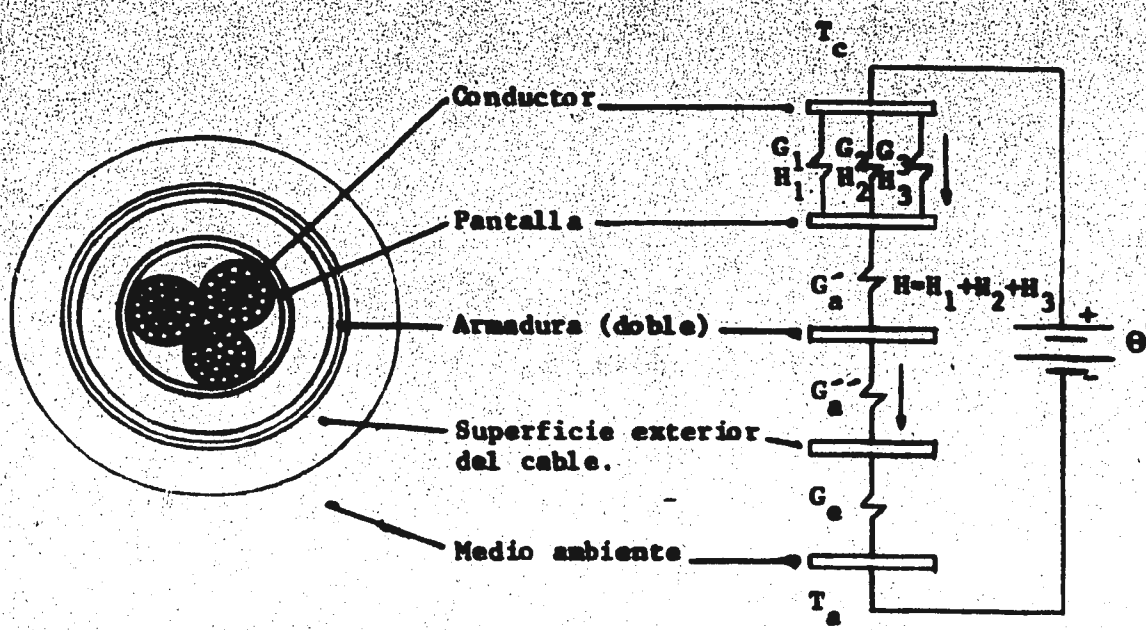


Figura 2.1

El flujo de calor fluye de los conductores, hacia los elementos exteriores que lo rodean, esto es:

H_1 = Flujo de calor debido al conductor 1

H_2 = Flujo de calor debido al conductor 2

H_3 = Flujo de calor debido al conductor 3

El flujo de calor generado H , en un cable de n con ductores esta dado por la ley de Joule:

$$H = n \times I^2 \times R_c \quad (2.3)$$

$$H = \frac{\theta}{G_t} \quad (2.4)$$

Sustituyendo la ecuación (2.3) en (2.4)

tenemos:

$$\frac{\theta}{G_t} = n \times I^2 \times R_c \quad (2.5)$$

De donde:

$$I = \sqrt{\frac{\theta}{n \times R_c \times G_t}} \quad (2.6)$$

A la ecuación (2.6) se le conoce como la capacidad de corriente del conductor, esta ecuación tiene que ser corre gida cuando se trabaja con cables de alta tensión, en virtud de que un cálculo más riguroso debe de incluir efectos de pérdidas por calor como son los siguientes factores:

- 1) Pérdidas en las pantallas
- 2) Efecto skin

3) Efectos de proximidad

4) Efectos de pérdidas en el dieléctrico

1) Pérdidas en las pantallas.-

En el caso de cables con pantalla, se inducen voltajes en éstas debido al campo magnético alterno producido por la corriente en el conductor (ley de Faraday), dando como resultado, corrientes parásitas circulantes en dichas pantallas y por consiguiente pérdidas por efecto Joule.

2) Efecto piel o skin.-

Este efecto consiste, en que hay una tendencia de la densidad de corriente a concentrarse en la superficie del conductor, debido al efecto magnético interno de este último, esto trae como consecuencia un aumento aparente de R_c .

3) Efectos de proximidad.-

La interacción de campos magnéticos asociados a conductores adyacentes que transportan corriente, causan una redistribución de dichas corrientes, esto ocasiona, también en forma independiente un aumento de R_c .

La figura 2.2 nos muestra cuales deben ser los factores de corrección debido a este efecto, en función del área transversal y tomando como parámetro el espesor del material aislante de los conductores.

La corrección para efecto piel (skin), no es muy apreciable para un conductor de sección transversal menor de 0.20 in^2

El efecto de proximidad se incrementa con el diámetro del conductor y es máximo cuando los cables están en contacto, por esta razón, esta corrección es necesaria para ---

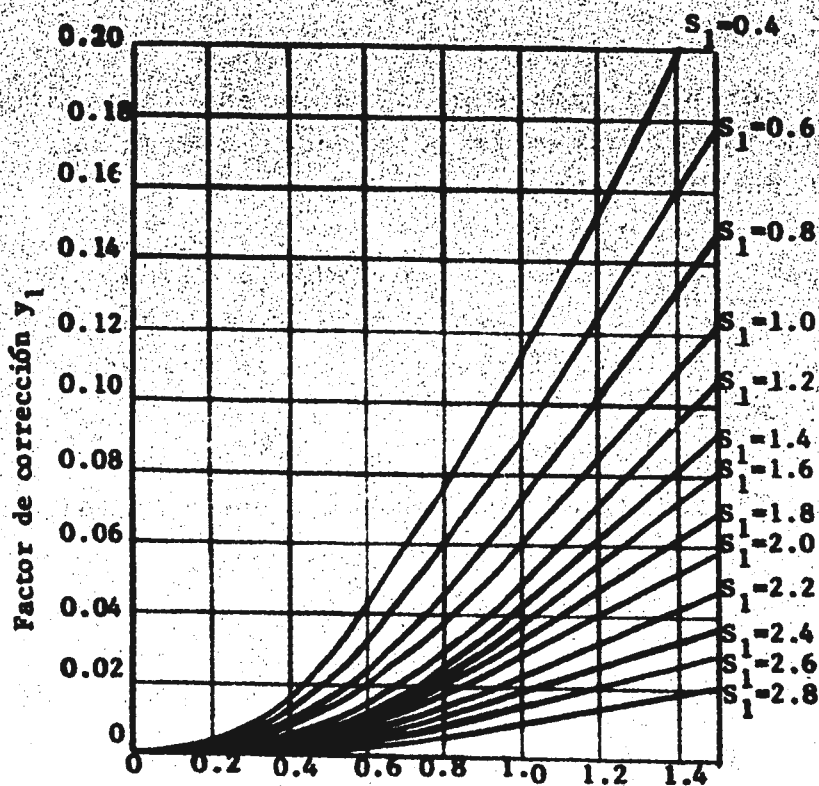
cables de baja tensión (capacidad de corriente alta) y área transversal considerable (arriba de 0.30 in^2).

Ambos efectos, es decir, tanto el efecto skin como el efecto de proximidad, deben ser tratados como un incremento aparente de la resistencia eléctrica del conductor, esto es:

$$R_{\bullet} = R(1 + y + y_1) \quad (2.7)$$

Donde:

- R = Resistencia en DC.
- y = Corrección por efecto skin
- y_1 = Corrección por efecto de proximidad
- R_{\bullet} = Resistencia total corregida para AC



Área de la sección transversal de un conductor en in^2

Figura 2.2

4) Efecto de las pérdidas en el dieléctrico.-

Para cables menores de 22 KV, el efecto adicional de calentamiento debido a las pérdidas en el dieléctrico es pequeño y puede ser despreciable, pero para cables de más alto voltaje estas pérdidas se incrementan, teniéndose que tomar en consideración para asegurar que la temperatura máxima del conductor no se exceda dentro de los límites fijados.

Por analogía con el circuito eléctrico la caída de temperatura en los extremos del dieléctrico esta dada por:

$$\Delta = D_L \times G_t \quad (2.8)$$

donde:

D_L = Calor debido a las pérdidas en el dieléctrico en watts/cm.

G_t = Suma de las resistencias térmicas individuales del dieléctrico = $G_a + G_b + G_c + \dots$ *

Las pérdidas dieléctricas D_L está en función de la constante dieléctrica y del factor de potencia de la máxima temperatura a que puede estar sujeto el aislamiento del cable sin deteriorarse. Debido a que estos parámetros no siguen una relación lineal con respecto a la temperatura, se deben determinar experimentalmente tomando en cuenta el área del conductor y la temperatura a que opera dicho cable.

La figura 2.3 nos muestra las pérdidas dieléctricas para un cable monofásico basado en su permitividad o constante dieléctrica de valor 3.7 y un factor de potencia de 0.005 a una temperatura máxima que puede soportar su aislamiento.

* El cable puede estar constituido por varios aislantes de diferentes propiedades físicas y eléctricas, en este caso G_t debe ser la suma de cada de las resistencias dieléctricas.

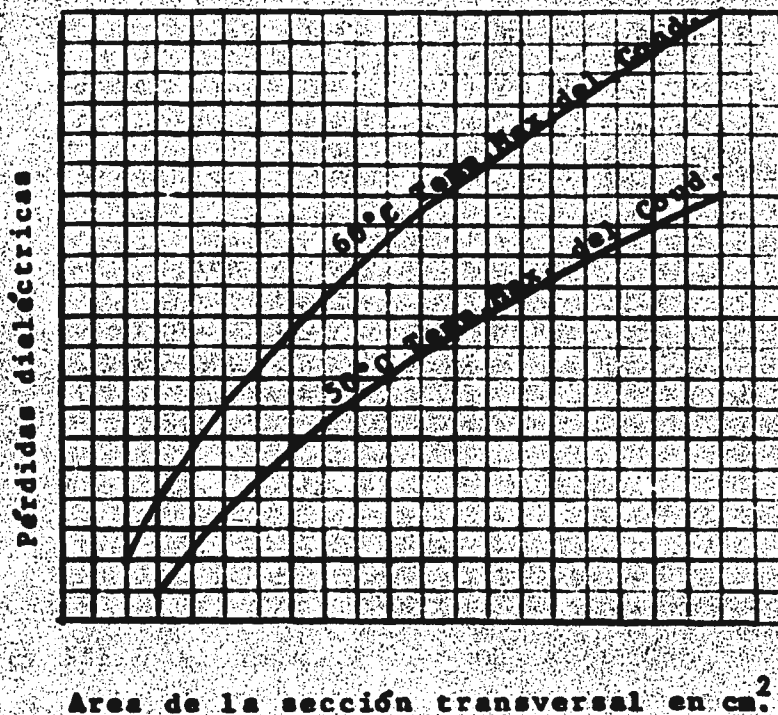


Figura 2.3

2.1.1 Capacidad de corriente en condiciones de sobrecarga de un cable aislado.

En casos de emergencia suele suceder que los cables que conectan los sistemas de potencia, distribución, etc; operan con cantidades de corriente superiores a las que estos fueron diseñados. Claro está que bajo estas situaciones, trae entre otras cosas, acortar la vida de dicho cable.

El incremento de carga nominal en un cable trae consigo un aumento de temperatura, pero este aumento no se manifiesta en forma inmediata, sino que se presenta de una manera muy aproximada a un régimen transitorio en el que intervienen las variables que acompañan a este fenómeno: Corriente-Tiempo-Temperatura.

La figura 2.4 nos muestra la forma en que aumenta la temperatura conforme transcurre el tiempo, además de hacer una comparación entre -

el aumento de temperatura real y el teórico

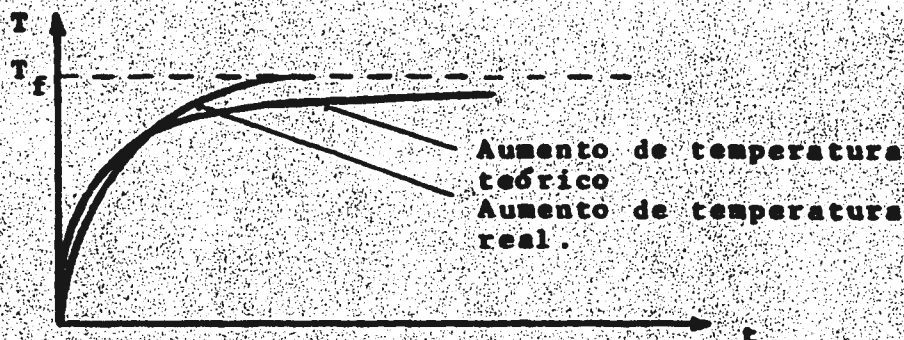


Figura 2.4

El comportamiento de aumento de temperatura teórico que sigue un cable de potencia en condiciones de sobrecarga está dado por la siguiente ecuación:

$$T = T_f (1 - e^{-\frac{t}{k}}) \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

Donde:

T = Aumento de temperatura durante el tiempo t dado en °C.

T_f = Aumento total de temperatura si la sobrecarga se mantiene en forma indefinida en °C.

t = Duración de la sobrecarga en horas.

k = Constante de tiempo térmica en horas.

La constante de tiempo térmica k se define como el tiempo requerido para que el conductor llegue al 63 % del aumento total de temperatura T_f . Esta constante depende de los siguientes parámetros:

- a) Resistencia térmica entre el conductor y sus alrededores.
- b) Capacidad térmica de los elementos que rodean al conductor en el cable.

La tabla 2.1 nos proporciona los valores aproximados de k para los diferentes calibres de los conductores.

Calibre del conductor.	Cables en aire	Cables en conduits	Cables en ductos enterrados	Cables directamente enterrados.
menor al # 2 AWG	0.33	0.67	1.00	1.26
Del # 2 al # 4/0 AWG	1.0	1.50	2.50	3.00
250 MCM en adelante	1.50	2.50	4.00	6.00

Tabla 2.1

La temperatura T_f puede ser aproximada por la siguiente ecuación:

$$T_f = (T_c - T_a) \left(\frac{I_o}{I_c} \right)^2 \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

Donde:

T_c = Temperatura del conductor en condiciones normales en °C

T_a = Temperatura ambiente en °C

I_o = Corriente de sobrecarga en amperes

I_c = Corriente en el conductor que produce una temperatura T_c al 100 % de carga del cable a una temperatura ambiente.

Si bien la ecuación 2.9 nos proporciona el valor de la temperatura T durante el tiempo t , podemos determinar este tiempo si de antemano conocemos los parámetros k , T_f y la temperatura T que puede soportar el cable, bajo condiciones de sobrecarga, por la siguiente ecuación que se deriva de 2.9

$$t = k \ln \left(\frac{T}{T_f - T} \right) \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

Con el interés de facilitar la determinación de la corriente de sobrecarga en un cable, se puede recurrir a la siguiente fórmula aproximada:

$$I_o = I_c \left(\frac{(T_o - T_a) + B (T_o - T_{cl})}{(T_c - T_a)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

Donde:

I_o = Corriente de sobrecarga (Amperes).

T_0 = Temperatura máxima del conductor en condiciones de sobrecarga ($^{\circ}\text{C}$)

T_{cl} = Temperatura del conductor en el instante en el que ocurre la sobrecarga ($^{\circ}\text{C}$)

$$B = \frac{e^{-t/k}}{1 - e^{-t/k}} \text{ Ecuación (2.13)}$$

Características del corto circuito de los cables aislados.

Como la demanda de KVA s en los sistemas de potencia crece continuamente, es de suma importancia para el ingeniero, diseñar cables que permitan, soportar por un lado la mas alta cantidad de corriente en condiciones de cortocircuito; tomando en cuenta esto, permite a los usuarios de cables eléctricos determinar la operabilidad de dichos cables en condiciones de cortocircuito, bajo estas circunstancias deben determinarse los siguientes aspectos:

- 1- Determinar la máxima corriente de cortocircuito permisible - del cable en cuestión.
- 2- Determinar la calidad del cable que sea necesaria para que resista dicho cortocircuito.
- 3- Determinar el tiempo máximo, a que puede estar sujeto el cable bajo condiciones de cortocircuito sin causar daño al aislamiento.

Asumiendo que el intervalo de tiempo es lo suficientemente pequeño para que el calor que se desarrolla durante las condiciones de cortocircuito, es sostenido en forma total por el propio conductor, (esta suposición se basa en el hecho de no existir un método matemático exacto, para poder calcular el flujo de calor del conductor hacia el material aislante, en el momento en que ocurre el cortocircuito). Por esta razón, una solución a este problema, tal que se aseguren los límites de temperatura del aislamiento del cable, esta dada por la siguiente expresión empírica:

$$\left[\frac{I}{A} \right]^2 t = K \text{ Log} \left[\frac{T_2 + T}{T_1 + T} \right] \text{ Ecuación (2.14)}$$

Donde:

I = Corriente de cortocircuito (Amperes)

A = Area del conductor en circular mils

t = Tiempo de duración del cortocircuito (Amperes)

- T_1 = Máxima temperatura de operación a la que está sujeto el aislamiento sin deteriorarse.
- T_2 = Máxima temperatura alcanzada durante el cortocircuito.
- K = Constante que depende del material con que está construido el conductor.
- T = Temperatura referida a la resistencia cero del material -- con el cual está construido el conductor ($^{\circ}\text{C}$ bajo cero)

La tabla 2.2 nos muestra los valores de la constante K utilizada para los diferentes materiales con que está construido el conductor.

Material	K
Cobre	0.0297
Aluminio	0.0125
Plomo	0.00097
Acero	0.00326

Tabla 2.2

Los valores de T_2 están fijados por la temperatura máxima a que puede estar sujeto el aislamiento. Los valores de esta temperatura para los aislamientos mas usados hoy en día nos lo proporciona la tabla 2.3

Aislamiento	Temperatura max. de op.
Polietileno de cadena cruzada	250 $^{\circ}\text{C}$
Etileno-Propileno	250 $^{\circ}\text{C}$
Termoplástico	150 $^{\circ}\text{C}$

Tabla 2.3

Las figuras 2.5, 2.6 y 2.7 nos muestran la cantidad de corriente de cortocircuito para los diferentes calibres del conductor y tiempos de operación.

De la misma manera que los conductores, las pantallas metálicas están limitadas por su capacidad para transportar grandes cantidades de corriente en condiciones de cortocircuito, ya que es necesario para su diseño tener en cuenta esto para su operabilidad satisfactoria.

La fórmula para determinar la corriente máxima permisible en condiciones de cortocircuito, para una pantalla conectada a tierra, es idéntica a la de los conductores.

$$\left[\frac{I}{A} \right] t = K \log \left[\frac{T_2 + T}{T_1 + T} \right]$$

Donde:

I = Corriente máxima de cortocircuito (Amperes)

K = Constante que depende del tipo de material con que esta construida la pantalla

A = Area de la sección transversal de la pantalla dada en circular mils.

t = Tiempo de duración del cortocircuito (Segundos)

T = Temperatura referida a la resistencia cero del material con el cual está construida la pantalla, dada en ° C bajo cero.

El area para los diferentes tipos de pantalla se puede calcular por las siguientes ecuaciones:

1 Pantalla tubular $A = 4bd_m$

2 Pantalla formada de hilos enrollados. $A = Nd_s^2$

3 Pantalla de cinta sin traslape $A = 1.27 wb$

4 Pantalla de cinta con traslape $A = 4bd_s \sqrt{\frac{w}{2(w-L)}}$

Donde:

A = Area efectiva de la pantalla en cm^2

b = Espesor de la pantalla en mils

d_m = Diámetro de la pantalla sobre el aislamiento en mils

N = Número de conductores enrollados.

d_s = Diámetro de los conductores en mils

w = Ancho de la cinta que forma la pantalla en mils

L = Traslape de una cinta con la otra.

La temperatura T_2 depende de la temperatura máxima que puede soportar el material aislante que se encuentra inmediatamente después de la pantalla (cubierta exterior).

Figura 2.5

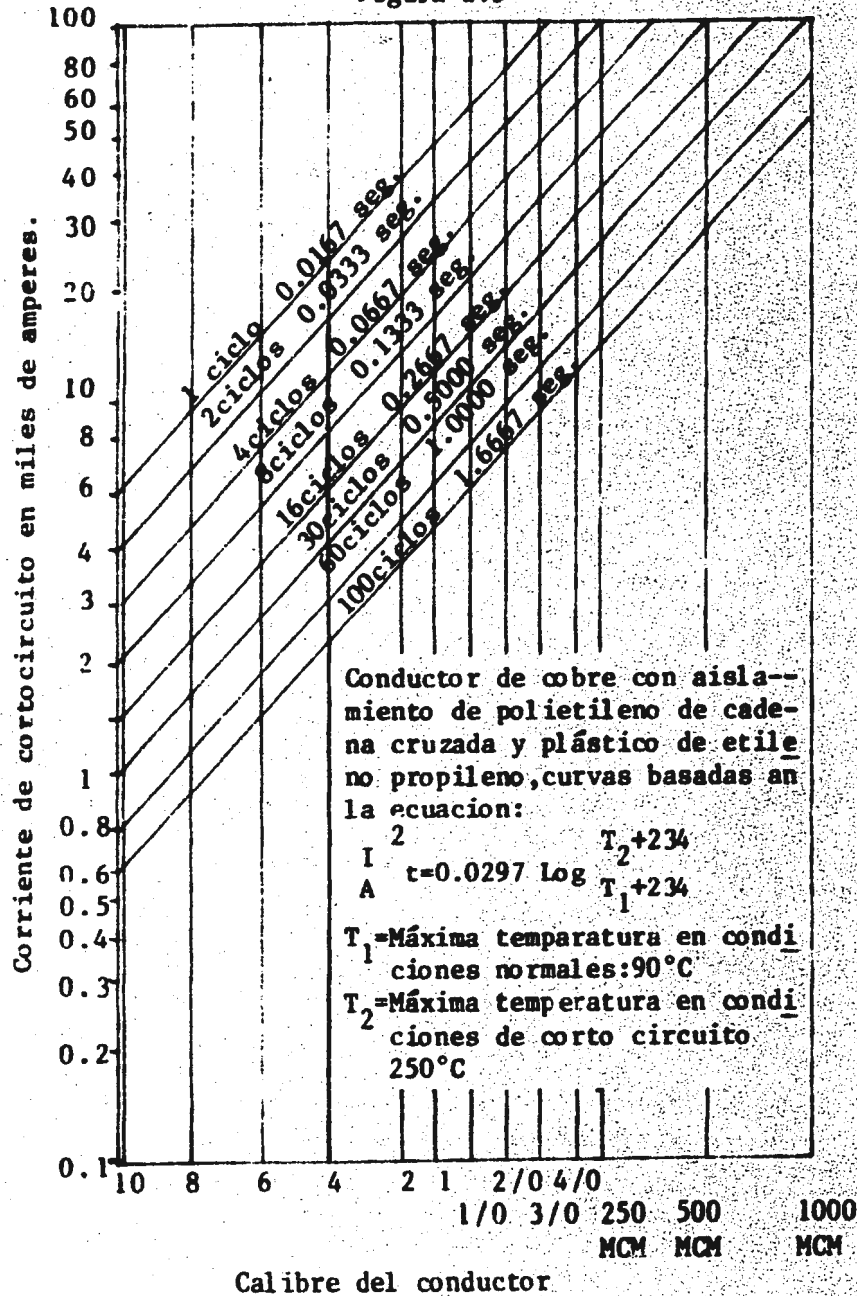


Figura 2.6

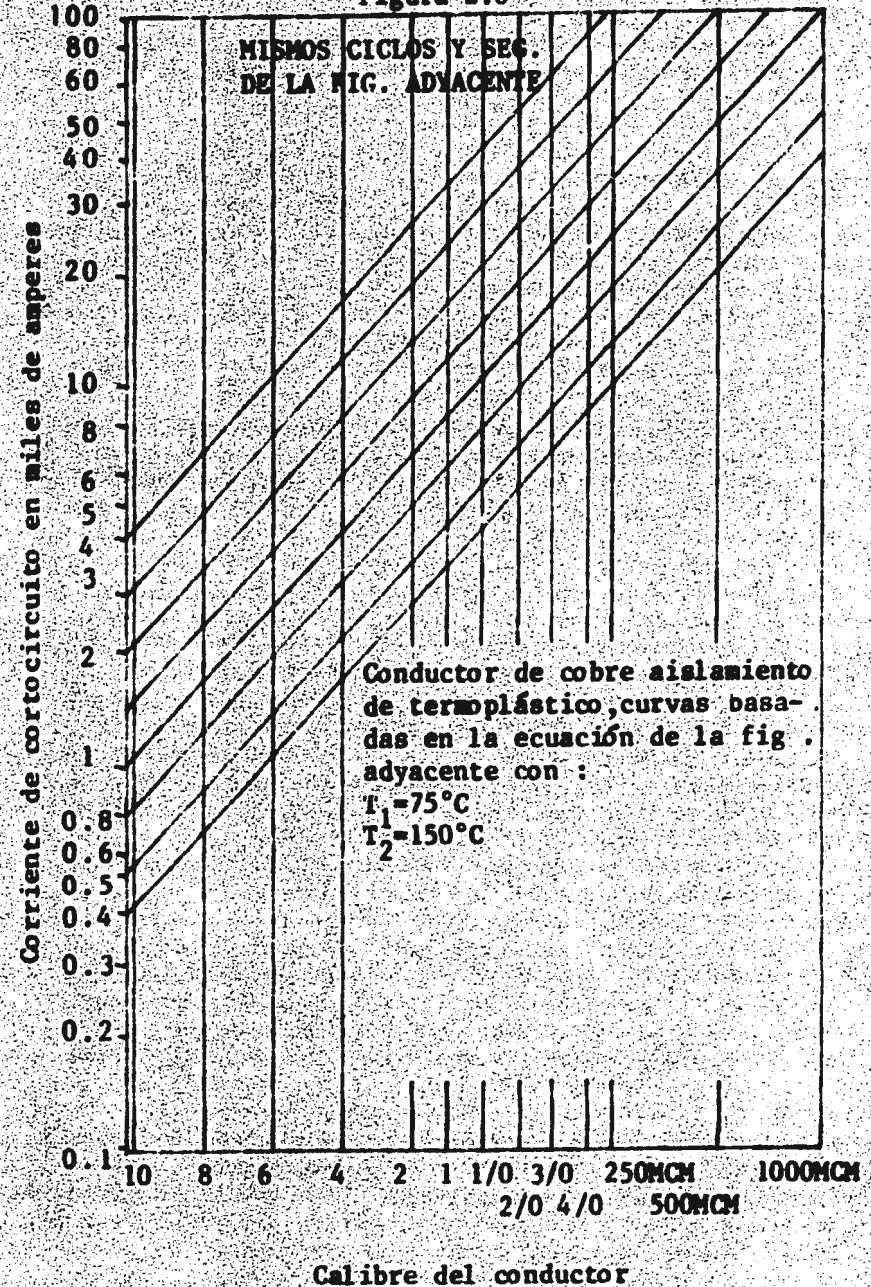


Figura 2.7

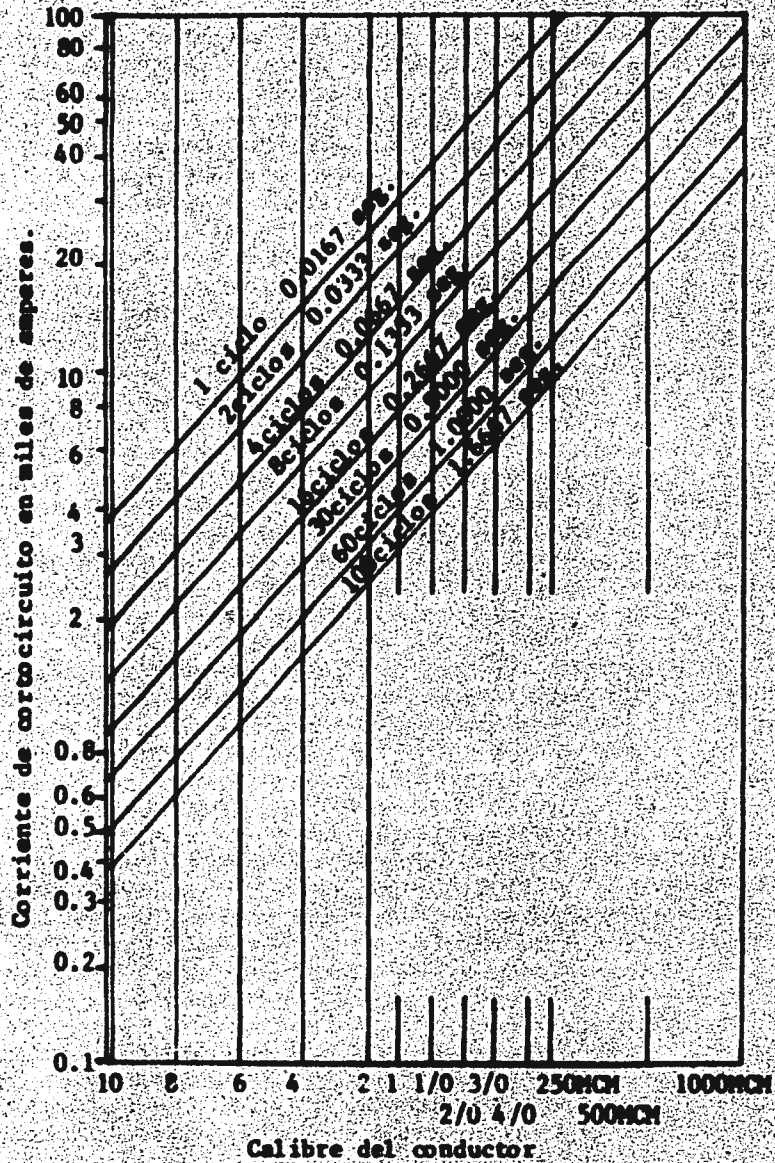
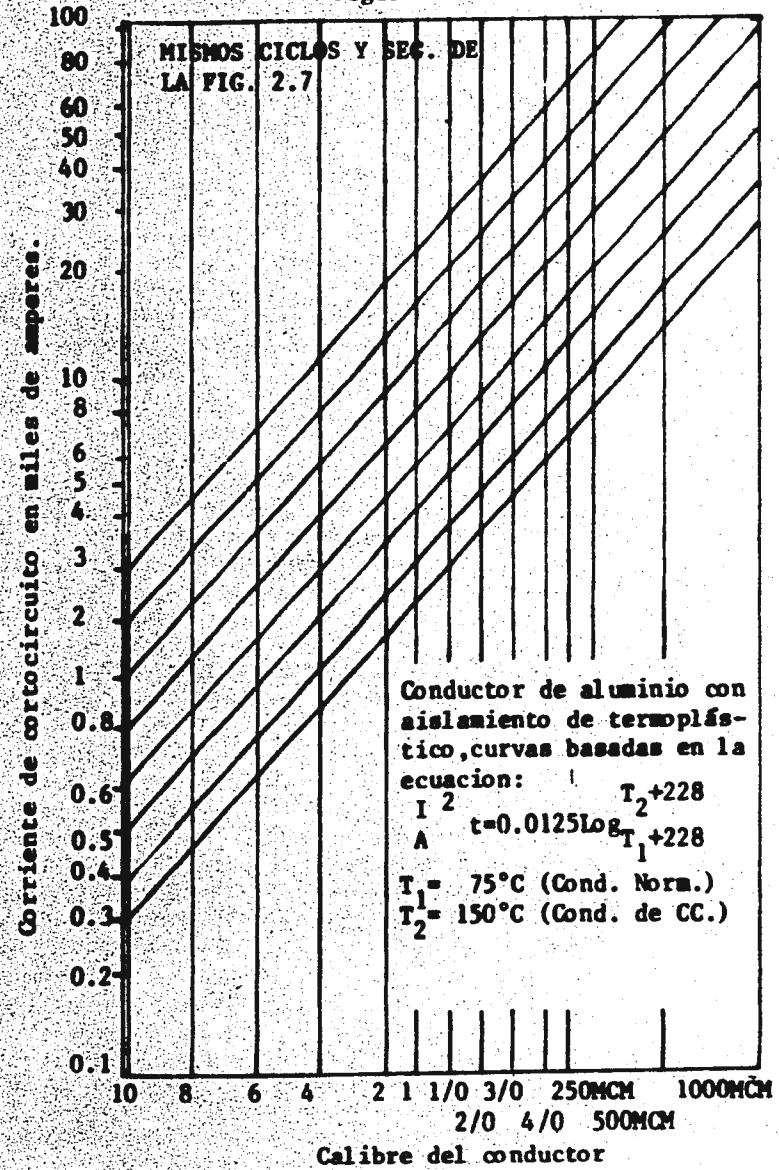


Figura 2.7'



2.1.2 Resistencia térmica de la cubierta exterior no metálica.

Si llamamos R_o y R_i al radio exterior e interior, respectivamente de la cubierta exterior y ρ_{te} a su resistividad térmica, la resistencia térmica R_{te} es :

$$R_{te} = \frac{\rho_{te}}{2\pi L} \int_{R_i}^{R_o} \frac{dx}{x}$$

$$R_{te} = \frac{\rho_{te}}{2\pi L} \ln \frac{R_o}{R_i} \quad (^\circ\text{C} \times \text{m.}) / \text{Watt.} \quad \text{Ecuación (2.16)}$$

2.1.3 Resistencia térmica del terreno:

El calor producido por un cable subterráneo fluye a través del terreno hasta la superficie, que puede considerarse una superficie isoterma, que está a la temperatura ambiente T_a .

Imágen térmica.

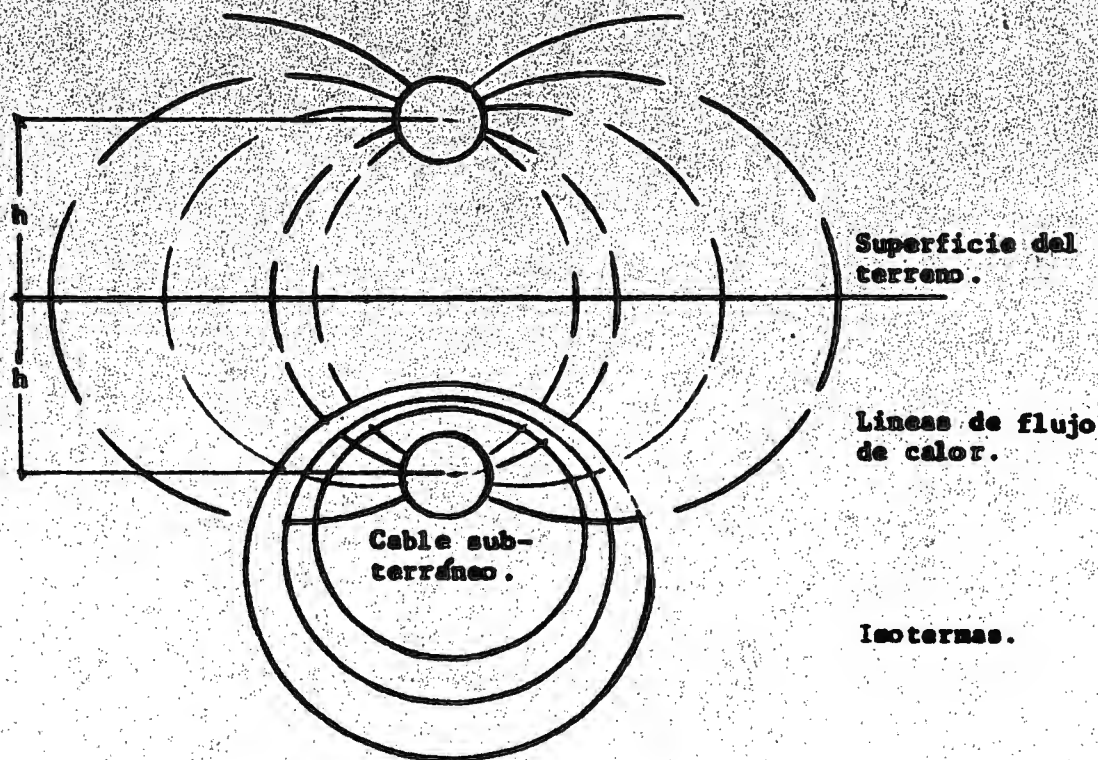


Figura (2.8) .

La figura (2.8) nos muestra el flujo de calor producido por un cable subterráneo a través de un terreno homogéneo.

Para calcular la resistencia térmica R_{tt} entre la superficie del cable subterráneo y la superficie del terreno se puede partir de la siguiente forma:

Como se puede observar, en la figura anterior se obtiene la misma distribución del flujo de calor emitido por el cable en el terreno circundante, si se supone que todo el calor producido por el cable es absorbido por una imagen térmica del cable situada simétricamente con respecto al plano de la superficie del terreno.

En la figura (2.9) se representa el sistema formado por la fuente de calor C , constituida por el cable y su imagen térmica.

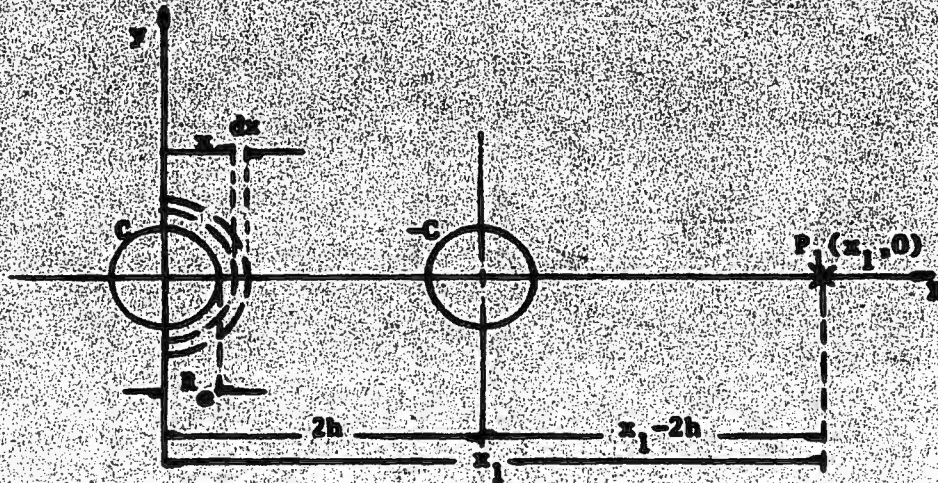


Figura (2.9) Representación del cable y su imagen térmica para el cálculo de la resistencia térmica del terreno.

La resistencia R_{tt} está dada por un término positivo, debido a la fuente de calor C y un término negativo debido a su imagen $-C$.

La integración se realiza desde un punto de la superficie del conductor hasta el punto P de abscisa x_1 , que se hace tender al infinito.

$$R_{tt} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \int_{R_e}^{x_1} \frac{dx}{x} - \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \int_{2h-R_e}^{x_1-2h} \frac{dx}{x}$$

$$R_{tt} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \left[\ln \frac{x_1}{R_e} - \ln \frac{x_1-2h}{2h-R_e} \right]$$

$$R_{tt} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \left(\frac{2h-R_e}{R_e} \right) \cdot \left(\frac{x_1}{x_1-2h} \right)$$

si $x_1 \rightarrow \infty$ entonces $\frac{x_1}{x_1-2h} \rightarrow 1$

Por lo tanto:

$$R_{tt} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \frac{2h-R_e}{R_e} \quad \text{Ecuación (2.17)}$$

donde:

R_{tt} = Resistencia térmica entre la superficie del cable subterráneo y la superficie del terreno

ρ_{tt} = Resistividad del terreno

L = Longitud del cable

R_e = Radio exterior del cable

h = Distancia entre la superficie del cable y la superficie del terreno.

2.2 Efectos Inductivos en un cable de Potencia.

Uno de los parámetros que afecta a todo tipo de transmisión de energía eléctrica ya sea aérea o subterránea es el parámetro inductivo L .

Cuando fluye una corriente en un conductor, aparecen en forma simultánea los efectos tanto de campo eléctrico como de campo magnético, la figura 2.10 nos muestra una línea monofásica que transporta una corriente desprovista de pantalla de aislamiento, en la cual, podemos observar este fenómeno ligado a toda línea de transmisión.

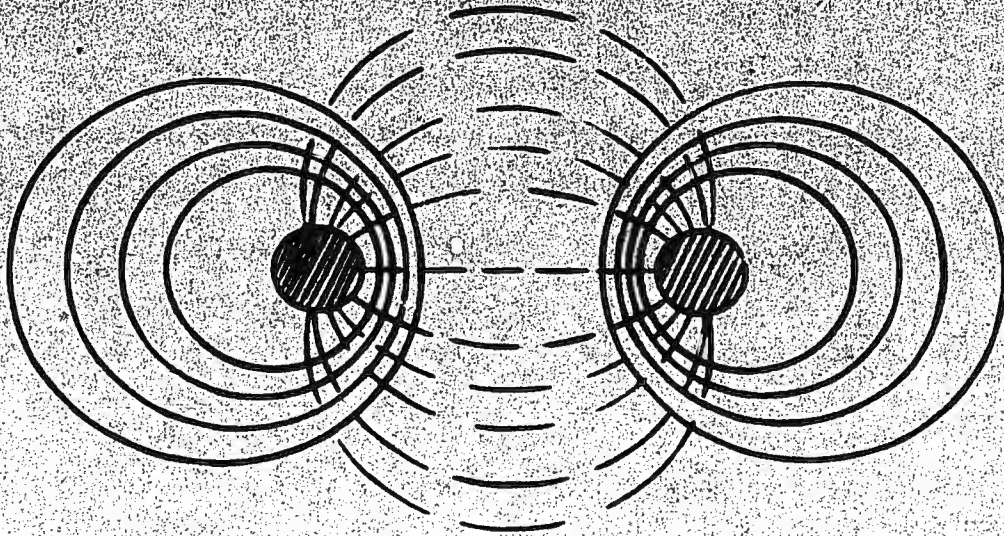


Figura 2.10

De la figura anterior es importante hacer notar que las líneas de campo eléctrico salen del conductor L y terminan en el conductor Z , como es sabido, cuando coexisten campo eléctrico y dieléctrico se presenta

una determinada capacitancia en la línea de transmisión, esto ocurre si y sólo si los cables que conforman la línea monofásica están desprovistas de pantalla de aislamiento.

La variación de la corriente en los conductores 1 y 2, trae como consecuencia a la par, una variación en el número de líneas de flujo magnético, que encadena el circuito eléctrico. En esta parte del capítulo II estudiaremos los efectos que producen los encadenamientos de flujo magnético, cuando se tienen dos o más conductores adyacentes que transportan una cierta corriente eléctrica.

Antes de entrar en detalle en este tema, es conveniente definir algunos conceptos elementales que se emplean en el desarrollo específico de los efectos inductivos en cables de potencia.

2.2.1 Definición de Inductancia.

$$e = - N \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{Volts})$$

Ecuación 2.18

$$e = - L \frac{di}{dt} \quad (\text{Volts})$$

Ecuación 2.19

Donde:

e = Voltaje inducido (Volts).

ϕ = Flujo enlazado de el circuito (WB-Vueltas).

i = Corriente eléctrica (amps).

t = Tiempo (seg).

L = Inductancia (Henrys).

La ecuación 2.18 conocida como la Ley de Faraday, establece que el voltaje inducido en cualquier circuito eléctrico es proporcional -

al cambio que tiene el flujo enlazado ϕ con respecto al tiempo, en nuestro caso de estudio $N = 1$.

La ecuación 2.19 establece que cuando la corriente de un circuito cambia con respecto al tiempo, el flujo magnético asociado a ésta, también cambia; ahora, si la constante de permeabilidad μ es invariable, el voltaje inducido es proporcional al cambio de la corriente con respecto al tiempo. En este caso L es una constante de proporcionalidad llamada inductancia del circuito medida en Henrys.

Igualando las ecuaciones 2.18 y 2.19 y despejando L tenemos:

$$L = \frac{d\phi}{di} \quad (\text{Henrys})$$

Ecuación 2.20

Si el flujo encadenado en el circuito varía linealmente con la corriente, significa que en el circuito en cuestión, la constante de permeabilidad del medio donde se encuentra es invariable, por lo tanto:

$$L = \frac{\phi}{I} \quad (\text{Henrys})$$

Ecuación 2.21

De esta forma, la inductancia de un circuito que transporta corriente, es igual al flujo enlazado de el conductor por unidad de corriente del mismo.

2.2.2 Definición de la Ley de Ampere.

También conocida como fuerza magnetomotriz (F.M.M.) su expresión matemática es la siguiente:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I \quad (\text{Amps.})$$

Ecuación 2.22

y establece que la integral de línea de H alrededor de una trayectoria ce
rrada, es igual a la corriente encerrada por dicha trayectoria;

Donde:

H = Intensidad de campo magnético (amp/m).

dl = Elemento infinitesimal de longitud de la trayectoria (m)

I = Corriente encerrada (amp.).

La figura 2.11 muestra un conductor que transporta una corrien
te de valor eficaz I (Sinusoidal) para el cual, procederemos a calcular el
flujo total encadenado entre los puntos P_1 y P_2 partiendo de la Ley de Am
pere, con base a lo anterior calcularemos la inductancia debida al número
de enlaces de flujo contenido entre los puntos mencionados con anteriori--
dad.

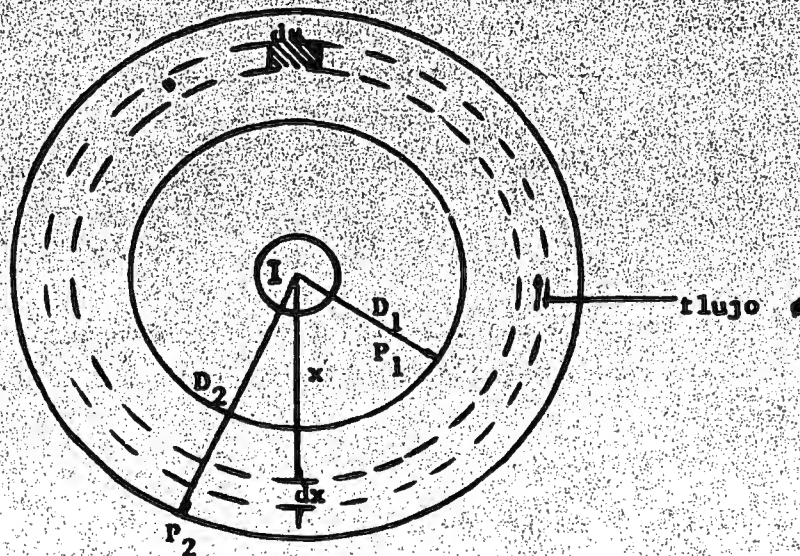


Figura 2.11

Sean P_1 y P_2 dos puntos situados a las distancias D_1 y D_2 respectivamente medidas en mts., desde el centro del conductor, ds es un elemento infinitesimal de la trayectoria que sigue el campo magnético, concéntrica a la superficie del conductor.

Sea además dx un elemento tubular cuyo espesor está localizado a una distancia x medida en mts., también desde el centro del conductor.

Aplicando la Ley de Ampere para calcular la intensidad de campo magnético H a una distancia x del centro del conductor tenemos:

$$\int H \cdot ds = I$$

$$(2 \pi x) H = I$$

$$H = \frac{I}{2 \pi x} \quad (\text{Amps.})$$

Ecuación 2.23

El campo magnético B a esa distancia esta dada por:

$$B = \mu H$$

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi x} \quad (\text{WB/m}^2)$$

Ecuación 2.24

De esta manera el enlace de flujo infinitesimal $d\phi$ en el elemento tubular de espesor dx esta dado por:

$$d\phi = B \cdot dA \quad (\text{WB/m})$$

Ecuación 2.25

Donde:

$d\phi$ = Area infinitesimal del elemento tubular

$$d\phi = B \cdot l \, dx \quad (\text{WB/m})$$

Donde:

l = Longitud del conductor considerándola de un metro de longitud tenemos:

$$d\phi = B \cdot dx \quad (\text{WB/m})$$

Ecuación 2.26

Sustituyendo 2.24 en 2.26 tenemos:

$$d\phi = \frac{\mu I \, dx}{2\pi x}$$

Ecuación 2.27

El flujo total enlazado entre P_1 y P_2 se obtiene sumando los flujos infinitesimales $d\phi$ comprendidos entre dichos puntos, esto es una integral definida desde $x = D_1$ a $x = D_2$.

De esta forma:

$$\phi \text{ Total} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{\mu I}{2\pi} \frac{dx}{x}$$

$$\phi \text{ Total} = \frac{\mu I}{2\pi} \text{Ln} \frac{D_2}{D_1} \quad (\text{wb/m})$$

Ecuación 2.28

De la ecuación 2.28 tenemos que la inductancia debida al flujo enlazado entre los puntos P_1 y P_2 es:

$$L = \frac{\phi_{\text{total}}}{I} = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.29

Así como se ha presentado en el párrafo anterior líneas de flujo exteriores a los conductores también existe campo magnético dentro de él. El valor de la inductancia debida al flujo interno, puede calcularse como la relación entre los enlaces de flujo y la corriente, teniendo en cuenta que cada línea de flujo interna enlaza tan sólo una fracción de la corriente total.

Refiriendonos a la figura 2.12 sea H_x la intensidad de campo magnético a x mts., del centro del conductor y suponiendo a este como simétrico en todos los puntos equidistantes del centro del conductor. Aplicando la Ley de Ampere tenemos:

$$\int H_x \cdot ds = I_x \quad (\text{amp.}) \quad \text{Ecuación 2.30}$$

$$2 \pi x H_x = I_x \quad (\text{amp.}) \quad \text{Ecuación 2.31}$$

Donde:

$$I_x = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} I_{\text{total}} \quad (\text{amp.}) \quad \text{Ecuación 2.32}$$

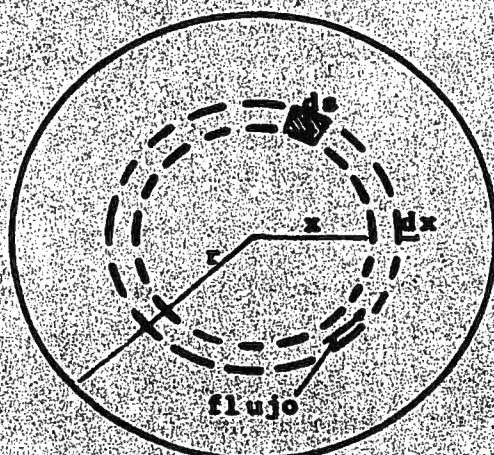


Figura 2.12

Que es la corriente encerrada, suponiendo una densidad de corriente uniforme (esto se puede considerar como válido para los sistemas que operan a 60 HZ., ya que no varía mucho el valor de la inductancia para la suposición anterior).

Sustituyendo 2.32 en 2.31 y resolviendo para \$H_x\$ tenemos:

$$H_x = \frac{x}{2 \cdot \pi r^2} I_{\text{total}} \quad (\text{amp/metro})$$

Ecuación 2.33

La densidad de flujo a x mts., del centro del conductor es:

$$B_x = \mu H_x = \frac{\mu KI}{2\pi r^2} \quad (\text{wb/mt}^2)$$

Ecuación 2.34

En un elemento tubular de espesor dx , el flujo $d\phi$ es B_x veces el área transversal del elemento normal a las líneas de flujo, siendo el área dx veces la longitud axial, el flujo por metro de longitud es:

$$d\phi = \frac{\mu KI}{2\pi r^2} dx \quad (\text{Wb/mt}^2)$$

Ecuación 2.35

Los enlaces de flujo $d\phi_x$ por metro de longitud, producidos -- por el flujo del elemento tubular son el producto del flujo por metro de longitud por la fracción de corriente enlazada, de esta forma tenemos:

$$d\phi_x = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} d\phi \quad (\text{Wb/mt}^2)$$

Ecuación 2.36

Sustituyendo 2.36 en 2.35 tenemos:

$$d\phi_x = \frac{\mu I x^3}{2\pi r^4} dx \quad (\text{Wb/mt}^2)$$

Ecuación 2.37

Integrando 2.37 desde el centro del conductor hasta el borde exterior para encontrar el flujo interior en el conductor, esto es:

$$\phi_x = \phi_{int} = \int_0^r \frac{\mu I x^3}{2\pi r^4} dx = \frac{\mu I}{8\pi} \quad (\text{Wb/mt})$$

Ecuación 2.38

Para una $\mu_r = 1$, $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Hy/mt)

$$\phi_{in} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7} \quad (\text{Wb/mt})$$

Ecuación 2.39

De esta forma la inductancia interna de un conductor que transporta una corriente I esta dada por:

$$L_{int} = \frac{\phi_{int}}{I} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.40

2.2.3 Inductancia en una Línea Monofásica.

La línea de transmisión que puede conectar un sistema de potencia es una línea bifilar como la de la figura 2.13 que representa un circuito que tiene dos conductores de radio r cada uno y separados de sus

centros una distancia D .

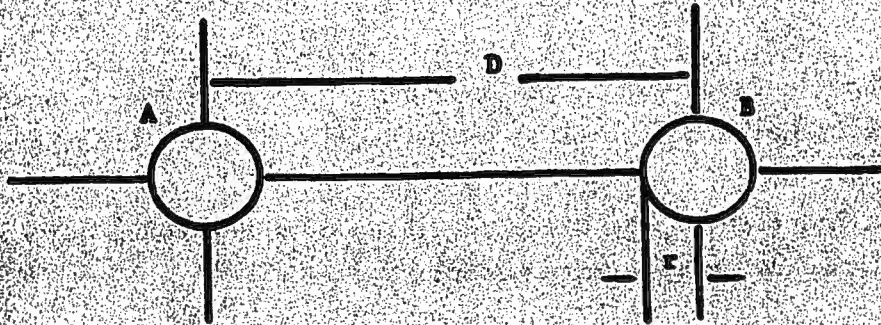


Figura 2.13

Para determinar la inductancia de este arreglo procederemos de la siguiente forma; aplicando la Ley de Ampere y en principio considerando sólo los enlaces de flujo del circuito producidos por la corriente del conductor A, se puede establecer la siguiente Hipótesis:

1. Una línea de flujo, debida a la corriente del conductor A, situada a una distancia igual δ mayor a $D + r$ del centro del mismo no enlaza al circuito, y por lo tanto no induce ninguna FEM., en otras palabras, a partir de la Ley de Ampere se cumple que $\oint H dl = 0$ ya que la corriente del conductor B es igual en magnitud y de sentido opuesto a la del conductor A.
2. La fracción de la corriente total enlazada por una línea -

de flujo exterior al conductor A y situada a una distancia igual o menor a $D - r$ es 1 esto es $\oint H dl = I_{\text{encerrada}}$

Los dos puntos anteriores nos hace pensar que entre las distancias $D - r$ y $D + r$ la fracción de la corriente total enlazada por la línea de flujo producida por la corriente del conductor A varía de 1 a 0 esto es $0 < I_{\text{encerrada}} < 1$. Por lo tanto es lógico simplificar el problema y acertada la Hipótesis anterior cuando $D \gg r$ ya que la densidad de flujo a través del conductor B se puede considerar como constante.

La inductancia del circuito debida a la corriente del conductor A se determina de la siguiente manera:

Para el flujo interior; de la ecuación 2.40

$$L_{\text{int}} = \frac{1}{2} 10^{-7} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.41

Y para el flujo externo:

$$\phi_{\text{ext.}} = \int_r^{D-r} \frac{\mu I}{2\pi} \frac{dx}{x}$$

$$\phi_{\text{ext.}} = 2(10^{-7}) I \int_r^{D-r} \frac{dx}{x} = 2(10^{-7}) I \ln \frac{D-r}{r}$$

Como: $D \gg r$

$$\phi_{\text{ext.}} = 2(10^{-7}) I \ln \frac{D}{r} \quad (\text{Wb/mt})$$

Ecuación 2.42

Donde obtenemos la inductancia externa:

$$L_{\text{ext}} = \frac{\phi_{\text{ext}}}{I} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.43

De esta forma la inductancia total del circuito debida a la corriente del conductor A es:

$$L_A = L_{\text{int.}} + L_{\text{ext.}}$$

Ecuación 2.44

Sustituyendo 2.41 y 2.43 en 2.44 tendremos:

$$L_A = \left(\frac{1}{2} + 2 \cdot \ln \frac{D}{r} \right) 10^{-7} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.45

Efectuando el mismo desarrollo tenemos que para el conductor B

$$L_B = \left(\frac{1}{2} + 2 \cdot \ln \frac{D}{r} \right) 10^{-7} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.46

Por lo tanto la inductancia total de la línea monofásica está dada por:

$$L_{\text{Total}} = L_A + L_B \quad (\text{Hy/mt.})$$

Ecuación 2.47

Sustituyendo 2.45 y 2.46 en 2.47 tenemos:

$$L_{\text{Total}} = \left(1 + 4 \cdot \ln \frac{D}{r}\right) 10^{-7} \quad (\text{Hy/mt.})$$

Ecuación 2.48

2.2.4 Inductancia de una Línea Trifásica.

Sea el circuito de la figura 2.14 en el cual los tres conductores están separados una determinada distancia. Asumiendo que el circuito está balanceado procederemos a determinar los encadenamientos de flujo magnético, de cada uno con respecto a los restantes, para así poder determinar la inductancia de cada uno de ellos.

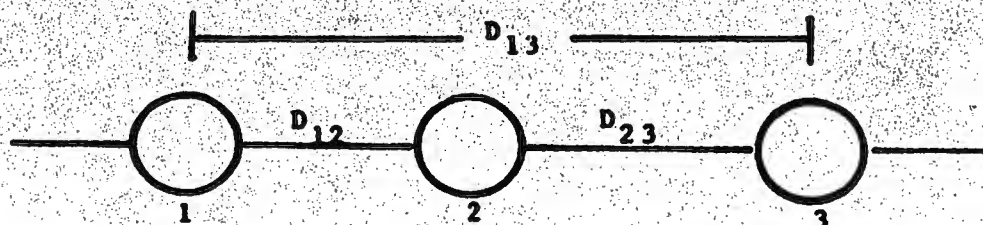


Figura 2.14

La ecuación general que expresa todo el flujo encadenado por un determinado conductor es el siguiente:

$$\phi_1 = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \ln \frac{1}{r_1} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} + \dots + I_n \ln \frac{1}{D_{1n}} \right) \quad (\text{Wb/m})$$

Ecuación 2.49 *

Donde:

r_1 e I_1 = Son el radio del conductor y la corriente que transporta el conductor 1, en mts., y amperas respectivamente para el cual se va a determinar su inductancia.

D_{12} = Es la distancia en mts., del conductor 2, respecto al conductor 1,

D_{13} = Es la distancia en mts., de 3 respecto a 1; y así sucesivamente hasta llegar a D_{1n} , que es la distancia del n ésimo conductor respecto al conductor 1.

* Para el desarrollo de esta ecuación consulte el apéndice.

Aplicando la ecuación 2.49 al arreglo de la figura 2.14 se tiene:

Para el conductor 1:

$$\phi_1 = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \ln \frac{1}{r_1} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} \right)$$

Ecuación 2.50

Para el conductor 2:

$$\phi_2 = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{I_2}{4} + I_2 \ln \frac{1}{r_2} + I_1 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} \right)$$

Ecuación 2.51

Por último para el conductor 3:

$$\phi_3 = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{I_3}{4} + I_3 \ln \frac{1}{r_3} + I_1 \ln \frac{1}{D_{13}} + I_2 \ln \frac{1}{D_{23}} \right)$$

Ecuación 2.52

Si las cargas y los voltajes están balanceados, las corrientes de los conductores pueden estar representadas por el siguiente diagrama fasorial de la figura 2.15.

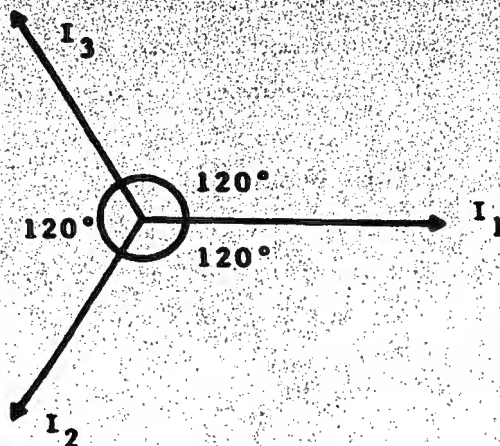


Figura 2.15

Por la teoría de las componentes simétricas, aplicando el operador a tenemos:

$$I_1 = I_1$$

Ecuación 2.53

$$I_2 = a I_1 = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) I_1$$

Ecuación 2.54

$$I_3 = a^2 I_1 = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) I_1$$

Ecuación 2.55

$$\text{donde: } 1+a+a^2=0$$

Ecuación 2.56

Sustituyendo las ecuaciones 2.53, 2.54 y 2.55 en las ecuaciones 2.50, 2.51 y 2.52 respectivamente con el fin de obtener cada flujo en función de su correspondiente corriente que la produce tenemos:

$$\begin{aligned} \phi_1 = 2 \times 10^{-7} & \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \ln \frac{1}{r_1} + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) I_1 \ln \frac{1}{D_{12}} + \right. \\ & \left. + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) I_1 \ln \frac{1}{D_{13}} \right) \end{aligned}$$

Ecuación 2.57

Manipulando algebraicamente obtenemos:

$$\phi_1 = 2 \times 10^{-7} I_1 \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{\sqrt{D_{13} D_{12}}}{r_1} + j\sqrt{3} \ln \sqrt{\frac{D_{12}}{D_{13}}} \right) (\text{Wb/mt})$$

Ecuación 2.58

Donde obtenemos la inductancia L_1 :

$$L_1 = \frac{\phi_1}{I_1} = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{4} + \text{Ln} \sqrt{\frac{D_{13} D_{12}}{r}} \right) + j\sqrt{3} \text{Ln} \sqrt{\frac{D_{12}}{D_{13}}} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.59

Simultáneamente:

$$L_2 = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{4} + \text{Ln} \sqrt{\frac{D_{12} D_{23}}{r_2}} \right) + j\sqrt{3} \text{Ln} \sqrt{\frac{D_{12}}{D_{23}}} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.60

$$L_3 = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{4} + \text{Ln} \sqrt{\frac{D_{12} D_{23}}{r_3}} \right) + j 3 \text{Ln} \sqrt{\frac{D_{13}}{D_{23}}} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.61

Como podemos observar en las ecuaciones 2.59, 2.60 y 2.61 los enlaces de flujo y las inductancias de todas fases no son iguales, ocasionando caídas reactivas de voltajes diferentes en cada uno de los cables - que conforman el circuito trifásico, estos se pueden igualar haciendo lo-

siguiente:

$$r_1 = r_2 = r_3 = r$$

Ecuación 2.62

$$D_{12} = D_{13} = D_{23} = D$$

Ecuación 2.63

Bajo esta condición se requiere que la posición geométrica -- que ocupan los cables sea en forma de triángulo equilátero, de esta manera se tiene:

$$L_1 = L_2 = L_3 = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{4} + L_n \frac{D}{r} \right) \text{ (Hy/at.)}$$

Ecuación 2.64

Otra manera de balancear el circuito, se obtiene intercambiando la posición de los conductores a intervalos regulares a lo largo de la línea, de tal forma que cada conductor ocupe la posición de cada uno de los otros conductores sobre una distancia igual, este cambio de las posiciones de los conductores se le conoce comúnmente como transposición, la figura 2.16 representa un ciclo completo de transposición.

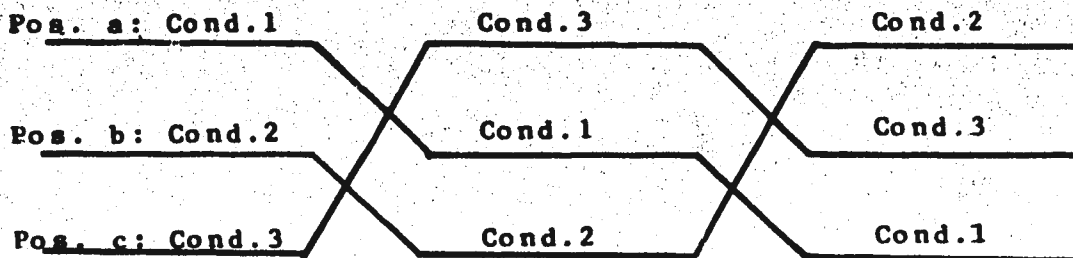


Figura 2.16

Para encontrar la inductancia media de un conductor, primeramente se calculan los enlaces de flujo de un conductor en cada posición - del ciclo de transposición, encontrando la media de los enlaces de flujo, aplicando la ecuación 2.49 para el conductor 1, en cada uno de los tres - tramos correspondientes a cada una de sus posiciones tenemos:

$$\phi_{1a} = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \ln \frac{1}{r} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + \right. \\ \left. + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} \right) \quad (\text{Wb/mt})$$

Ecuación 2.65

En la posición b:

$$\phi_{1b} = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \ln \frac{1}{r} + I_2 \ln \frac{1}{D_{23}} + \right. \\ \left. + I_3 \ln \frac{1}{D_{12}} \right) \quad (\text{Wb/mt})$$

Ecuación 2.66

Y por último para la posición c:

$$\phi_{1c} = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \ln \frac{1}{r} + I_2 \ln \frac{1}{D_{13}} + \right. \\ \left. + I_3 \ln \frac{1}{D_{23}} \right) \quad (\text{Wb/mt})$$

Ecuación 2.67

El valor medio de los enlaces de flujo de I, esta dado por la media aritmetica:

$$\phi_{\text{prom.}} = \frac{\phi_{1a} + \phi_{1b} + \phi_{1c}}{3}$$

Ecuación 2.68

Sustituyendo las ecuaciones 2.65, 2.66 y 2.67 en la ecuación 2.68 tenemos:

$$\begin{aligned} \phi_{\text{prom.}} = & 2 \times 10^{-7} \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \text{Ln} \frac{1}{r} + \frac{I_2}{3} \text{Ln} \frac{1}{D_{12} D_{13} D_{23}} + \right. \\ & \left. + \frac{I_3}{3} \text{Ln} \frac{1}{D_{12} D_{13} D_{23}} \right) \quad (\text{Wb/m}^2) \end{aligned}$$

Ecuación 2.69

Pero:

$$I_1 = - (I_2 + I_3)$$

Ecuación 2.70

Sustituyendo la ecuación 2.70 en 2.69 tenemos:

$$\phi_{\text{prom.}} = 2 \times 10^{-7} \left(I_1 \frac{1}{4} + \text{Ln} \frac{1}{r} + \text{Ln} \sqrt[3]{D_{12} D_{13} D_{23}} \right)$$

Ecuación 2.71

$$\phi_{\text{prom.}} = 2 \times 10^{-7} I_1 \left(\frac{1}{4} + \text{Ln} \sqrt[3]{\frac{D_{12} D_{13} D_{23}}{r}} \right)$$

Ecución 2.72

2.2.5 Corrientes Inducidas en las Pantallas.

Las corrientes inducidas en las pantallas se clasifican en dos tipos:

- a) Corrientes de Eddy.
- b) Corrientes debidas a voltajes inducidos en la pantalla.

a) Las corrientes de Eddy en un cable surgen soló cuando las pantallas no estan aterrizadas, y es debido al flujo producido por la corriente que transporta el cable, ya que éste induce voltajes en la pantalla, dando como resultado este tipo de corrientes parásitas, de manera muy parecida al fenómeno que sucede en los transformadores, cuando su secundario se encuentra en circuito abierto.

Las corrientes de Eddy son máximas cuando la pantalla está lo más cerca posible del conductor, en la práctica este fenómeno tiene poca importancia debido a que el efecto de pérdidas por calentamiento es muy bajo y lo más importante, que en un cable con pantalla, en la mayoría de los casos su pantalla se encuentra aterrizada.

b) El efecto de corrientes en la pantalla de un cable debido a voltajes inducidos cuando la pantalla está aterrizada tiene mayor importancia, ya que el voltaje total que se induce a lo largo de la pantalla puede ser de magnitud considerable.

En la figura 2.17 consideremos dos cables monofásicos que transportan la corriente I que alimenta a la carga C , suponiendo que las pantallas son delgadas y que pueden ser reemplazadas por cilindros delgados de radio $1/2 D$, el flujo que atraviesa A, B, C y D está dado por:

$$\phi = 2 \times 10^{-7} L_n \left(\frac{d}{1/2 D} \right) \text{ (WB/mt.)}$$

Ecuación 2.73

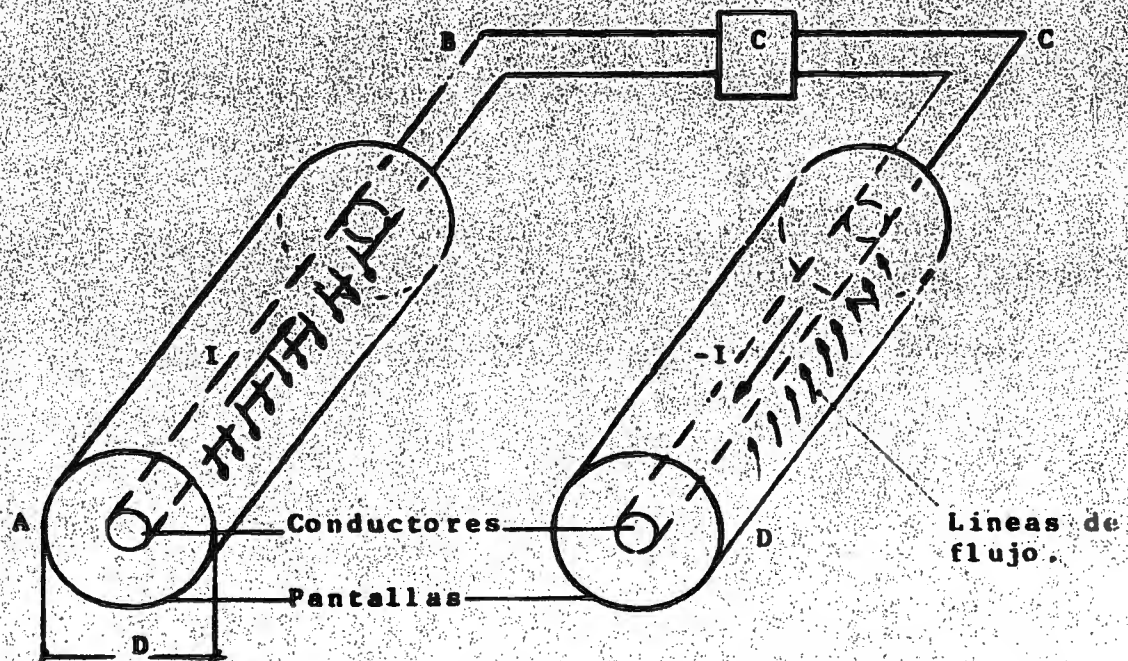


Figura 2.17

El voltaje inducido por este flujo en la pantalla de cada cable está dado por la Ley de Faraday:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Ecuación 2.74

Como el flujo es una función del tiempo:

$$\phi = \phi_{\max.} \text{ Sen } \omega t$$

Ecuación 2.75

Teniendo en cuenta que $N = 1$

$$\mathcal{E} = -\omega \phi_{\max.} \text{ Cos } \omega t = \omega \phi_{\max.} \text{ Sen } \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Ecuación 2.76

Lo anterior indica que la FEM., inducida está atrasada 90° con respecto al flujo que la produce.

Además:

$$\mathcal{E} = \frac{\omega \phi_{\max.}}{2} = \omega \phi$$

Ecuación 2.77

Donde:

ϕ = Valor eficaz del flujo.

Por lo tanto tenemos:

$$\mathcal{E}_p = 2\omega I L n \left(\frac{d}{1/2 D} \right) \times 10^{-7} \text{ (Volts/mt.)}$$

Ecuación 2.78

Que es el voltaje inducido en la pantalla de cada conductor, - lo anterior puede hacerse extensivo a un sistema trifásico pero sólo nos limitaremos a este caso para centrarnos en el concepto que nos interesa.

De la ecuación 2.78 se puede deducir que el voltaje inducido en la pantalla:

$$E_p = 2\omega I \ln\left(\frac{d}{1/2 D}\right) \times 10^{-7} = IX_p = I\omega M \quad (\text{Volts/mt.})$$

Ecuación 2.79

Donde:

X_p = Es la reactancia de la pantalla .

M = Es la inductancia mutua de la misma.

Así:

$$X_p = 2\omega \ln\left(\frac{d}{1/2 \cdot D}\right) 10^{-7} \quad (\Omega/\text{mt})$$

Ecuación 2.80

$$M = 2 \ln\left(\frac{d}{1/2 \cdot D}\right) 10^{-7} \quad (\text{Hy/mt})$$

Ecuación 2.81

Si las pantallas están sólidamente aterrizadas, la corriente que transportarán estará dada por la siguiente ecuación:

$$I_p = \frac{E_p}{Z_p} = \frac{E_p}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}} = \frac{I X_p}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (\text{Amp.}) \quad \text{Ecuación 2.82}$$

Donde:

Z_p = Es la impedancia de la pantalla cuyas componentes son una resistencia pura R_p y una autoinductancia .

El circuito monofásico citado demuestra los siguientes hechos

- a) El voltaje longitudinal resultante depende de la corriente de los conductores aislados, de la longitud de los cables y del espaciamiento entre conductores.
- b) La impedancia del circuito de pantalla del cable, depende del diseño de la pantalla misma, la longitud del cable y del espaciamiento entre conductores.

2.3 Capacitancia de un cable Monofásico.

El esfuerzo eléctrico de un cable, en función del potencial - esta dado por la siguiente expresión:

$$E = \frac{V}{X \text{ Ln} \left[\frac{D}{r} \right]} \quad (\text{Volts/mt})$$

Ecuación 2.83

Luego vimos que esta relación es máxima para $X = r$, donde r es el radio del cable, esto significa que el esfuerzo eléctrico es máximo en la superficie del conductor. La ecuación anterior también la podemos escribir de la siguiente manera:

$$V = X \cdot E \cdot \ln \left[\frac{D}{r} \right] \quad (\text{Volts})$$

Ecuación 2.84

Donde:

E = Para un cable monofásico, está dado por:

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{q}{X} \quad (\text{Volts/m})$$

Ecuación 2.85

Siendo X la distancia comprendida entre la superficie del conductor y la superficie exterior. (Pantalla en el caso de que el cable es té provisto de ésta).

Sustituyendo 2.85 en 2.84 tenemos:

$$V = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 l} \ln \left[\frac{D}{r} \right] \quad (\text{Volts})$$

Ecuación 2.86

Por la definición de capacitancia y sustituyendo el valor de V tenemos:

$$C = \frac{q}{V} -$$

$$= \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(D/r)} \quad (\text{Farads}) \quad \text{Ecuación 2.67}$$

que es la capacitancia de un cable monofásico donde:

$$2 \pi = \text{Cte.}$$

l = Longitud del cable (mts.)

ϵ = Cte. de permitividad del dieléctrico (farad/mts.)

D = Radio del cable (mts.)

r = Radio del conductor (mts.)

2.4 Capacitancia en los cables trifásicos.

Las fórmulas matemáticas para calcular la capacitancia electrostática de un cable trifásico, además de complicadas no siempre satisfacen al comportamiento de un cable, dado que la distribución de campo puede ser formas asimétricas e irregulares además de que en un instante dado, los conductores de cada fase no poseen el mismo potencial. La figura 2.18 muestra la distribución del campo eléctrico en un cable trifásico.

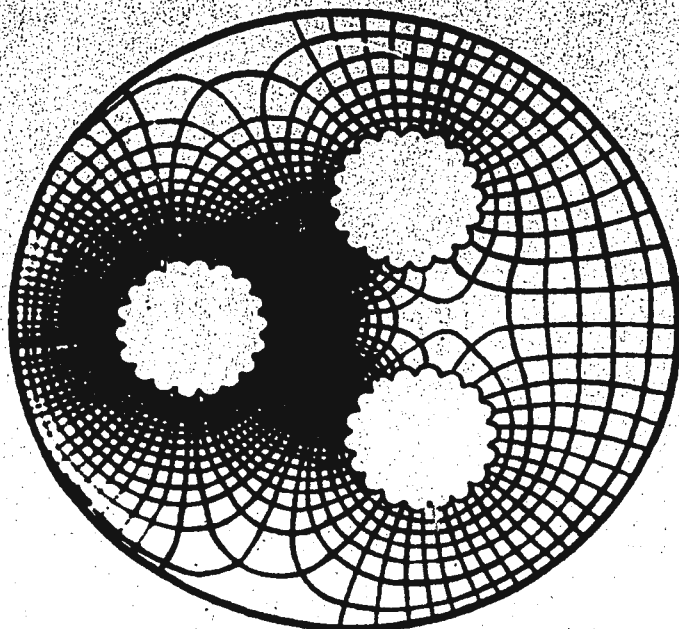


Figura 2.18 Distribución del campo eléctrico en un cable trifásico.

De la figura 2.19 podemos observar que la concentración de es fuerzas dieléctricas debido al campo eléctrico, se concentra en una mayor proporción en la zona central del cable.

Debido a esta distribución no uniforme de campo eléctrico, se tiene la gran dificultad de plantear una relación matemática teórica que no difiera de los valores reales de capacitancia eléctrica.

Una de estas ecuaciones es la basada en la posición geométrica de los conductores como sigue:

$$C = \frac{0.111 \epsilon_r}{L_n \left[\frac{a^2 \{ 3R^2 - a^2 \}^3}{r^2 \{ 27R^6 - a^6 \}} \right]} \quad (\text{ufd/milla}) \quad \text{Ecuación 2.88}$$

Donde:

- R = Distancia del centro del cable a la pantalla metálica en (Mts).
- r = Radio del conductor.
- a = Distancia entre conductores.

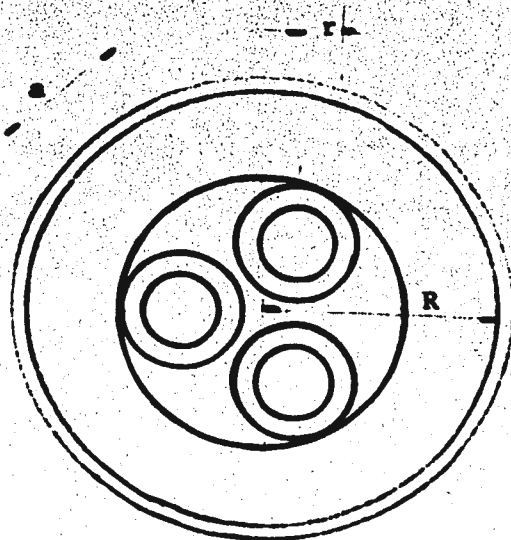


Figura 2.19

Los valores medidos diferirán considerablemente de los valores calculados debido, por una parte, a la no uniformidad del campo eléctrico, como ya se indicó y por otra parte a la no Homogeneidad del cable, ya que en la construcción de un cable trifásico la mayoría de los casos, cada fase que compone dicho cable se encuentra aislado individualmente y todo el conjunto a su vez se aísla con un material de características diferentes, estas son, pues, las consideraciones que determinan la dificultad de poder medir la capacitancia de un cable desde un punto de vista teórico.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, se cae en la necesidad de medir directamente la capacitancia con aparatos especiales— asumiendo el siguiente modelo de la figura 2.20 y efectuando las medidas que a continuación se describen:

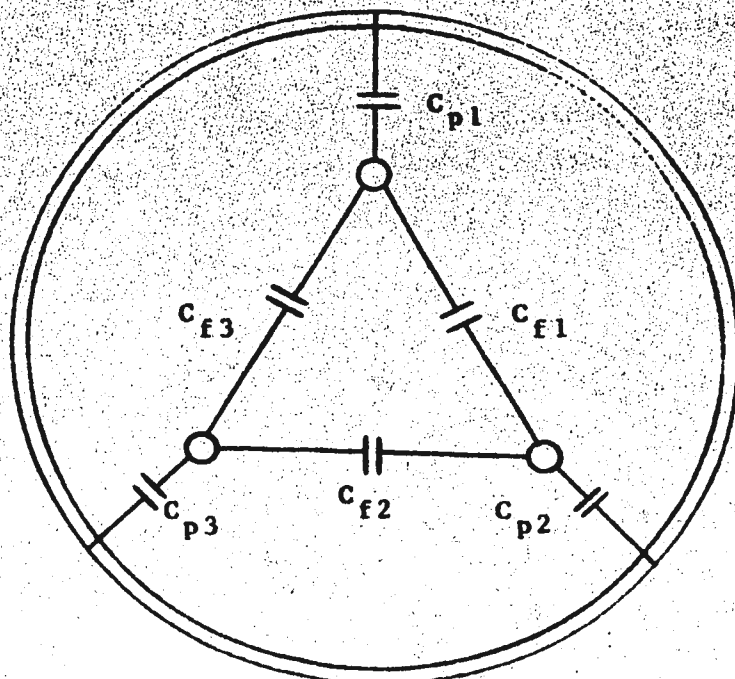


Figura 2.20

- 1- Se mide la capacitancia entre cualquier conductor y pantalla, estando los otros dos conductores restantes conectados con la tierra, esto es medimos:

$$C' = C_p + 2 C_f \text{ (Farada).}$$

Ecuaçión 2. 89

- 2- Se mide la capacitancia entre pantalla y todos los conductores conectados entre sí, esto es, medimos:

$$C'' = 3 C_p \text{ (Farada).}$$

Ecuaçión 2. 90

En base a las capacitancias individuales C_p y C_f la capacitancia de un cable trifásico está dado por:

$$C = C_p + 3 C_f \text{ (Farada)}$$

Ecuaçión 2. 91

CAPITULO III

TERMINALES Y EMPALMES

3.1 Conceptos generales

En el manejo y transporte de un cable de alta tensión, se presentan gran cantidad de dificultades y es por esto que los rollos tienen un límite el cual depende de que tan grueso sea el cable, la longitud del cable enrollado será menor cuanto mayor sea la sección del cable. Por esto en instalaciones donde se requiera de longitudes grandes será necesario -- empalmar tramo con tramo, para ello se utilizan manguitos de empalme, denominados también cajas empalmes, en general los cables a empalmar son del mismo calibre.

Las derivaciones de un cable principal se realizan con manguitos de derivación siendo en general los cables derivados de menor sección que el primero.

Los manguitos terminales ó cajas terminales sirven para empalmar un cable subterráneo con una línea aérea o con una línea eléctrica de distribución en el interior de edificios. Los manguitos son para exterior si el empalme es con una línea aérea y para interior si este es con una línea eléctrica de distribución.

Las propiedades de los elementos citados no deben empeorar ninguna de las cualidades mecánicas, eléctricas y químicas del cable a empalmar, esto es:

1- La conductividades de los conductores empalmados no debe ser inferior a la de un solo conductor sin empalmes de longitud equivalente, además, la conductividad de la cubierta de plomo (en los cables aislados con papel impregnado) y de la armadura metálica, no debe disminuir por efecto del empalme.

2- El aislamiento del empalme, ha de ser tan efectivo como el aislamiento propio de los conductores conservandose, por tanto las propie-



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

dades dieléctricas.

3- El empalme debe estar convenientemente protegido para evitar el deterioro mecánico y la entrada de humedad.

4- El empalme debe resistir los esfuerzos electromecánicos -- provocados al producirse un cortocircuito, así como el efecto térmico de las corrientes, tanto en régimen normal de servicio, como en caso de sobrecargas y cortocircuitos.

Existen diferentes tipos de empalme dependiendo de la naturaleza del aislamiento del cable. En cables aislados con papel, el empalme típico consta en esencia de una caja o manguito relleno de pasta aislante, la envoltura del cable se suelda al manguito a fin de impedir la entrada de humedad hacia el cable.

Dado que el papel impregnado es muy higroscópico se toman --- precauciones especiales para evitar la entrada de humedad en el momento de hacer el acoplamiento.

Es muy común que para lograr una protección contra esfuerzos mecánicos se ponga una segunda caja sobre la anterior.

Como en cables con aislamiento elástico o plástico el problema de la humedad no es predominante, la elaboración del empalme es más sencilla, sin embargo es muy peligroso que queden atrapadas burbujas de aire en el tramo de empalme.

En muchos casos para las mismas condiciones de servicio el seleccionar entre uno u otro tipo de aislamiento radica en la sencillez del empalme, es por esto que una de las causas de que actualmente se use el cable aislado con plástico o material elástico que la sencillez del empalme a base de polímeros.

La cubierta de plomo y la pantalla metálica además de dar una protección mecánica del cable produce como ya se vió una distribución radial del campo eléctrico.

Las condiciones eléctricas de un cable que tiene cubierta de plomo ó pantalla son muy severas cuando este es cortado bruscamente.

En el punto de corte el potencial del conductor será el mismo que la tensión a la que se trabaja, mientras que el potencial de la cubierta es cero. Sin embargo entre estos se presentan infinitas superficies equipotenciales.

Tal como se ve en la figura 3.1 el campo eléctrico se concentra fuertemente en el borde de la cubierta y se va dispersando gradualmente a lo largo del extremo del cable desprovisto de cubierta. En la figura se aprecia como se distribuye el campo eléctrico a través de los dos dieléctricos aire y aislamiento dentro del cable, analizando esta distribución se aprecia como la tensión por unidad (intensidad de campo) sobre el aislamiento es muy grande en el borde de la cubierta metálica B y decrece enormemente al llegar a la punta A.

Se demuestra que cuando se presenta este caso en un cable con cubierta, la formación de fluvios, rebado del arco y otros fenómenos indeseables hacen su presencia, estos fenómenos están producidos porque -- el gradiente del campo eléctrico sobrepasa el límite de la rigidez dieléctrica del aire sobre la superficie aislante en las proximidades de la cubierta metálica. Por otro lado si la longitud entre el punto A y B del cable desnudo, fueran suficiente para impedir el arco entre A y B los fluvios producidos alrededor del aislamiento cercano a B, llegaría a provocar la perforación y eléctrica en este punto.

Todo lo anterior nos indica que circunstancias normales de funcionamiento, el aislamiento en las proximidades de la zona donde termina la cubierta de plomo está sometido a un gradiente no uniforme de campo eléctrico el cual es muy superior al resto del cable, es por esto que esta zona está expuesta a que se produzca una perforación por sobretensiones a causa de envejecimiento prematura del aislamiento, presencia de humedad, etc.

Es por esto que cuando un cable de alto voltaje con pantalla sobre al aislamiento es terminado ó unido, la concentración alta de esfuerzos eléctricos en la terminación de la pantalla tiene que ser propia y adecuadamente redistribuida para evitar altas áreas de esfuerzo.

Convencionalmente la manera en que tienen que ser terminado un cable a fin de uniformizar esfuerzos es por una extensión de la pantalla del aislamiento con materiales conductores formando un relieve cónico, el espacio entre este relieve cónico de esfuerzos y el aislamiento del cable deberá ser llenado con material aislante.

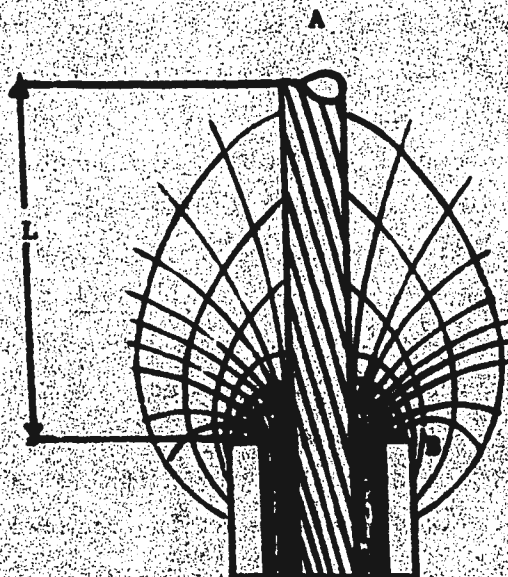


Fig. 3.1 Distribución de Campo Eléctrico de un cable desprovisto de cubierta.

Es conveniente que el relieve cónico de esfuerzo además de estar en contacto físico con la pantalla quede en contacto con una corta longitud inmediata adyacente a la terminación de la pantalla como un recurso para proveer conexión adecuada con la pantalla.

Cuando una terminal ó unión es construida en el campo de materias como cintas aislantes y conductoras, epóxis, gels, etc., la distribución de esfuerzos y los efectos corona son dependientes de los hombres que implementan el relieve, por consiguiente deberá ser construida con arte a fin de que tenga niveles aceptables de funcionamiento.

Accesorios moldeados para cables vinieron a dar más ventajas que los anteriores, estos accesorios fueron diseñados por estudios-

de laboratorio aunados a los conocimientos obtenidos del campo. Hoy en día niveles aceptables de funcionamiento dependen del control de calidad de -- los fabricantes de terminales.

Para dar una idea de los gradientes de potencial que existen en sistema de distribución subterránea se calculan los esfuerzos eléctricos en cables de uso común usando la siguiente fórmula:

$$E_x = \frac{V}{X L_D \left(\frac{R}{r} \right)}$$

Donde:

- E_x - Esfuerzos eléctricos en el punto X en volts/mils.
- X - Distancia del punto x al centro del cable en mils.
- V - Voltaje aplicado en volts.
- R - Radio del cable sobre el aislamiento.
- r - Radio del cable conductor.

Las tablas siguientes dan valores de esfuerzo en volts/mils.- para cables comunes.

Talla del conductor	15 KV		25 KV	35 KV
	175 mil aislam.	220 mil aislam.	260 mil aislam.	345 mil aislam.
2	69	60	91	-
1/0	64	55	83	99
4/0	58	50	76	87
500 MCM	53	45	67	73
1,000 MCM	50	42	62	71

Tabla 3.1 Esfuerzo para el cable conductor V/mil.

Talla del conductor	15 KV		25 KV	35 KV
	175 mil aislam.	220 mil aislam.	260 mil aislam.	345 mil aislam.
2	29	24	31	-
1/0	30	24	33	33
4/0	33	26	36	36
500 MCM	36	28	39	37
1,000 MCM	37	30	42	43

Tabla 3.2 Esfuerzo para la pantalla Volts/mil.

Esos valores por supuesto, son validos para una longitud continua del cable con pantalla, tan pronto como el cable con pantalla este terminado, la distribución de esfuerzos no permanece longitudinal al mismo y una alta concentración de esfuerzo tiene lugar en donde el escudo termina (ver figura 3.1).

3.2 Conos de Esfuerzo.

La figura 3.2 muestra un cono de esfuerzo moldeado sobre la terminación de un cable, en ella se puede apreciar la distribución de líneas equipotenciales así como las líneas de flujo.

Como se puede apreciar el gradiente de potencial sobre el aislamiento se va reduciendo a medida de que nos alejamos de la pantalla

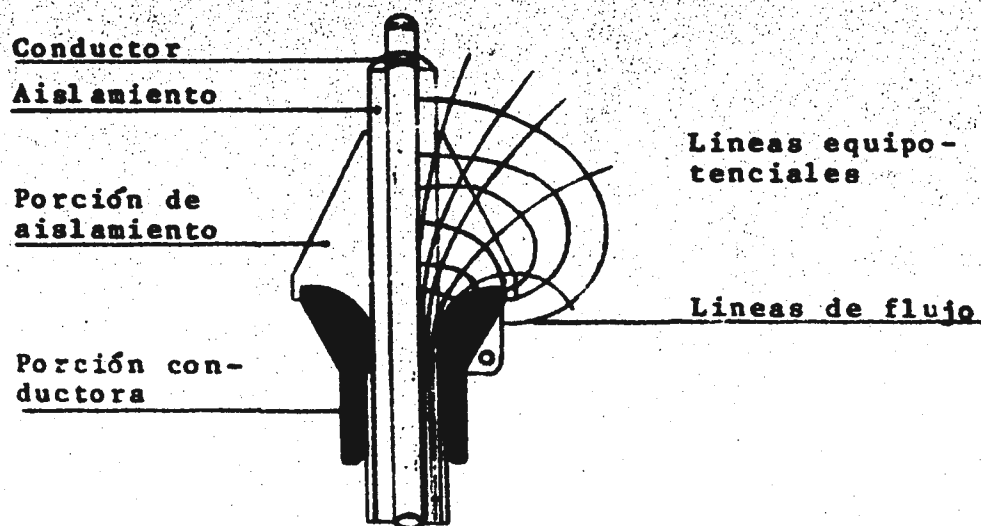


Fig. 3.2 Cono de esfuerzo

lla de aislamiento.

La terminal en realidad alivia al aislamiento del cable de algunos esfuerzos más allá de la pantalla protectora.

Esfuerzos eléctricos para el cable con pantalla, dentro de la terminal, sobre la superficie y fuera de la terminal son dados en la tabla 3.3.

Detalle del Cable

Localización del esfuerzo.	.500 del diámetro del conductor; .175 del aislamiento; 8.7 KV a tierra.	.320 del diámetro del conductor; .260 del aislamiento; 19.9 KV a tierra.
En la terminación del aislamiento del cable entre fase.	26	30
Dentro de la terminación.	22	30
Sobre la superficie de la terminación.	10	20

El cono de esfuerzos moldeado es el más sencillo, este tipo de cono queda justo al aislamiento logrando con esto una terminación libre de esfuerzos que dañen al aislamiento.

El cono de esfuerzo de la figura 3.2 posee dos secciones, una de ellas es de material conductor y la otra es de material aislante.

El nivel más bajo es la porción conductora, esta va unida a la pantalla del aislamiento y como se ve desplaza a la uniformidad del campo eléctrico más allá de la terminación de la pantalla del conductor. Esto se aprecia comparando la figura 3.1 con la figura 3.2.

La porción aislante del cono queda totalmente en contac

to con el aislamiento del cable quedando justa, a fin de que no exista - aire entre estas partes pues la presencia de este, deterioraría al aisla- miento como se vió anteriormente.

El modo de empalmar este cono es sencillo solo hay que deslizarlo sobre el aislamiento hasta topar con la pantalla del aisla- miento, lo ajustado que queda elimina todo el aire al irlo deslizando.

El cono tiene una interferencia cuando esta topa con - la pantalla del aislamiento el cono ya no se desliza.

En las figuras 3.3 y 3.4 se aprecia la disposición de- conos de esfuerzo en un manguito terminal.

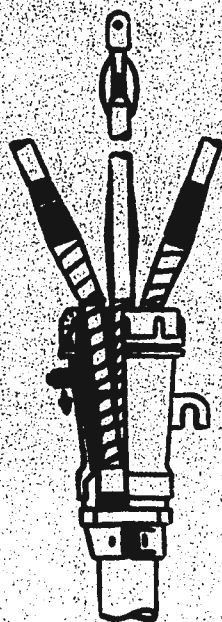


Fig. 3.3 Disposición de los Conos de efluvios en un manguito terminal para interior y cable aislado con plástico.

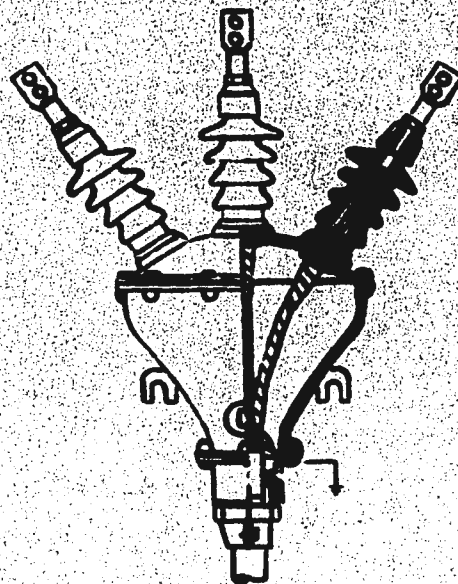


Fig. 3.4 Disposición de los Conos efluvios en manguito terminal para intemp. y aislado con papel imp.

3.3 Manguitos terminales

Los manguitos terminales sirven para conectar los extremos de los cables subterráneos a equipos de consumo tales como disyuntores, transformadores, generadores, motores eléctricos, otras líneas eléctricas aéreas o interiores, a estaciones transformadoras, líneas aéreas de distribución, etc.

Este tipo de manguitos son fabricados para interior o para intemperie y dependiendo de la tensión de servicio serán menos o más complejos.

Los manguitos para interior se usarán en el interior de edificios, por ejemplo en centrales, estaciones transformadoras, fábricas, etc.

Los manguitos terminales para intemperie son para usarse en aire libre como ejemplo a líneas eléctricas aéreas, estaciones transformadoras y de distribución al aire libre, etc., es por esto que deberán ser diseñados de tal forma que eviten que el agua penetre al interior del manguito.

Cuando un cable está terminado al aire libre sobre un poste está expuesto a contaminantes muchos de los cuales son corrosivos o conductivos, estos al depositarse sobre la superficie del cable causan un arco entre contaminante y conductor que a la postre deteriora la pantalla ocasionando en última instancia una falla en la terminación. Consecuentemente cuando un cable es terminado de este modo una relieve de esfuerzo es necesaria.

Las figuras 3.3 y 3.4 muestran dos tipos de manguitos terminales.

Los manguitos terminales clásicos (figura 3.5) están constituidos por una caja hermética de hierro fundido o de aleación de aluminio, rellena de pasta y en la que el cable entra por la parte inferior y por parte superior salen las terminales para empalmar, este paso se hace a través de aisladores cuya forma y constitución varía según la tensión de servicio y el tipo de instalación.

Para llenar estos manguitos se usa un embudo en la parte

inferior permitiendo que el aire salga por los orificios dispuestos en la parte superior.

Con este procedimiento se logra que la pasta suba lentamente sin que se forme torbellino en la propia pasta ni burbujas o cavidades de aire.

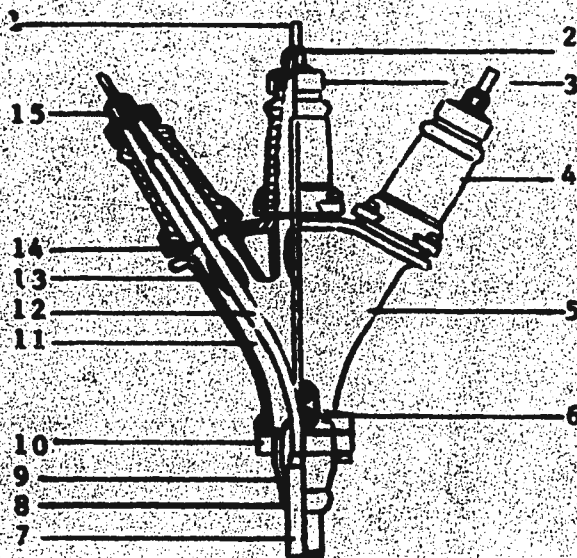


Fig. 3.5 Manguito terminal del alta tensión para interior y cables con aislamiento de papel impregnado. 1- Terminal. 2- Tuerca terminal. 3- Caperuza de protección. 4- Aislador. 5- Cuerpo del manguito. 6- Terminal de tierra. 7- Cubierta de plomo. 8- Cinta aislante impregnada. 9- Boquilla de unión al cable. 10- Brida de fijación del cable. 11- Pasta aislante de relleno. 12- Vena del cable. 13- Cono de efluvios. 14- Junta hermética. 15- Junta hermética.

Para los cables de 3 envolturas de plomo las terminales tienen una construcción muy especial. La fig. 3.6 muestra una terminal de este tipo, como se aprecia, cada una de las envolturas de plomo, esta unida a la parte inferior y en la terminación de la cubierta se forma un cono de alivio, este se forma añadiendo además de aislamiento, metal hasta la parte más gruesa del mismo, a fin de continuar la cubierta de plomo.

Para que el esfuerzo eléctrico disminuya se dispone de un anillo de radiación en la parte más gruesa del cono.

Las terminales prefabricadas generalmente están compuestas de un material aislante y un conductor la figura 3.7 muestra una terminal prefabricada sencilla y fácil de instalar. Su instalación no requiere de líquido epóxico ni de mecanismo especiales para hacer ensamblado ya que los hay que necesitan de estos.

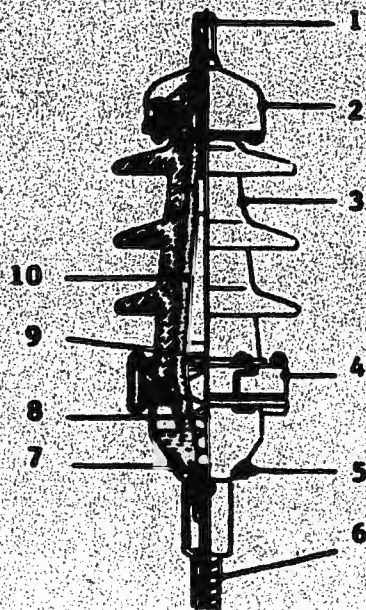


Fig. 3.6 Disposición de un terminal para intemperie y cable con aislamiento de papel impregnado de envolturas (cable triplomo).
 1.- Terminal. 2.- Caparuzza protectora. 3.- Aislador. 4.- Anillo de compresión. 5.- Terminal de tierra. 6.- Tubo flexible -- protector. 7.- Tapón de vaciado. 8.- Cono de esfuerzo. 9.- Anillo de radiación. 10.- Aceite o pasta de relleno.

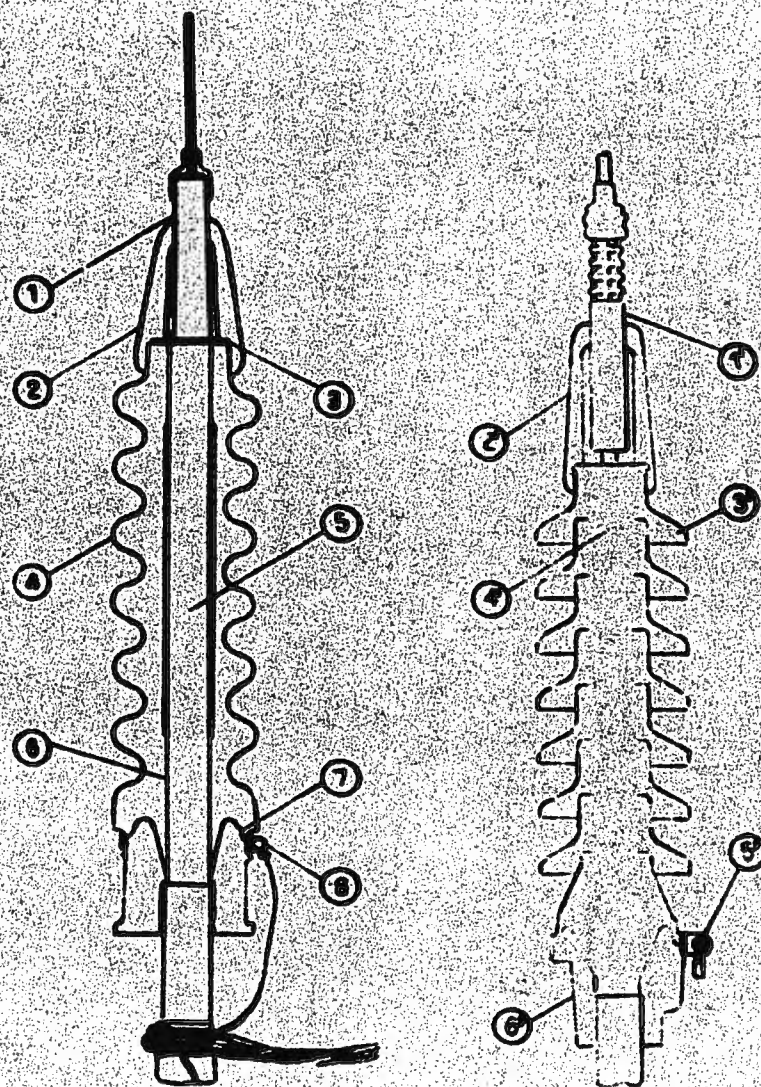


Fig. 3.7 Terminales. 1.- Terminal ensamblada. 2.- Cubierta de hule moldeada. 3.- Retenedor de agua. 4.- Protector de hule. - 5.- Aislamiento del cable. 6.- Cubierta para interferencia $\frac{1}{2}$ 7.- Cono de alivio de esfuerzos. 8.- Conexión a tierra. 1'- Contactos metálicos. 2'- Casquete de hule. 3'-Modu los protectores de hule. 4'- Aislamiento del cable. 5'- Conexión a tierra. 6'- Alivio de esfuerzos.

3.4 Manguitos de Empalme.

La conexión de ramales rectos de cables se realizan por manguitos empalme.

Si la corriente que circula por el cable es continúa ó si el cable es trifásico y circula corriente alterna los manguitos de empalme se construyen de fundición de hierro, esto se debe a que el campo magnético resultante es nulo.

Para cables que trabajan con corriente alterna monofásica generalmente se usan manguitos contruidos de metal no magnético como plomo, aluminio o cobre, actualmente los manguitos de empalme contruidos con materiales plásticos son los de más uso de estos hablaremos más adelante.

Los conductores son unidos mediante manguitos o conectores de cobre o de aluminio, según sea el material de conductor. En el interior de la caja se disponen separadores de material aislante los cuales sirven para mantener la distancia necesaria entre las fases. La continuidad eléctrica de la envoltura de plomo del cable se logra por un puente de cobre adecuado a la sección y tensión del cable el cual une a las dos secciones de cable a ambos lados del empalme. La caja de hierro fundido que cubre al conductor se rellena con pasta aislante, para lo cual, en su parte superior tienen dispuesto un orificio con tapón roscado.

Para tensiones de servicio hasta 1 KV, es necesaria la reconstitución de los aislamientos que constituyen los conductores, estos en la zona de empalme los conductores están desnudos, convenientemente distanciados por los separadores y sumergidos directamente en la mezcla aislante que rellena la caja de empalme.

Para tensiones de servicio superiores a 1 KV la reconstitución se hace necesaria y esta se logra por medio de canutos de papel sometidos a tratamientos especiales.

Para tensiones de servicio a partir de 10 KV hay que montar siempre un manguito interior de plomo a fin de lograr una continuidad de los dos extremos de los cables a soldar, el cual además proporciona un sello contra la humedad en la zona del empalme por lo que han de instalarse en terrenos húmedos. De este modo el manguito interior protege

contra la humedad y el manguito exterior contra los esfuerzos mecánicos.

Para cables subterráneos trifásicos con envoltura de plomo cada una de sus fases deben empalmarse individualmente, un manguito de este tipo se representa en la figura 3.8, cada conductor lleva un manguito de plomo y el conjunto se introduce en la caja exterior la que es llenada de pasta aislante.

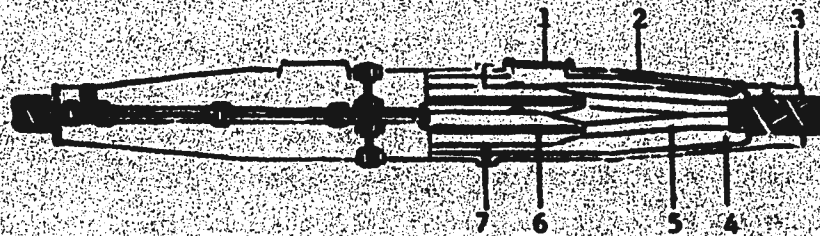


Fig. 3.8 Manguito de empalme para cable con aislamiento de papel impregnado y tres envolturas de plomo (cable triplomo). 1- Tapa. -- 2- Caja exterior de empalme. (fundición de hierro). 3- Brida. 4- Pasta aislante de relleno. 5- Venas de cable. 6- Manguito interior de plomo. 7- Toma de tierra.

Modernamente los manguitos de empalme de material plástico a base de resinas epóxicas y sintéticas son los más usuales. Estos empalmes son aplicables a todos los tipos de cables subterráneos y para tensiones de rango variado, las figuras 3.9 y 3.10 muestran un empalme de resinas sintética de montaje en campo, este empalme se logra con un molde adecuado al que se introducen resinas base y endurecedor.

Un empalme prefabricado típico se ilustra en la figura 3.11 este tipo de empalme no tiene las desventajas que el encintado pues en el primero el diseño está predeterminado para controlar esfuerzos por el mismo principio del cono de esfuerzos; el segundo tiene las desventaja

de ser asimétrico por ser hecho a mano.

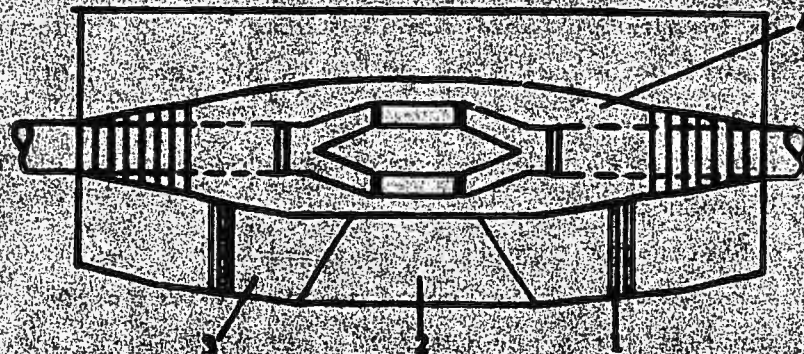


Fig. 3.9 Manguito de empalme SIBENS de resina sintética para cables con aislamiento de plástico o caucho butílico y tensiones de servicio hasta 10 KV. 1- Rabonadero. 2- Rabado de llenado. 3- Molde (a quitar después de afectando el empalme). 4- Manguito de empalme.



Fig. 3.10 Aspecto exterior del manguito de resina sintética de la figura anterior.



Fig. 3.11 Empalme recto prefabricado.

Lo anterior ocasiona la concentración de esfuerzos en algunas secciones.

En el empalme prefabricado la protección del conector es de hule conductor incertado de tal modo que cubra el área conectora y parte del aislamiento del cable.

Debido a que el hule es conductor queda energizado al mismo potencial que el conductor.

La cubierta total de la unión es metálica y está en contacto con las pantallas de los aislamientos de los cables por unir, por lo tanto si las pantallas están puestas a tierra la cubierta también lo estará.

Bajo la cubierta y circundando la protección del conector se encuentra un relleno de hule que es liso y simétrico, este se pulsa todo el aire que pudiera quedar atrapado en el empalme.

Entre la cubierta total y la protección del conector se establece un campo eléctrico por lo tanto será forzoso que entre estos no exista aire atrapado ya que el hule que se encuentra entre estos se dañaría y produciría la falla del cable.

El aire es eliminado cuando el conector es empujado en su lugar, esto es debido a que el elastómero que cubre al conector es expandido ejerciendo una presión constante y uniforme sobre los 360° provocando además un sello contra agua.

Las propiedades elastómeras del hule que cubre al conector son notables pues permiten la expansión y contracción a medida que el cable presenta ciclos térmicos reteniendo la presión sobre los 360°.

3.5 Manguitos de derivación.

Estos manguitos son usados para derivar de un cable principal otro (s) secundario (s) por ejemplo en la acometida de usuarios. Casi siempre, los cables secundarios son de menor sección que el principal. Generalmente las derivaciones son simples para lo cual se usan manguitos en T y Y y de derivaciones dobles en las que se usan man

guitos en cruz y en doble Y.

En la figura 3.12 se muestra un manguito de derivación en T, en este tipo de manguito los conductores se cortan y se unen después entre sí mediante conectores en forma de T, soldados con aleación de estaño a las cuerdas de los cables. La continuidad eléctrica de las envolturas de plomo se logra mediante un puente metálico de cobre o aluminio dependiendo del material del cable.

El manguito es de hierro fundido y tiene un orificio con tapón roscado a fin de ser lleno con pasta aislante.

En la figura 3.13 se muestra un manguito de derivación en Y, en este tipo de manguito no es necesario cortar los conductores del cable principal, la unión se logra por medio de pinzas de conexión; la figura 3.14 muestra un croquis de estas pinzas.

En este tipo de manguito se usan cintas aislantes entre las pinzas y los conductores a fin de reconstituir el material aislante.

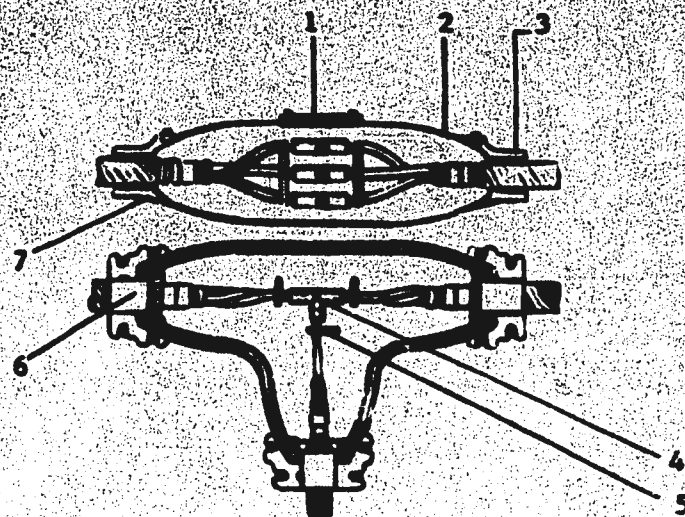


Fig. 3.12 Manguito de regulación T para cables con aislamiento de papel impregnado. 1- Tapa. 2- Caja de derivación. 3- Brida. 4- Conector. 5- Separador de fases. 6- Cinta aislante impregnada. ---- 7- Toma de tierra.

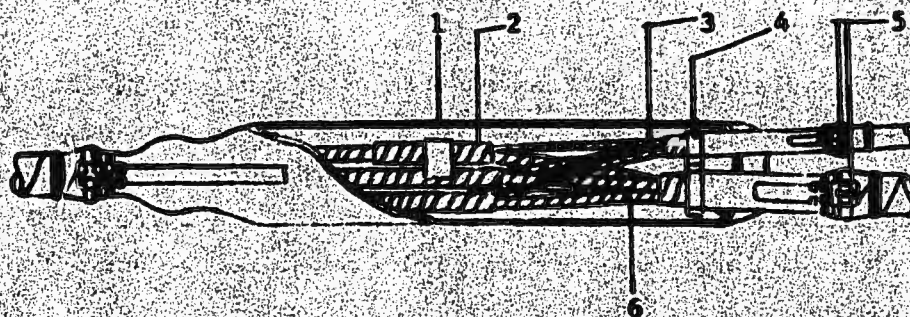


Fig. 3.13 Manguito de derivación en Y, para cables con aislamiento de papel impregnado. 1- Manguito de derivación (plomo). 2- Empalme. 3- Venas de cable derivado. 4- Separación de los cables con cinta aislante. 5- Abrazadera de conexión de la armadura. 6- Venas de cable principal.



Fig. 3.14 Pinza doble de conexión para manguito derivación en Y.

A continuación mencionamos algunas de las ventajas y desventajas que tienen los dos manguitos anteriores:

El manguito en Y ocupa menos espacio que el T además de tener un cierre muy bien dispuesto; en las derivaciones en Y resulta más difícil conseguir y comprobar las conexiones de las envolventes de los cables entre sí y con el manguito; si la soldadura del manguito en Y se efectúa con poco metal se pueden producir averías debidas a movimientos telúricos o efectos electrodinámicos de corrientes de cortocircuito.

En la figura 3.15 se muestra un manguito de derivación en cruz, este está hecho de hierro fundido con cuatro bocas, la unión de los conductores se logra con conectoras soldables a las cuerdas de los cables al igual que en casos anteriores los conductores son distanciados por separadores, las envolturas de plomo son unidas con una pletina metálica y el manguito es llenado con pasta aislante.

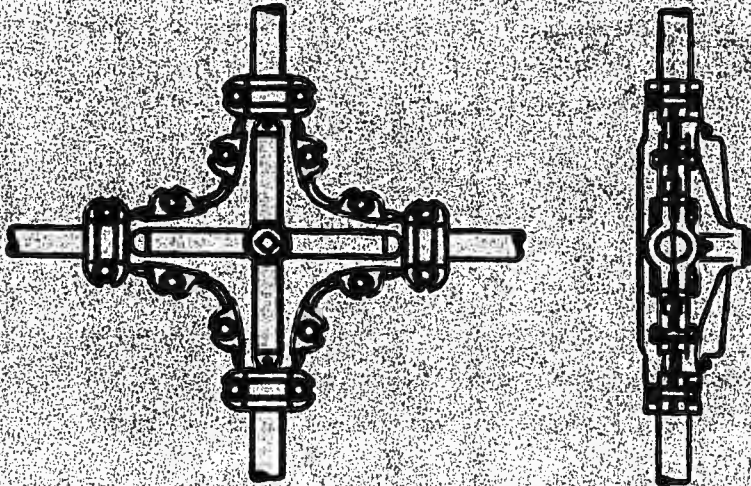


Fig. 3.15 Manguito de derivación en cruz, para cables con aislamiento de papel impregnado y funciones de servicio hasta 1 KV.

La figura 3.16 muestra un manguito de derivación en doble Y el cual es en todos semejante al manguito de derivación en Y excepto en su disposición constructiva.

Las ventajas y desventajas asignadas a los manguitos - Y y T son validas para los manguitos Y y cruz.

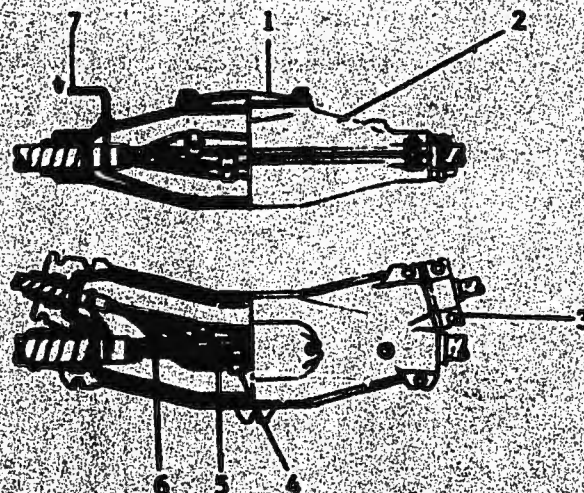


Fig. 3.16 Manguito de derivación en doble Y, para cables con aislamiento de papel impregnado y tensiones de servicio hasta 1 KV.
 1- Tapa. 2- Caja de derivación (fundición de hierro). 3- Brida. 4- Separador de fases. 5- Venas del cable derivado. 6- Venas del cable principal. 7- Toma de tierra.

3.6 Plug y Receptáculo.

Para una mejor comprensión de este mecanismo se muestra la siguiente figura 3.17.



Fig. 3.17 Plug y receptáculo.

Como se puede apreciar este accesorio se compone de --

* Entiendase por plug a la clavija conectora " macho "

dos secciones y tiene un enorme parecido con el empalme recto.

Método de apareamiento: El conector propiamente dicho consta de un alfiler y un enchufe para el alfiler, estos son rizados en la parte final de los conductores que se van a unir.

El plug y receptáculo son deslizados sobre el aislamiento de los cables quedando tan ajustados que no permiten que quede aire atrapado.

La porción de hule conductivo del mecanismo queda sellado con la pantalla y el material aislante queda sellado con el aislamiento del cable.

Hasta el momento el armado corresponde a la figura, - para unir las dos partes solo se tiene que introducir el plug en el receptáculo hasta que un anillo que contiene el alfiler penetre en la enidura que se encuentra en la cara interna del enchufe.

Es conveniente que al unir las dos partes del empalme el hule del mecanismo elimine todo el aire que pudiera estar sujeto a - gradientes de potencial.

3.7 Receptaculo de codo y Bujia.

La bujia y el receptáculo de codo se muestran en las figuras 3.18 y 3.19 son en si una extensión de los conceptos de Plug y receptáculo básico.

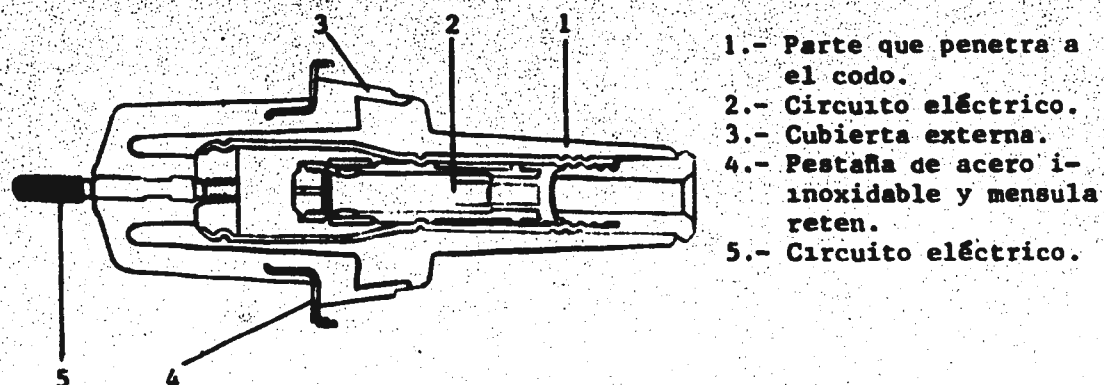


Fig. 3.18 Bujia

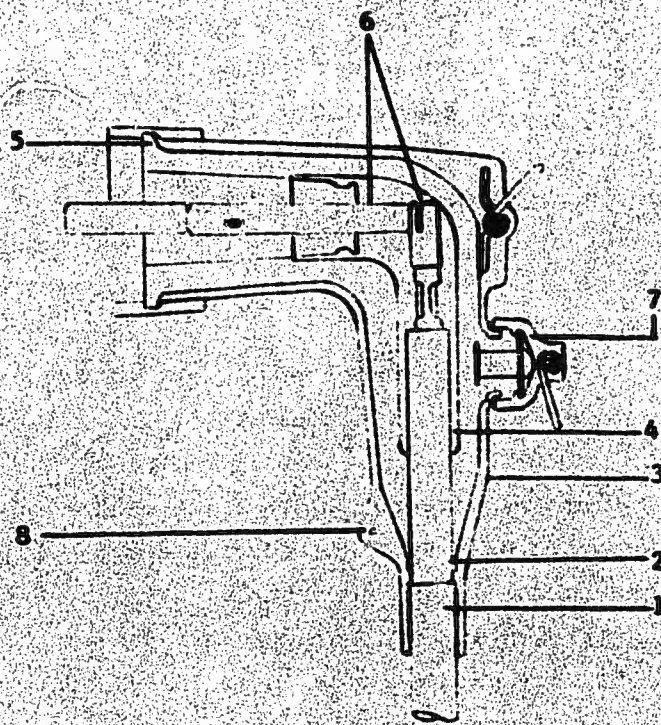


Fig. 3.19 Receptáculo de codo. 1.- Parte deslizable sobre el cable monofásico. 2.- Cono de alivio de esfuerzos. 3.- Cubierta externa. 4.- Cubierta interna. 5.- Parte deslizable sobre la bujía. 6.- Circuito eléctrico. 7.- Punto de prueba de voltaje. 8.- Conexión de tierra.

C A P I T U L O I V

N O R M A S

Desde hace una generación, la normalización es un elemento esencial en el desarrollo moderno de la Economía y de la Técnica. No solo constituye una medida de tipo económico material, sino también un medio de simplificar y aligerar el trabajo espiritual y corporal del hombre, de introducir en su existencia orden y seguridad, y de crear excelentes posibilidades de mutua comprensión.

Las normas, representan la unificación creada por el trabajo en común de todos los participantes, y sirve como fundamento para el orden y el fomento de la producción en la técnica, en la administración, en la economía y en las ciencias científicas.

La misión más importante, consiste en la confección de ordenanzas, especialmente de seguridad, para proteger al público y los objetos materiales contra peligros que puede acarrear la utilización de la corriente eléctrica.

Las normas ofrecen medidas de seguridad, así como la consecución adecuada de funcionamiento en la producción, transporte y empleo de la energía eléctrica. Contienen asimismo preceptos para evitar perturbaciones en las instalaciones, contribuyendo de un modo indirecto a la seguridad de éstas y a la de los aparatos de consumo. Además, tienden a procurar las soluciones más favorables desde el punto de vista técnico - económico.

Las normas se refieren, entre otras cosas a:

- 1) Determinación de conceptos y designaciones:
por ejem. para productos y métodos.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

2) Bases de cálculo, unidades y magnitudes formales:
por ejem. para la construcción.

3) Formas y dimensiones:
por ejem. para piezas sueltas, aparatos y máquinas.

4) Condiciones de calidad y de suministro:
por ejem. para materiales, productos fabricados y se-
mielaborados.

5) Distintivos:
por ejem. para líneas, embalajes.

6) Materiales:
por ejem. de máquinas o de prendas de vestir.

7) Métodos:
por ejem. métodos de medida, prueba, cálculo
y fabricación.

8) Preceptos, indicaciones y fundamentos:
por ejem. indicadores sobre engrase de máquinas y
vehículos, medidas de seguridad.

Realización de las normas.-

Las normas se elaboran actualmente, por mas de 100
comisiones normativas profesionales y comisiones de trabajo,
independientes, junto con otras agregadas, que rebasan el nú-
mero de 800 comisiones.

Extensión de normas.-

En general las normas son reglas adoptadas, que to-
dos deben sentirse obligados a cumplir. Por encima de esto --
los órganos gubernativos competentes pueden declarar algunas
de esas normas como "obligatorias" dentro de un campo más o -
menos amplio.

4.1 Normalización de los cables

Usualmente se consigue satisfactorio, si se establecen un mínimo de especificaciones que cubran con toda rigurosidad la construcción del cable, en lugar de pedir un cable simplemente por su clasificación de voltaje, como comúnmente se suele expresar en el lenguaje técnico.

Actualmente hay dos grandes organizaciones industriales que especifican espesores de aislamientos en cables de energía; una es la Asociación de Ingenieros en Cables Aislados de Potencia (Insulated Power Cable Engineers Association, IPCEA) compuesta por representantes de fabricantes de cables, y la otra es la Asociación de Compañías de Iluminación Edison (Association of Edison Illuminating Companies, AEIC) que representan a la mayoría de inversionistas propietarios.

Usando el cable de 15 KV, como un ejemplo, IPCEA reconoce dos diferentes tipos de magnitudes de espesores, uno es 100%, indica un 0.175" de espesor de aislamiento, el cual es comúnmente aceptado para sistemas con neutro aterrizado.

Para sistemas con neutro no aterrizado, el 133% de nivel de aislamiento indica un 0.215" de espesor de aislamiento.

La especificación No. 5-69 (segunda edición) de AEIC reconoce dos diferentes espesores para cada nivel de aislamiento. Para usuarios que de alguna manera están familiarizados con el aislamiento extruido y en la confiabilidad de sus sistemas de protección, el 100% de nivel de aislamiento indica 0.175" de espesor, y el 133% de nivel de aislamiento, indica 0.220" de espesor. Aquellos que deseen un mayor factor de seguridad en cualesquiera de los dos niveles de aislamiento, por la falta de seguridad en el aislamiento o debido a las posibles sobretensiones en el sistema encontramos que AEIC enlista un 0.220" de espesor de aislamiento para 100% de nivel de aislamiento.

y un 0.280" de espesor para el 133% de nivel.

Existen dentro de las normas estándares de construcción y pruebas aplicados a alambres y cables aislados que son usados para la transmisión y distribución de energía eléctrica en condiciones normales de servicio e instalación, ya sean aéreos, subterráneos o submarinos.

En la clasificación de chaquetas y escudos en los estándares, el término "chaqueta" es referido a cubiertas no metálicas y el término "escudo" a cubiertas metálicas continuas.

En los estándares las unidades son expresadas en el sistema inglés, además como información las equivalencias métricas son incluidas. Dichos estándares cubren los requerimientos para conductores como son los variados grados de aislamiento y las diversas cubiertas protectoras en general, los detalles de construcción y dimensiones comunes a los mas típicos alambres y cables. La construcción de requerimientos específicos se deberá tratar directamente con los departamentos Técnicos.

En los requisitos propuestos para la manufactura del cable, el respectivo comprador dará la información subsecuente:

1) Características del sistema en el que el cable será usado :

- a) Corriente alterna o directa
- b) Frecuencia en Hertz (ciclos por segundo, CPS)
- c) Voltaje normal de operación ya sea entre fases o entre conductores si es corriente directa
- d) Número de fases
- e) Nivel de aislamiento del cable
- f) Temperatura mínima en la que el cable será instalado

g) Descripción de la instalación:

- en construcciones
- en ductos subterráneos
- aéreos
- enterrados directamente en tierra

- submarinos,
- etc.

h) Condiciones de instalación

- temperatura ambiente
- números de cables en ductos o conduits metálicos encerrado o libre, espaciamiento entre conduits etc.
- factor de carga
- método de ligado y aterrizado de las cubiertas metálicas, incluyendo escudos
- especificar tipo del lugar, es decir si es húmedo o seco

2) Descripción del cable

- a) Número total de metros
- b) Tipo de cable; si es un conductor simple, varios conductores ya sean planos o redondos, etc.
- c) Valor de voltaje de fase a fase
- d) Tipo de conductor; cobre o aluminio
- e) Tamaño del conductor, AWG o circular mils
- f) Grado de aislamiento
- g) Grueso del aislamiento en mils
- h) Tipos de las otras cubiertas
- i) Método de identificación del conductor

4.2 Designación de los cables subterráneos

Las normas UNE han establecido una designación abreviada para los cables subterráneos, de forma que puedan ser fácilmente identificados antes de su montaje, esta designación se efectúa por medio de siglas que nos indican las siguientes especificaciones:

- a) Tipo constructivo del cable
- b) Número, sección nominal, naturaleza y forma de los conductores
- c) Tensión nominal en KV

a) El tipo constructivo se designa por un grupo de letras que caracterizan los elementos principales constitutivos del cable, en el orden sucesivo tecnológico de su elaboración.

La primera letra caracteriza el tipo de aislamiento de los conductores, sobreentendiéndose los eventuales rellenos en los cables multipolares. Para identificar estos aislamientos, se emplean las siguientes letras:

- P = Papel impregnado
- V = Policloruro de vinilo
- E = Polietileno
- R = Polietileno reticulado
- C = Caucho natural vulcanizado
- B = Caucho butílico
- K = Caucho de silicona
- L = Etileno propileno

La segunda letra indica si el cable tiene pantalla, y se emplean las siguientes letras o indicaciones:

- Sin indicación = no apantallado
- H = Pantalla

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

- P = Tubo continuo de plomo
- AL = Tubo continuo liso de aluminio
- A = Tubo corrugado de aluminio
- C = Tubo corrugado de cobre

En el caso de cables múltiples de almas con envoltura individual, el número de aquellas precederá a la letra que caracteriza la naturaleza de la envoltura.

Las restantes letras de la designación indican las

diferentes y eventuales protecciones mecánicas, químicas, etc; necesarias para el buen servicio del cable. No se designan los correspondientes separadores y asientos de armadura (cintas de papel impregnado, cintas de tela, capas de fibras textiles impregnadas, etc).

Los símbolos utilizados coinciden con los de los aislamientos que figuran en primer lugar, su situación en el conjunto de la designación, indicará donde está empleado el revestimiento correspondiente.

Las armaduras se designan con las siguientes letras:

F = Flejes de acero

FA = Flejes de aluminio

H = Alambres de hierro

HA = Alambres de aluminio

Q = Pletinas de hierro

QA = Pletinas de aluminio

La última letra de la designación, indica la naturaleza de la cubierta exterior, de acuerdo con los siguientes símbolos:

J = Fibras textiles impregnadas.

V = Policloruro de vinilo

G = Caucho natural vulcanizado

N = Neopreno o equivalente

K = Caucho de silicona

b) En las indicaciones relativas a los conductores se expresa:

- 1- La cifra que corresponde al número de conductores seguida con una X.
- 2- La sección nominal de un conductor expresada en mm^2 .
- 3- En el caso de cables multipolares de almas con envoltura metálica individual, se indicará un conductor (1), seguido del signo X y de la sección nominal dado ello dentro del paréntesis, precedido por el número total de sus envolturas metálicas.
- 4- La forma de las cuerdas de acuerdo con las indicaciones siguientes:

Sin indicación = cuerda convencional

c = cuerda compacta

s = cuerda sectorial

- 5- El material constituyente de los conductores según las siguientes indicaciones:

Sin indicación = cobre

Al = aluminio

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

A continuación algunos ejemplos de designación de cables subterráneos:

- Cable unipolar, con conductor de aluminio de 95 mm^2 de sección transversal, en cuerda compacta, aislamiento de papel impregnado bajo tubo corrugado de aluminio, con cubierta de fibras textiles, para tensión nominal E_0 de 3.6 KV

Cable PAJ 1X 95 c AL 3.6/6 KV

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

Cable PPFV 3 X 35 s 6/10 KV

- Cable tripolar con tres tubos de plomo, conductores de cobre de 70 mm^2 de sección transversal cada uno, aislamiento de papel impregnado, armadura de alambres de hierro con cubierta exterior de fibras textiles impregnadas para tensiones E_0/E de 18/30 KV.

Cable P3PMJ 3 (1X70) 18/30 KV

- Cable tetrapolar, conductores activos de cobre de 50 mm^2 de sección transversal cada uno, conductor neutro de cobre de 25 mm^2 de sección transversal, aislamiento de gaucho butílico, envoltura de neopreno, armadura de pletinas de hierro, cubierta exterior de neopreno, para tensiones -- E_0/E 0.6/1 KV.

Cable BNQN 3 X 50 + 1 X 25 0.6/1 KV

Cable tripolar apantallado, conductores de aluminio de 70 mm^2 de sección transversal cada uno, aislamiento de polietileno reticulado, envoltura de policloruro de vinilo, armadura de flejes de acero, cubierta exterior de policloruro de vinilo, para tensión de $E = 6 \text{ KV}$.

Cable RHVPV 3 X 70 AL 6/10 KV

Para completar estos conceptos, en todos los ejemplos constructivos de cables que hemos expuesto en el párrafo anterior, se indican las correspondientes designaciones UNE además, en la figura 4.1 se resumen las designaciones de los cables subterráneos, según las normas UNE.

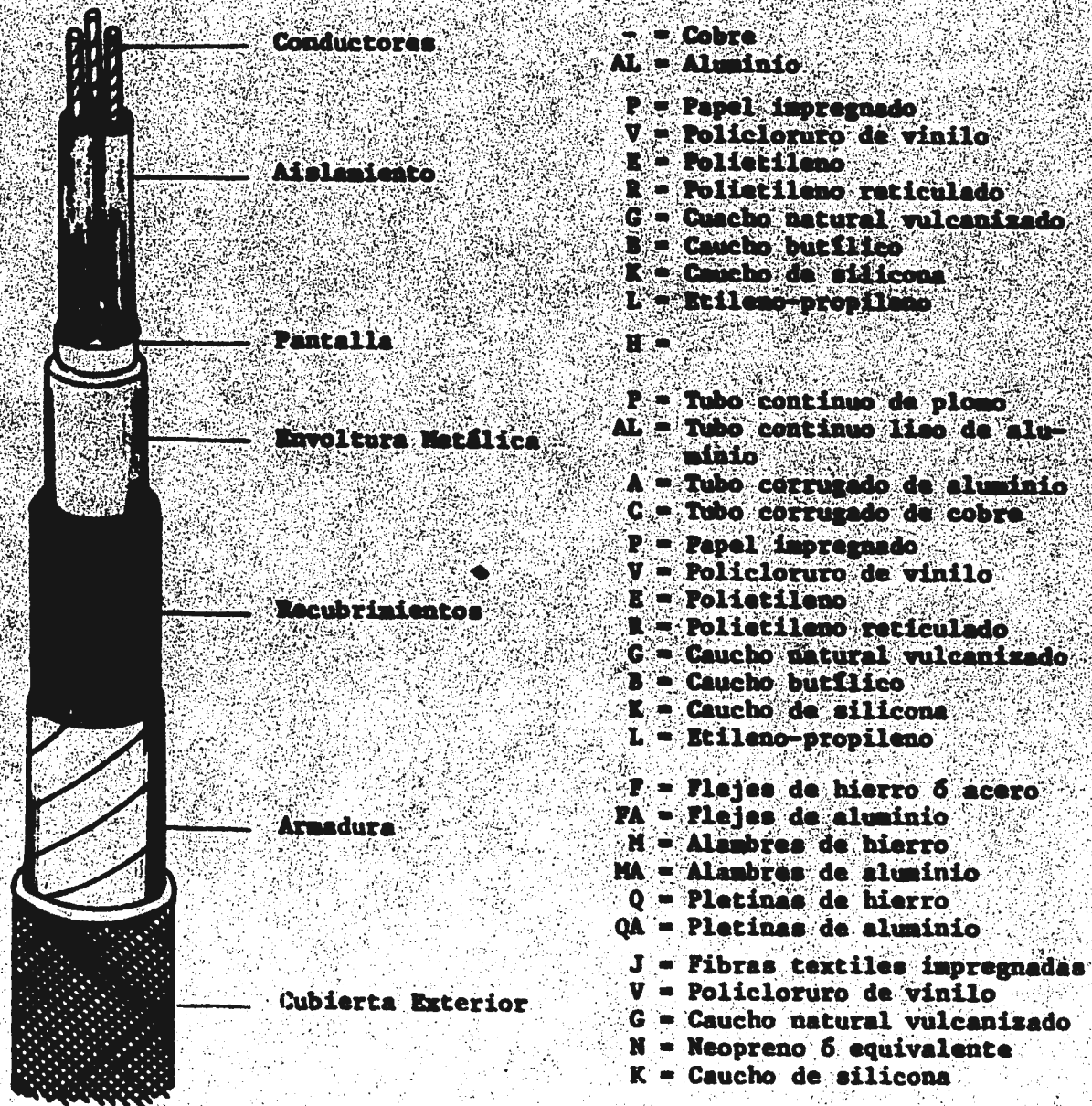


Fig. 4.1 Resumen de las designaciones de cables subterráneos según Normas UNE.

CAPITULO V

PRUEBAS Y METODOS DE PRUEBA

Este capítulo tiene como propósito describir las pruebas generales realizadas sobre cables eléctricos de potencia de conductores con aislamientos, termoplásticos, termofijos y de papel impregnado.

La mayoría de las pruebas descritas son pruebas tanto de campo como de control de calidad en su elaboración.

Las pruebas físicas realizadas sobre materiales termofijos y termoplásticos, tienen como finalidad la determinación del estado en que se encuentran éstos materiales, ya sea en el momento de su fabricación o después del deterioro ocasionado por el uso y factores ambientales.

También es necesario comprobar que los materiales y espesores, cumplen con las normas establecidas entre el fabricante y el comprador con respecto a la resistencia de los aislamientos, rigidez dieléctrica, y en general sobre las características de aislamiento.

Otras de las pruebas desarrolladas son para las chaquetas termoplásticas ya que con el tiempo pierden sus características elásticas y esto puede ocasionar fractura en el aislamiento y por lo tanto degradación del mismo.

Se ha puesto especial énfasis en las pruebas eléctricas, ya que la finalidad de los conductores es precisamente la de transportar la energía eléctrica y para poder llevar a cabo ese objetivo es necesario que su aislamiento soporte la tensión específica para la cual va a ser utilizado, así como las descargas atmosféricas a las cuales están sujetos.

Estas descripciones se han acompañado de algunas tablas en lo que ha sido posible para dar idea de la magnitud de las cifras que se están manejando.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

5.1 Resistencia Óhmica de Conductores.

La medición deberá ser hecha sobre una muestra con una longitud mínima de 30.5 cm., seleccionada de acuerdo con la tabla 5.1, o cubriendo todo el largo del cable terminado.

Cuando la resistencia nominal es menor que 1 ohm la medición deberá ser hecha con un puente tipo Kelvin o un potenciómetro. Cuando la resistencia nominal es de 1 ohm o más, la medición deberá ser hecha con un puente tipo Kelvin, un puente de Wheatstone o un potenciómetro.

Si se requiere verificación para la resistencia óhmica del conductor terminado a través de toda su longitud, deberá ser cortada — una muestra con una longitud mínima de 30.5cm., del carrete sometido a prueba y la resistencia óhmica de cada conductor deberá ser medida con un puente tipo Kelvin o un potenciómetro.

Cuando las mediciones son hechas sobre una muestra ya sea medición original o por verificación, se deberán tomar las siguientes precauciones:

- a) Los contactos de corriente, deberán tener hecha una vía, para asegurar esencialmente la densidad uniforme de corriente a través de los conductores.
- b) Cuando las guías de potencial son usadas, la distancia — entre cada contacto de potencial y el correspondiente — contacto de corriente, deberá ser igual o menor de una y media veces la circunferencia del espécimen.

Cuando un puente tipo Kelvin es usado, el yugo de resistencia (entre la referencia estandar y el espécimen de prueba) deberá ser apreciablemente menor de la referencia estandar.

- c) La distancia entre los electrodos de potencial deberá tener una aproximación de 0.05%. Para asegurar esta apro-

ximación, la superficie en contacto con el espécimen deberá ser sustancialmente una cuchilla filosa.

- d) La medición de la resistencia óhmica deberá ser hecha con una aproximación del 0.15%.

Para asegurar la correcta lectura, la referencia estandar y el espécimen de prueba deberán ser llevados a la misma temperatura del medio ambiente.

- e) En todas las mediciones de resistencia óhmica la corriente levanta la temperatura del medio ambiente, por lo tanto - la magnitud de la corriente deberá ser baja y el tiempo de aplicación corto.

- f) En las mediciones con puente, los contactos de potencial deberán tener la mínima resistencia posible. Si la baja resistencia en los contactos no es posible conseguir, se utilizarán circuitos correctivos de la resistencia de los contactos. Para eliminar errores sobre los contactos de potencial, dos lecturas deberán ser tomadas, una en directa y otra en inversa.

El material usado en los dos contactos de potencial deberá ser aquel que minimice el desbalance y si es necesario las superficies de los contactos deberán ser limpiadas.

M E T R O S	NUM. DE MUESTRAS
Menor que 600.	0
600 - 3000.	1
Cada 3000 o Fracción hasta 15 000.	1
Cada 15 000 Adicionales o Fracción.	1

Tabla 5.1 Cantidad ordenada de cable terminado.

5.2 Prueba de Resistencia a la tensión.

Objeto.

El objeto de esta prueba es determinar la resistencia a la tensión que tienen los aislamientos y cubiertas protectoras de conductores eléctricos antes y después de haber sido sometidos a un envejecimiento acelerado.

Requisitos para efectuar la prueba.

- 1- La temperatura ambiente deberá estar entre 20°C y 28°C.
- 2- Que la muestra no haya sido sometida a alargamiento previo ni sumergida en agua.
- 3- Las pruebas de las muestras sin envejecer y envejecidas, deberán ser sucesivas.
- 4- Las muestras deberán estar libres de defectos y daños mecánicos.
- 5- Las muestras deberán ser tomadas después de la vulcanización.
- 6- Que el período en que se efectúen las pruebas sea entre 24 hrs. y 60 días después de la vulcanización.

Aparatos y Equipos.

- a) Máquina para medir tensión capaz de obtener una velocidad de 50 y 500 milímetros por minuto.
- b) Regla para medir el alargamiento o registrador en la máquina.
- c) Suaje o Sacabocados.
- d) Emeril.

Preparación de la muestra.

Las muestras para calibres menores que el No. 0 AWG. y forros hasta 2.3mm, de espesor serán en forma tubular en cantidad de tres y de aproximadamente 15 cm., de longitud, y para espesores y calibres ma

yores de 2.3 mm., y de No. 0, la muestra será tipo probeta en cantidad de tres y de 25 cm., de longitud aproximadamente; las probetas deben ser pulidas por un esmeril para eliminar todas las irregularidades superficiales, se debe tener precaución para evitar sobrecalentamientos que puedan afectar las características mecánicas del material. Las probetas deben tener un espesor mínimo de 1.6 mm., y máximo de 3.2 mm., y serán cortadas dando un oblo golpe al sujeción o sacabocados. La variación máxima del espesor entre marcas de la probeta debe ser menor de 0.1 mm.

Procedimiento.

- a) Se marcan 2 líneas paralelas separadas 2.5 cm., de la parte central del espécimen. Si el material es PVC., y 1.25 cm., si el material es un elastómero.
- b) Se calcula el área de la sección transversal antes de someter las muestras a la prueba de tensión y a la de envejecimiento acelerado tomando en cuenta el valor del espesor promedio y la separación entre filos de la sección recta del sujeción o sacabocados.
- c) Se coloca la muestra entre las mordazas de la máquina, ajustándola a cero. La velocidad de separación de las mordazas para PVC., polietileno de baja densidad y elastómeros debe ser de 500 mm., polietileno de alta densidad de 50 mm., por minuto.
- d) Se mide la separación que existe entre las marcas en el momento de la ruptura; las muestras deben romper entre las marcas paralelas que se le hicieron, si rompen fuera se debe repetir la prueba.
- e) Se anota la carga de la máquina que ocasiona la ruptura en Kg.
- f) Se repite el procedimiento para los tres especímenes.
- g) La sección transversal se calcula como sigue:

Para muestras tubulares.

$$A = 0.7854 (D^2 - d^2) \text{ cm}^2$$

Donde:

D = Diámetro exterior de la muestra.

d = Diámetro interior de la muestra.

Para muestras de probeta.

$$A = e \times a$$

Donde:

e = Espesor de la probeta.

a = Ancho de la probeta.

b) El esfuerzo de tensión a la ruptura se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{P}{A}$$

Donde:

P = Carga de ruptura en Kg.

A = Área de la sección transversal en mm².

5.3 Prueba de elongación.

La elongación hasta la ruptura deberá ser determinada simultáneamente con la prueba de resistencia a la tensión y sobre el mismo espécimen.

La elongación deberá ser tomada como la distancia entre las marcas hechas y la resultante después de la ruptura.

El porcentaje de ruptura a la elongación, es la elongación - en mm., dividida por la distancia original multiplicada por cien.

5.4 Prueba de deformación.

Objeto.

Determinar la deformación que sufran los aislamientos o cubiertas a base de elastómeros después de que son sometidos a un alargamiento determinado.

Requisitos para efectuar la prueba.

- a) Que la muestra no haya sido sometida a alargamientos previos ni maltratos mecánicos.

Aparatos y Equipos.

- 1- Regla graduada en milímetros.
- 2- Máquina para medir tensión.

Preparación de la muestra.

La muestra debe prepararse como en la prueba de resistencia a la tensión y prueba de elongación.

Procedimiento.

Deberán hacerse dos marcas en el centro de la muestra con una separación de 50 mm.

El espécimen deberá ser colocado en las quijadas de la máquina probadora, con una distancia máxima entre quijadas de 100 mm., y deberá ser estirada a razón de 500 mm., por minuto hasta que las marcas tengan una distancia de 150 mm. El espécimen deberá permanecer en la posición de estirado durante 5 seg., y la distancia entre marcas deberá ser tomada un minuto después de haber cesado la tensión.

La deformación es la diferencia entre esta distancia y la distancia original expresada como un porcentaje, quedando como sigue:

$$D = \frac{L_d - L_o}{L_o} \times 100$$

Donde:

D = Deformación permanente.

L_d = Distancia entre marcas después de 1 min. de recuperación.

L_o = Distancia original (5 cm.)

5.5 Prueba de fatiga a la tensión.

La prueba de fatiga a la tensión debe ser hecha en conjunto con la prueba de resistencia a la tensión, registrando la carga aplicada cuando las marcas indiquen que ha prescrito la elongación.

La fatiga a la tensión se calcula dividiendo la carga aplicada al prescribir la elongación por el área del espécimen antes de la prueba.

5.6 Prueba de desgarre.

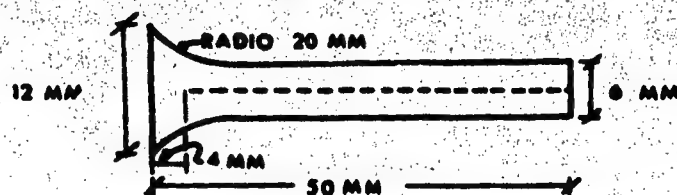
Objeto.

Determinar la resistencia al rasgado de cubiertas protectoras a base de elastómeros.

Requisitos para efectuar la prueba.

La prueba de desgarre debe ser hecha sobre un mínimo de seis muestras y deben ser preparadas de la manera siguiente:

El espécimen deberá ser cortado con una hoja filosa o con sacabocado que cumpla con las medidas de la siguiente figura:



Es espécimen para la prueba de desgarre

Después todas las irregularidades, arrugas y cordones o alambres de refuerzo deben ser removidos.

El espécimen no deberá tener más de 150 mils de espesor y no menos de 40 mils de espesor. El espécimen deberá ser cortado longitudinalmente hasta un punto de 4 mm., antes de la terminal ensanchada.

La temperatura de prueba deberá oscilar entre 20°C y 28°C.

Aparatos y equipo de prueba.

- 1- Máquina para medir tensión.
- 2- Micrómetro con aproximación de 0.03 mm.

Procedimiento.

Las dos mitades de la terminal partida, deberán ser colocadas en las quijadas de la máquina probadora y separadas a una velocidad de 500 mm. por min.

La resistencia al desgarre, será determinada dividiendo la carga en kilogramos requerida para rasgar la sección por el espesor del espécimen en milímetros. El promedio de todos los especímenes deberá ser considerado como el valor de la resistencia al desgarre.

$$R_a = \frac{P}{e}$$

$$P_a = \frac{R_a}{6}$$

Donde:

P_a = Promedio aritmético.

R_a = Resistencia al rasgado en Kg / mm.

P = Carga que registra la máquina en el momento que se rasga la probeta.

e = Espesor de la probeta en mm.

5.7

Prueba de doblado en frío.

Objeto.

Comprobar la flexibilidad a baja temperatura de los aislantes

de conductores eléctricos a base de PVC o polietileno y de cubiertas protectoras a base de PVC.

Requisitos para efectuar la prueba.

La muestra a probar deberá estar libre de defectos, sin maltrato mecánico y no deberá haber sido alargada anteriormente.

La presión de prueba deberá ser la atmosférica.

La temperatura y tiempo de prueba serán sacados de las normas correspondientes al conductor, cuyo compuesto aislante o cubierta protectora este sujeto a prueba.

Aparatos y equipo.

1- Cámara refrigerante.

2- Un mandril con un diámetro 8 veces mayor que el diámetro del aislamiento, con superficie tersa y ambos extremos redondeados.

Procedimiento.

Se toma una muestra lo suficientemente grande (45 cm. aprox.) del producto terminado y con la cubierta retirada.

Las muestras se introducen a la cámara refrigerante, previamente enfriada, teniendo precaución de que no se toquen entre sí, ni con el medio refrigerante.

El tiempo de enfriamiento es el especificado para el aislamiento o para la cubierta y al transcurrir éste se saca la muestra e inmediatamente se enrolla helicoidalmente alrededor del mandril correspondiente.

Diámetro externo del
alambre o cable.

Diámetro del mandril como
un múltiplo del diámetro-
externo del cable.

mm.

0 - 20

8

20 - mayores

10

Tabla para determinar el diámetro del mandril para la prueba de doblado en frío.

Las muestras de conductores con sección igual o menor de 85-mm^2 , (3/0) se enrollan alrededor del mandril formando 6 espiras adyacentes y los de sección mayor de 85 mm^2 , (3/0), se doblan alrededor del mandril 180° .

Las muestras son probadas manual y visualmente y en caso de que se agrieten superficial o interiormente se considera como falla.

5.8 Pruebas de envejecimiento.

Las muestras para pruebas físicas y de envejecimiento, deberán ser tomadas después de la vulcanización del aislamiento, pero antes de la aplicación de otra cubierta, excepto aquellas que sean aplicadas sobre el aislamiento antes de ser vulcanizado.

Para aislamiento sujeto a una segunda vulcanización, la muestra de conductor deberá ser tomada antes o después de la segunda vulcanización.

Las muestras de conductores aislados, deberán ser seleccionadas de acuerdo con la tabla 5.2.

Las muestras de cable enchaquetado para pruebas de envejecimiento y físicas, deberán ser seleccionadas de acuerdo con la tabla 5.3.

Si la vulcanización de chaquetas es necesaria, las muestras deberán ser tomadas después de la vulcanización, pero antes de la aplicación de otra cubierta, excepto aquellas aplicadas sobre la chaqueta antes de ser vulcanizada.

No deberán ser probadas chaquetas con un espesor menor de 30 mils.

Serán necesarias tres muestras para las propiedades iniciales y tres muestras para cada prueba de envejecimiento requerida.

En caso de alambres y cables menores de 6 AWG., teniendo un aislamiento menor de 90 mils., el aislamiento deberá ser sometido a la condición de envejecimiento con el conductor removido y las terminales apropiadamente selladas.

Cantidad Ordenada de Cable Terminado	Calibre del Conductor		Número de muestras.	Longitud Mínima de cada muestra	
	Mts.	MCM			mm ²
Menos de 600.		Menor de 250	Menor de 127	Ninguna	---
Menos de 300.		Mayor de 250	Mayor de 127	Ninguna	---
600 - 15 000.		Menor de 250	Menor de 127	1	2.0
300 - 8 000.		Mayor de 250	Mayor de 127	1	1.0
Más de 8 000.					
Primeros 8 000.		Mayor de 250	Mayor de 127	1	1.0
Cada 8 000 adicionales.		Mayor de 250	Mayor de 127	1	1.0
Más de 16 000.					
Primeros 16 000.		Menor de 250	Menor de 127	1	2.0
Cada 16 000 adicionales.		Menor de 250	Menor de 127	1	2.0

Tabla 5.2 Número y Longitud de Muestras.

Tabla 5.3 Número y longitud de muestras

CANTIDAD ORDENADA DE CABLE TERMINADO Mts.	DIAMETRO TOTAL EXTER- NO DEL CABLE mm.	NUMERO DE MUESTRAS	LONGITUD MINIMA DE CADA CABLE Mts.
Menor de 600	Menor de 25	Ninguna	.....
Menor de 300	Mayor de 25	Ninguna	.....
600 a 16,000	Menor de 25	1	2.0
300 a 8,000	25 a 50	1	1.0
	Mayor de 50	1	0.6
Mas de 16,000	Menor de 25	1	2.0
Primeros 16,000	Menor de 25	1	2.0
Cada 16,000 adicionales	Menor de 25	1	2.0
Mas de 8,000	25 a 50	1	1.0
Primeros 8,000	25 a 50	1	1.0
Cada 8,000 adicionales	25 a 50	1	1.0
Mas de 8,000	Mayor de 50	1	0.6
Primeros 8,000	Mayor de 50	1	0.6
Cada 8,000 adicionales	Mayor de 50	1	0.6

En el caso de alambres y cables mayores de 6 AWG., con un espesor de aislamiento de 90 mils., o mayor, las muestras deberán ser cortadas con una sección transversal no mayor de 16 mm².

El espécimen cortado, deberá ser desbastado antes de ser sometido a la prueba de envejecimiento acelerado.

Deberá ser evitado el envejecimiento simultáneo de diferentes componentes, por ejemplo: elementos con alto contenido de azufre no deberán ser envejecidos con elementos de bajo contenido de azufre y aquellos que contengan elementos antioxidantes, no deberán ser envejecidos con elementos que tengan elementos oxidantes.

Los especímenes serán suspendidos verticalmente de manera -- que no haya contacto entre ellos, con el horno o con la bomba.

Los especímenes de prueba deberán reposar por un período no menor de 16 hrs., y no más de 96 hrs., entre las pruebas de envejecimiento y la determinación de propiedades físicas.

Las pruebas físicas de los especímenes envejecidos y los no envejecidos deberán ser hechas aproximadamente en el mismo tiempo.

5.8.1 Prueba de oxígeno a presión.

Objeto.

Determinar los cambios que presentan en sus propiedades físicas, los especímenes que son sometidos a influencias controladas por períodos conocidos de deterioro. Para ello deben conocerse previamente -- las propiedades físicas del material.

Condiciones de prueba.

- a) Los especímenes se exponen en una cámara con oxígeno, a una temperatura y presión especificada por períodos conocidos.
- b) Las propiedades físicas de los especímenes que sufren deterioro ocasionado por el envejecimiento acelerado, se determinarán por el esfuerzo a la tensión, el alargamiento

a la ruptura y por la inspección óptica y manual.

- c) No se deben envejecer simultáneamente productos de compuestos diferentes.

Aparatos y Equipos.

1- Cámara de envejecimiento.

Características:

- a) La cámara de envejecimiento en oxígeno, debe ser un recipiente de metal, diseñado para conservar una atmósfera interna de oxígeno a una presión determinada con espacio para colocar los especímenes en su interior a una temperatura uniforme y determinada. La cámara debe ser de acero inoxidable con una chaqueta para calentamiento.
- b) El tamaño de la cámara es opcional, pero debe ser tal — que los especímenes puedan ser suspendidos verticalmente en su interior, sin estar en contacto entre sí, ni con los lados de la cámara.
- c) Como fuente de calentamiento de la cámara puede usarse — agua, aire u otro fluido que no sea combustible.
- d) La temperatura de la cámara debe ser controlada por medio de un regulador termostático.
- e) La colocación de la fuente de calor debe ser externa. Si se emplea aire caliente éste debe hacerse circular por medios mecánicos.

Con cualquier medio de calentamiento que se utilice, se deben emplear dispositivos que sirvan para uniformar la temperatura interior de la cámara.

- f) Si el medio de calentamiento rodea totalmente a la cámara de envejecimiento, se debe tomar como temperatura de la misma la temperatura que indique el termómetro, cuyo elemento sensible se encuentre colocado en el interior de la cámara.

g) El aparato y el método de calentamiento deben ser adecuados de tal manera que al empezar la prueba se alcance la temperatura de operación en un tiempo máximo, equivalente al 5% del período de prueba. El aparato debe poder abrirse y cerrarse rápidamente para introducir y retirar los especímenes.

h) La presión del oxígeno debe mantenerse a $21 \pm 1 \text{ Kg/cm}^2$.

Se recomienda una regulación automática. Se debe eliminar, el aceite, la humedad y el polvo, del oxígeno que entra a la cámara. Se debe evitar el uso de aceite u otros combustibles fluidos pues su empleo resulta extremadamente peligroso en presencia de oxígeno. Partes de cobre o bronce no deben exponerse a la atmósfera de la cámara.

i) La cámara de envejecimiento debe estar equipada con una válvula de seguridad o diafragma de ruptura para evitar que se alcancen presiones mayores de 35 Kg/cm^2 .

Procedimiento.

La cámara de envejecimiento se calienta hasta que alcanza y se estabilice la temperatura de prueba. Después se introducen los especímenes en ella, suspendiéndolos verticalmente, procurando que no se toquen entre sí, ni con las paredes de la cámara.

Se considera que el período de prueba comienza, cuando los especímenes se colocan en la cámara caliente, esta se cierra y se aplica la presión requerida. Esta operación debe hacerse en menos de tres minutos.

Sin embargo se debe además, registrar el tiempo que transcurre desde que empieza la prueba hasta que la cámara alcanza nuevamente la temperatura de prueba si este intervalo pasa del 5% del tiempo que deban permanecer en prueba los especímenes, debe hacerse una corrección, agregando al tiempo de prueba la mitad del intervalo anterior.

La exposición de los especímenes debe ser continua durante -

el tiempo de prueba especificado, sin que haya reducción de presión y sin que se abra la cámara para introducir o retirar especímenes.

Al terminar el período de prueba debe reducirse gradualmente la presión de la cámara hasta alcanzar la atmosférica, esta operación debe hacerse cuando menos 5 minutos para evitar hasta donde sea posible la formación de porosidades en los especímenes los cuales deben retirarse de la cámara inmediatamente después.

Los especímenes se colocan en una superficie plana hasta que se enfríen a temperatura ambiente. Se les deja reposar por un período de 16 a 96 horas antes de hacer las determinaciones de sus propiedades físicas.

Se prueban tres especímenes y se reporta la media de los tres resultados obtenidos: si uno o más especímenes fallan en lo especificado, se prueban otros dos y se reporta la media de los cinco resultados. Los especímenes se inspeccionan manual y visualmente anotando los cambios observados.

Los resultados de la prueba deben reportarse como el porcentaje de retención de los valores sin envejecer, usando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de Retención} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

A = Valor después de envejecido.

B = Valor original.

5.8.2 Prueba de horno de aire caliente a presión.

Objeto.

Determinar los cambios que presenten, en sus propiedades físicas las muestras de aislamientos o cubiertas protectoras a base de PVC polietileno o elastómeros, con el fin de estimar la resistencia del material al deterioro ocasionado por el envejecimiento acelerado en cámara -

caliente, con circulación natural o forzada de aire.

Requisitos para efectuar la prueba.

- a) Los especímenes deberán ser expuestos en una cámara de aire a una temperatura y presión especificada por períodos conocidos.
- b) Las propiedades físicas de los especímenes que sufren deterioro ocasionado por el envejecimiento acelerado, se determinan por el esfuerzo a la tensión, el alargamiento a la ruptura y por la inspección óptica y manual.
- c) No se deben envejecer simultáneamente compuestos diferentes. Por ejemplo: compuestos con alto contenido de azufre con los compuestos con bajo contenido de azufre, o los que tienen antioxidantes con los que no los tienen, - pues se conoce que ocurren algunas migraciones.
- d) El peso de los especímenes en la cámara de envejecimiento no debe ser mayor de 2 gramos por 16.4 cm^3 del volumen de la cámara.

Aparatos y Equipos.

- 1- Horno con las siguientes características:

	Frete cm.	Alto cm.	Profundidad cm.
Min.	3 0	3 0	3 0
Max.	9 0	9 0	1 2 0

- 2- La fuente de calor puede ser cualquiera y debe estar localizada en la entrada de aire (fuera de la cámara).

- 3- En la parte superior central de la cámara, debe existir un termómetro que registre las temperaturas durante el tiempo que dure el envejecimiento.

- 4- El horno debe tener un control automático de temperatura, capaz de mantenerla a $\pm 1^\circ\text{C}$ de la especificada.

5- El horno debe contar con divisiones interiores, placas o pantallas que sirvan para uniformizar la temperatura interior.

6- El horno debe tener circulación forzada de aire o con circulación natural.

Especificaciones para hornos.

a) Horno tipo I A .- Con circulación natural de aire.

b) Horno tipo II A .- Con circulación forzada de aire.

Horno	Variación máxima de temperatura de prueba con 50°C* de diferencia o menos.	Variación máxima de temperatura de prueba con más de 50°C* de diferencia.	Tiempo constante máximo (seg)	Cambios de ventilación.**	
				Min.	Max.
I A	1°C	2 X	600	10	—
II A	0.5°C	1 X	480	100	200

* La diferencia, se refiere a la que existe entre la temperatura de prueba y la del ambiente. La variación se establece para la temperatura de prueba en la cámara del horno, durante 24 hrs.

** Los cambios de ventilación en la cámara de prueba están dados por el número de cambios de aire por hora.

Procedimiento.

Los especímenes deberán ser introducidos en el horno previamente calentado a la temperatura especificada, teniendo cuidado que no se toquen entre sí, ni con las paredes del horno.

El período de envejecimiento se especifica para cada tipo de material en particular que se prueba.

Al terminar el período de envejecimiento, los especímenes se sacan y se colocan sobre una superficie plana hasta que se enfríen a la-

temperatura ambiente. Se les deja reposar por un período de 16 a 96 horas antes de marcar los especímenes para determinar las propiedades físicas.

Se prueban los tres especímenes y se reporta la media aritmética de los resultados obtenidos, si uno o más fallan en lo especificado se deben probar otros dos y reportar la media aritmética de los cinco resultados.

Los especímenes serán inspeccionados manual y visualmente y los cambios observados reportados.

$$\text{Porcentaje de Retención} = \frac{E}{F}$$

Donde:

E = Valor después de envejecimiento.

F = Valor antes de envejecimiento.

5.8.3 Prueba de envejecimiento acelerado en aceite.

Objeto.

Determinar los cambios que presentan en sus propiedades físicas, los aislamientos a base de PVC, y las cubiertas protectoras a base de PVC, o policloropreno ocasionados por el envejecimiento acelerado en aceite.

Requisitos.

a) Que el aceite cumpla con las siguientes características:

Punto de anilina $93 \pm 3^\circ\text{C}$.

Viscosidad Saybolt Universal a 99°C : 100 ± 5 seg.

Punto de inflamación mínimo 240.5°C .

Puede usarse aceite S.A.E. No. 20 ó ASTM No. 2 D 471 -- 1971.

b) Que la temperatura del recipiente oscile entre $\pm 1^\circ\text{C}$ de-

la especificada en la prueba.

- c) Que el período de envejecimiento según la norma correspondiente al conductor cuyo compuesto aislante o cubierta -- protectora este sujeto a prueba sea exacto.

Aparatos y Equipos.

- 1- Recipiente de acero inoxidable.
- 2- Máquina para medir tensión.
- 3- Regla graduada en milímetros.
- 4- Suaje o sacabocados.

Procedimiento.

Se sumerge el espécimen en el recipiente con aceite previamente calentado. En el caso de especímenes con el conductor aislado se debe tener cuidado de que las puntas de estos queden fuera del aceite.

Al terminar el período de envejecimiento se retiran los especímenes del aceite, sacudiéndolos y secándolos ligeramente.

Los especímenes se dejan reposar a la temperatura ambiente -- de acuerdo a lo siguiente:

PVC - 16 a 96 horas.

Policloropreno - 4 a 5 horas.

Se prueban tres especímenes y si alguno de ellos falla en lo especificado la prueba se repite en dos especímenes más. La falla de -- cualquiera de éstos dos especímenes adicionales, indica que no se cumple con los requisitos especificados.

Porcentaje de Retención = $\frac{\text{Valor de la prueba después del envejecimiento}}{\text{Valor Original}}$

5.9 Prueba de Extracción por solventes para materiales vulcanizables de base Etilénica.

Objeto.

Determinar el grado de reticulación, que se haya logrado en plásticos de base etilénica, sensibles de reticularse o vulcanizarse, mediante la extracción de la porción de material no vulcanizado o reticulado por medio de solventes como la decalina (decahidronaftaleno) o el xileno.

Aparatos y Equipos.

- a) Matraz de fondo redondo con entrada amplia para colocar un tapón o junta de corcho. Para hacer una o dos determinaciones a la vez, puede ser apropiado un matraz de 500 ml.- Para hacer varias determinaciones al mismo tiempo, con tal de que no sean más de 6, se emplea un matraz de 2 litros.
- b) Estufa calefactora que se adapte al matraz y con suficiente poder de calentamiento para hacer hervir la decalina — (punto de ebullición 190 - 193°C) ó el xileno (punto de ebullición 138 - 141°C).
- c) Condensador de reflujo con tapón de corcho o punta esmerilada que se ajuste exactamente al matraz.
- d) Soporte y pinzas de sujeción adecuadas.
- e) Juego de mallas No. 10 (12 hilos/cm.) y No. 24 (24 hilos/cm.).
- f) Molino de laboratorio adecuado para reducir la muestra a partículas de tamaño comprendido entre 10 y 24 mallas.
- g) Malla No. 50 (47 hilos/cm.) de acero inoxidable.
- h) Horno de vacío con los medios suficientes para producir un vacío de por lo menos 712 torr., y equipado con un termómetro que puede medir 150°C.
- i) Balanza analítica con una exactitud de ± 0.001 gr.

Condiciones de prueba.

Las pruebas se deben realizar en un laboratorio con ambiente controlado a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa a menos que otra cosa se especifique.

Se deben pesar por lo menos dos muestras del espécimen que contengan 0.300 ± 0.015 grs. del material de prueba, con una aproximación de 0.001 grs.

La muestra debe tener una finura comprendida entre las mallas 10 y 24. Partículas menores de 24 ó mayores de 10 deben descartarse. Las partículas que forman el espécimen proveniente del aislamiento de un cable, deben contener una mezcla igual de las partes del aislamiento que van junto al conductor y de las que van en la periferia del aislamiento, a menos que otra cosa se especifique.

Los especímenes deben acondicionarse a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa de $50 \pm 5\%$ durante 40 hrs., mínimo, inmediatamente antes de la prueba. Los especímenes de prueba se deben colocar de tal manera que exista una circulación adecuada de aire por todos los lados de la muestra.

Procedimiento.

- a) De la malla No. 50 de acero inoxidable, corte una pieza de 80×40 mm., y prepare una bolsa en la forma siguiente: Doble la pieza de modo que se tenga un cuadrado de 40 ± 4 mm., de lado. Doble los bordes de este cuadrado unos 6 ó 7 mm., y engrápelos de manera que se tenga una bolsa abierta en un solo lado. Pese la bolsa y este peso será designado como W_1 .
- b) Coloque aproximadamente 0.3 gr. de la muestra tamizada dentro de la bolsa de tela de alambre. Pese la bolsa llena con la muestra y designe este peso como W_2 . Doble el lado de la bolsa que estaba abierto, engrápelo y pese nuevamente llamando a este peso W_3 .

c) Coloque en el matraz suficiente solvente para sumergir totalmente la bolsa de tela de alambre con el espécimen de prueba.

d) Caliente y haga hervir la decalina o el xileno intensamente de manera que se logre una buena agitación de la solución.

Suspenda la bolsa con el espécimen mediante un alambre delgado dentro del solvente de manera que quede sumergida y casi toque el fondo del matraz.

Mantenga hirviendo el espécimen durante 6 horas en decahidronaftaleno o 12 horas en xileno, extrayéndose al final de este período.

e) Después de la extracción, coloque la bolsa con el espécimen en el horno de vacío precalentado a 150°C. Seque el espécimen hasta llegar al peso constante con un vacío de por lo menos 712 torr.

Déjese enfriar en un desecador y pise designando este peso como W_4 .

f) Si estas pruebas se hacen frecuentemente, el matraz puede volver a usarse con el mismo solvente, hasta que éste se oscurezca y en ese momento debe cambiarse. Sin embargo en caso de duda por los resultados obtenidos o por el solvente usado, repita la prueba con solvente nuevo.

El porcentaje de material extraído se calcula como sigue:

$$\begin{aligned} \% \text{ de material extraído} &= \frac{\text{Peso perdido durante la extracción}}{\text{Peso original de la muestra}} \times 100 \\ &= \frac{(W_3 - W_4)}{(W_2 - W_1)} \end{aligned}$$

Donde:

W_1 = Peso de la bolsa de prueba vacía.

- W_2 = Peso de la bolsa con el espécimen antes de la extracción
 W_3 = Peso de la bolsa con el espécimen (totalmente cerrada) - antes de la extracción.
 W_4 = Peso de la bolsa con el espécimen después de la extracción y el secado.

5.10 Prueba en Aislamientos de Conductores.

5.10.1 Prueba de esfuerzo dieléctrico de corto tiempo sobre aislamiento de conductores.

Esta prueba es aplicable únicamente a cables de potencia de 5 Kv., en adelante. Las muestras deberán ser tomadas de cables en proceso o de cables terminados. Una muestra deberá ser tomada de los primeros 1524 a 6096 mts., de cada cable en construcción y una muestra adicional por cada 30 480 mts. La longitud de la muestra deberá ser de 5.18 mts., y para cables de 15 Kv., o mayor la longitud será de 6.7 mts.

De la muestra deberán ser removidos 3.05 mts., de todas las cubiertas excepto aquillas que el aislamiento es vulcanizado. La muestra deberá ser sumergida en agua a la temperatura establecida por un período mínimo de 1 hora antes de realizar la prueba.

Después la muestra debe ser sumergida por un mínimo de 1 hr. y la será aplicado por 5 mins., la prueba de voltaje, el cual es dos veces el voltaje dado en la tabla 5.4.

El voltaje aplicado inicialmente, no deberá ser mayor que el voltaje nominal y será incrementado lo más uniforme posible y no sobrepasar el 100 % en 10 seg., y no menor del 100 % en 60 seg.

Una vez hecho esto, el voltaje deberá ser aumentado por pasos de aproximadamente el 20 % del voltaje nominal y detenerlo inmediatamente cuando ocurra la falla. El voltaje debe ser mantenido constante durante 5 mins., en cada paso.

Tabla 5.4 Calibres de conductores, Espesores de Aislamiento y Voltajes de prueba para aislamientos de Nule.

		VOLTAGE DE PRUEBA DE C.A. EN K V.					
		ESPESORES DE AISLAMIENTOS EN mm		OTROS AISLAMIENTOS QUE LOS RESISTENTES AL OZONO.		AISLAMIENTOS RESISTENTES AL OZONO	
VOLTAGE NOMINAL FASE A FASE	CALIBRES DE CONDUCTORES	NEUTRAL A TIERRA	NEUTRAL NO ATERRIZADO	NEUTRAL A TIERRA	NEUTRAL NO ATERRIZADO	NEUTRAL A TIERRA	NEUTRAL NO ATERRIZADO
0-600	18-16	31	31	1.0	1.0	1.0	1.0
	14- 8	47	47	3.0	3.0	4.5	4.5
	8	62	62	3.5	3.5	6.0	6.0
	7- 2	62	62	3.5	3.5	6.0	6.0
	1- 4/0	78	78	4.0	4.0	7.5	7.5
	225- 500	94	94	5.0	5.0	8.5	8.5
	525- 1000	109	109	6.0	6.0	10.0	10.0
	superior a 1000	125	125	7.0	7.0	11.5	11.5
601-1000	14- 8	62	62	5.0	5.0	6.0	6.0
	7- 2	78	78	6.0	6.0	7.5	7.5
	1- 4/0	94	94	7.5	7.5	8.5	8.5
	225- 500	109	109	9.0	9.0	10.0	10.0
	525- 1000	125	125	10.0	10.0	11.5	11.5
	superior a 1000	141	141	11.0	11.0	13.0	13.0
1001- 2000	14- 8	78	78	6.0	6.0	7.5	7.5
	7- 2	94	94	7.5	7.5	8.5	8.5

continua...

	1- 4	109	109	9.0	9.0	10.0	10.0
	225- 500	125	125	10.0	10.0	11.5	11.5
	525- 1000	141	141	11.0	11.0	11.5	11.5
	superior a 1000	141	141	11.0	11.0	13.0	13.0
2001 - 3000	10- 8	109	109	....	....	10.0	10.0
	7- 4/0	125	125	....	....	11.5	11.5
	225- 1000	141	141	....	....	13.0	13.0
	superior a 1000	156	156	....	....	14.0	14.0
3001 - 5000	8- 4/0	156	156	....	....	14.0	14.0
	225- 1000	172	172	....	....	15.5	15.5
	superior a 1000	188	188	....	....	17.0	17.0
5001 - 8000	6- 1000	188	250	....	....	17.0	22.5
	superior a 1000	203	266	....	....	18.5	24.0
8001 - 10000	6- 1000	219	281	....	....	20.0	25.0
	superior a 1000	234	297	....	....	21.0	26.5
10001 - 12000	4- 1000	250	344	....	....	22.5	31.0
	superior a 1000	266	359	....	....	24.0	32.0
12000 - 15000	2- 1000	297	422	...	...	26.5	37.5
	superior a 1000	312	438	...	....	28.0	39.0
15000 - 23000	1- 1000	422	...	....	....	37.0	....
	superior a 1000	438	...	....	....	39.0	....
23000 - 28000	1- 1000	500	...	....	....	44.5	....
	superior a 1000	516	...	....	....	46.0	....

5.10.2 Prueba de Doblado en frío y esfuerzo dieléctrico de tiempo - largo.

Esta prueba es aplicable únicamente a cables de potencia superiores a 5 Kv. Las muestras deben ser tomadas en las mismas circunstancias que en la prueba anterior excepto que el largo deberá ser de 5.18 mts., para cables de 15 Kv., o mayores y de 3.96 para cables de 15 Kv., o menores.

De esta muestra de 3.05 mts., se le aplicará una temperatura mínima de 10°C por lo menos 2 hrs., luego inmediatamente será doblado 180° sobre un mandril con un diámetro que será determinado en la siguiente tabla.

Espesor del Aislamiento del Conductor		Diámetro del Mandril como un múltiplo del diámetro externo	
Mils.	mm.	Menos de 500 MCM	Superior de 500 MCM
190	4.83	8	1 0
205 - 310	5.21 - 787	1 0	1 2
330 y mayor	8.38 y mayor	1 2	1 2

Inmediatamente después de la prueba de doblado y permaneciendo doblado, el cable, deberá ser sometido a la prueba de voltaje alterno. Este voltaje será obtenido de la tabla 5.4 y será aplicado continuamente durante 2 hrs., entre cada conductor y de todos los otros conductores y también entre cada conductor y una superficie cerrada aterrizada.

Los cables de tres conductores, deberán ser probados con voltaje trifásico aterrizado o con voltaje monofásico. Los cables con pantalla deberán ser probados en una tina con agua aterrizada o en una lámina de metal.

5.10.3 Prueba de Capacidad y factor de Potencia.

Esta prueba es aplicable únicamente sobre cables de potencia con voltaje nominal de 5001 volts en adelante. La muestra deberá ser tomada de cable en estado preliminar. Una muestra deberá ser tomada de los primeros 1524 a 6096 mts., de cada cable en construcción y una muestra adicional por cada 30 480 mts. El largo de la muestra será de 3.96 mts., para cables de 15 Kv., nominales o menores y de 5.18 mts., para cables de 15 Kv., 6 superiores.

La capacidad y factor de potencia, deberá ser medido con equipo apropiado para 60 hrs., después de haber sumergido la muestra en agua por un mínimo de 24 hrs. Las mediciones deberán ser hechas con voltaje nominal a tierra sobre cables aéreos.

5.10.4 Prueba de Resistencia al Ozono.

Las muestras deberán ser tomadas de cable terminado. Una muestra deberá ser tomada de los primeros 1524 a 6096 mts., de cada cable en construcción y una muestra adicional por cada 30 480 mts. El largo de cada muestra será 2.29 mts., para cables con voltaje nominal inferior a 5 Kv., de 3.05 mts., para cables con voltaje nominal superior a los 5 Kv.

5.11 Pruebas de Absorción acelerada de agua.

Las muestras de prueba deberán ser tomadas de cable en estado preliminar. Una muestra para cada prueba deberá ser tomada de los primeros 1524 a 6096 mts., de cada cable en construcción y una muestra adicional por cada 30 480 mts., adicionales. El largo de cada muestra será de 4.57 mts., para la prueba eléctrica, y de 279 mm., para la prueba gravimétrica.

Las pruebas no deberán ser hechas sobre cables que tengan un separador no conductivo entre el conductor y el aislamiento, aislamientos menores de 45 mils., y aislamientos que tengan cubiertas que no pueda ser removida por dañar el aislamiento.

5.11.1 Método eléctrico.

Deberán ser tomados 4.57 mts., de espécimen de conductor aislado tomado después de la vulcanización y antes de la aplicación de cualquier otra cubierta, excepto las cubiertas que sean aplicadas antes de la vulcanización. Cada cubierta debe ser removida antes de hacer la prueba. No antes de 48 hrs., después de la vulcanización, el espécimen debe ser inmerso en agua.

La mitad de 3.05 mts., del espécimen, debe ser sumergido en una capa de agua, la cual debe mantenerse a una temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por un período de 14 días guardando 0.76 mts., de cada una de las terminales. Una cubierta apropiada y apretada debe ser colocada directamente en cima de la superficie del agua, con un apropiado sello de agua para las terminales del espécimen. El nivel de agua se debe mantener constante.

La capacitancia de aislamiento debe ser determinada con una tensión de 80 volts por mil a 60 Hz., aproximadamente y a 1, 7 y 14 días de inmersión. El factor de potencia del aislamiento con una tensión de 80 y 40 volts por mil debe ser determinado después de 1 y 14 días de inmersión. El incremento de capacitancia de 1 a 14 días y de 7 a 14 días debe ser expresado como un porcentaje de 1 a 7 días respectivamente. El valor del factor de potencia debe ser expresado como un 0.1 % aproximadamente.

Factor de Estabilidad.- El factor de estabilidad es la diferencia entre el porcentaje del factor de potencia a 80 y 40 volts por mil después de que el espécimen fué sumergido en agua a 50°C por el tiempo especificado. La alternativa del factor de estabilidad, es el factor de estabilidad de 14 días menos el factor de estabilidad de un día.

La constante dieléctrica (capacidad inductiva específica) del aislamiento a 60 Hz., debe ser calculada como sigue:

$$\text{Constante dieléctrica} = 13\,600 \text{ C log. } 10 \frac{D}{d}$$

Donde:

C = Capacitancia en microfarads de una sección de 3.05 mts.

D = Diámetro sobre el aislamiento.

d = Diámetro bajo el aislamiento.

5.11.2 Método gravimétrico.

Unos 279 mm., de espécimen de prueba del conductor aislado -- después de la vulcanización, con todas las cubiertas removidas, deben ser tomadas, si el peso del espécimen es menor de 100 gra. Para especímenes muy pesados un segundo aislamiento de 102 mm., de longitud y 25.5 mm., de ancho debe ser cortado del conductor aislado y desbastadas todas las arrugas.

La superficie del espécimen debe ser secada por 48 hrs., en un vacío de 5 milímetros o menos de mercurio sobre cloruro de calcio a $-70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y pesado con aproximación en miligramos, que llamaremos peso A. El área S, deberá ser el No. de milímetros cuadrados en 254 mm., de longitud del alambre aislado o el área total en milímetros cuadrados del segmento. El alambre aislado debe ser doblado en forma de U alrededor de un mandril con un diámetro no menor de tres veces el diámetro del espécimen, y las terminales, deben ser insertadas en sujetadores y apretados en la cubierta de una jarra, tanto que 254 mm., de el espécimen debe ser inmerso cuando la jarra esta completamente llena con agua y la cubierta aplicada.

El espécimen será inmerso en agua tibia destilada a $70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 168 hrs. El nivel del agua deberá ser mantenido al ras bajo la superficie de la cubierta durante el período de remojo. El segmento formado del espécimen será completamente inmerso. Después que el espécimen fué sumergido completamente por 168 hrs., el agua deberá ser enfriada a la temperatura de la cámara. El espécimen será removido y sacudida el agua adherida. El espécimen deberá ser secado ligeramente con un estropajo y pesado en no menos de tres minutos sobre un peso aproximado a miligramos, este peso lo llamaremos peso B.

El espécimen, será secado en un vacío de 5mm., de mercurio 6-
manos sobre cloruro de calcio a $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 48 hrs., y pesado nuevamen-
ta con aproximación en miligramos. A ésta paso lo llamaremos paso C.

La absorción de agua, deberá ser calculada en términos de mi-
ligramos por milímetro cuadrado de la superficie como sigue:

$$\text{Absorción de agua (Si C es menor que A)} \quad \frac{B - C}{S}$$

$$\text{Absorción de agua (si C es mayor que A)} \quad \frac{B - A}{S}$$

Donde:

A = Peso del espécimen antes de la inmersión.

B = Peso del espécimen en miligramos después de la inmersión.

C = Peso del espécimen en miligramos después del secado en --
vacío.

S = Area total en milímetros cuadrados del espécimen de prue-
ba.

5.12 Pruebas para Chaquetas Termoplásticas.

Estas pruebas son aplicables a conductores eléctricos con ais-
lamientos y cubiertas a base de PVC.

La finalidad de estas pruebas, es determinar las característi-
cas y el estado de las cubiertas protectoras bajo ciertas condiciones de
tensión y variaciones de temperatura.

5.12.1 Prueba de choque térmico.

Objeto.

Verificar la resistencia de los aislamientos y cubiertas pro-
tectoras de conductores eléctricos, a base de PVC., cuando los especíme-
nes son sometidos a influencias controladas de deterioro por períodos co-
nocidos.

Condiciones de prueba.

- a) Según este método de prueba, los especímenes se exponen a una temperatura elevada a la presión atmosférica.
- b) Los especímenes seleccionados para esta prueba se colocan en la cámara de un horno y el tiempo que permanezcan en ella los especímenes se estipulan en las condiciones a que debe someterse el material para el choque térmico.
- c) Las muestras deben ser de producto terminado, libre de defectos, que no haya sido sujeto a maltrato mecánico o alargamiento térmico.

Aparatos y Equipos.

- a) Horno. (Ver Aparatos y Equipos en el párrafo 5.6.2)
- b) Mandril con superficie tersa y ambos extremos redondeados cuyo diámetro debe estar de acuerdo con lo estipulado en las tablas 5.5 y 5.6 según el calibre o el diámetro del material correspondiente.

Preparación de la muestra.

- a) Se toma una muestra del producto terminado.
- b) Para probar el aislamiento se le retira la cubierta si la tuviera. Si la muestra consta de más de un conductor, la prueba debe efectuarse a cada uno de ellos por separado.
- c) Se corta el espécimen de una longitud lo suficientemente grande (45 cm., aproximadamente) para poder efectuar la prueba.

Procedimiento.

- a) Para probar la resistencia de los aislamientos y de las cubiertas protectoras al choque térmico, los especímenes se doblan en U o se enrollan helicoidalmente alrededor de un

Tabla 5.5 Diámetro del Mandril y Número de vueltas para la prueba de Aislamiento.

AREA DE LA SECCION RECTA EN mm² A 20°C	CALIBRE DEL CONDUC- TOR. AWG Ø MCM.	DIAMETRO DEL MANDRIL NUMERO DE VECES EL DIAMETRO DEL CONDUC- TOR AISLADO.	NUMERO DE VUELTAS
8.37 y Menores	8 y Menores	1	6
13.3 a 33.6	6 a 2	2	6
42.4	1	2	1
53.5 a 107	1/0 a 4/0	2	1/2 (doblar en U a 180°)
127 y Mayores	250 y Mayores	5	1/2 (doblar en U a 180°)
Cables para alumbrado público: 8.37, 13.3 y 21.2	8, 6 y 4	2	6

DIAMETRO SOBRE LA CUBIERTA DEL CONDUCTOR EN mm.	DIAMETRO DEL MANDRIL NUMERO DE VECES EL DIAMETRO SOBRE LA CUBIERTA DEL CONDUCTOR.	NUMERO DE VUELTAS
Hasta 19.0	3	6
19.1 a 38.0	8	1/2 (dobles en U a 180°)
38.1 y Mayores	12	1/2 (dobles en U a 180°)

Tabla 5.5.1 Diámetro del Mandril y Número de vueltas para la prueba de Cubiertas.

- mandril cuyo diámetro corresponda al indicado en las tablas 5.4 y 5.5 respectivamente, sujetando firmemente al mandril para que no se desenrolle.
- b) El número de vueltas que debe dársele al espécimen al enrollarlo en el mandril se encuentra indicado en las tablas mencionadas en el inciso anterior, según el calibre o diámetro del material correspondiente.
 - c) El espécimen enrollado y sujeto al mandril, se introduce en el horno previamente calentado a la temperatura especificada.
 - d) Después de permanecer el espécimen en el horno, el tiempo que se estipula en las normas correspondientes al conductor cuyo compuesto aislante o cubierta protectora esté sujeto a prueba, se saca del horno.
 - e) Se deja enfriar el espécimen a la temperatura ambiente.
 - f) Los especímenes probados se inspeccionan manual y visualmente. Se debe reportar si hay o no agrietamientos en las superficies externas o internas del espécimen. Los agrietamientos internos se detectan por una ligera depresión en la superficie externa del material.

5.12.2 Prueba de Distorsión por Calor.

Objeto.

Verificar la deformación de los aislamientos y cubiertas protectoras de conductores eléctricos, a base de PVC, cuando los especímenes son sometidos a influencias controladas de presión y temperatura elevada por períodos conocidos.

Condiciones de prueba.

- a) Las muestras deben ser de producto terminado, libre de defectos, que no haya sido sujeto a maltrato mecánico o alargamiento térmico.
- b) La prueba deberá ser completada en tres horas.

Aparatos y Equipos.

- a) Horno. (Ver Aparatos y Equipos en el párrafo 5.8.2)
- b) Calibrador Randall & Stickney o su equivalente, teniendo un pie de 9.5 mm., y sin otra carga que sea los 85 gr., del calibrador.

Preparación de la muestra.

- a) Una muestra de chaqueta de aproximadamente 203 mm., de longitud, con un espesor de 50 mils., \pm 10 mils., y con las superficies libres de irregularidades.
- b) De esta muestra deben ser preparados especímenes de 25.4 mm., de longitud por 14.3 de ancho. Cuando el diámetro del espécimen no permite la preparación con un ancho de 14.3 mm., un molde de la misma forma y compuesto pueda ser utilizado.

Procedimiento.

- a) El espesor del espécimen debe ser medido con el calibrador y a éste espesor le llamaremos T_1 .
- b) El calibrador con una carga de 200 gr., sobre el pie, debe ser colocado dentro de un horno precalentado a la temperatura específica.
- c) Al término de una hora el espécimen de prueba debe ser colocado en el horno junto con el calibrador y permanecer dentro durante una hora. Al término de este período, el espécimen deberá ser colocado directamente bajo el pie del calibrador y en seguida permanecer en el horno bajo la carga durante una hora a la temperatura específica. Al término de esta hora el espesor del espécimen será leído y le llamaremos T_2 .
- d) La distorsión deberá ser calculada de la manera siguiente:

$$\text{Por Ciento de Distorsión} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100$$

5.12.3 Prueba de Doblado en Frío para Chaquetas Termoplásticas.

Objeto.

Verificar la resistencia de los aislamientos y cubiertas protectoras de conductores eléctricos a base de PVC., cuando los especímenes son sometidos a influencias controladas de deterioro por baja temperatura por períodos conocidos.

Condiciones de prueba.

- a) Las muestras deben ser de producto terminado, libre de defectos, que no haya sido sujeto a maltrato mecánico o almacenamiento térmico.

Aparatos y Equipos.

- a) Horno (Ver Aparatos y Equipos en el párrafo 5.8.2)
 b) Un mandril con superficie lisa y ambos extremos redondeados cuyo diámetro debe estar de acuerdo con la siguiente tabla:

Diámetro Externo del Alambre o Cable.		Diámetro del Mandril como Múltiplo del Diámetro Externo del Alambre o Cable.	
P U L G A D A S	mm.		
0 - 0.800	0.0 - 20.32		8
0.801 - o superior	20.35 - o superior		10

Tabla 5. 6.

Preparación de la muestra.

- a) Se toma una muestra del producto terminado.

- b) Para probar el aislamiento se le retira la cubierta si la tuviera. Si la muestra consta de uno de un conductor, la prueba debe efectuarse a cada uno de ellos por separado.
- c) Se corta el espécimen de una longitud lo suficientemente grande (45 cm., aproximadamente) para poder efectuar la prueba.

Procedimiento.

- a) El espécimen deberá ser sometido a la temperatura específica durante una hora y doblado 180° alrededor de un mandril con un diámetro escogido de acuerdo con la tabla 3.6.
- b) El doblado deberá ser hecho uniformemente y el tiempo requerido no deberá exceder de un minuto.

5.12.4 Prueba de Agrietamiento Térmico.

Objeto.

Determinar el agrietamiento que sufran las chaquetas o aislamientos a base de PVC., al estar a la intemperie durante largo tiempo.

Condiciones de prueba.

- a) Las muestras deberán ser tomadas de cable terminado, estando éste en buenas condiciones físicas.
- b) Excepto otra cosa que la especificada en esta prueba, la prueba deberá ser hecha conforme a la norma ASTM D 1963.

Aparatos y Equipo.

- a) Horno. (Ver Aparatos y Equipos en el párrafo 5.8.2)
- b) Probeta de prueba.
- c) Agente de agrietamiento.

Preparación de la muestra.

- a) El número y longitud de las muestras deberá ser seleccionada. (Ver muestreo de chaquetas para pruebas físicas y envejecimiento).
- b) El espécimen de prueba con un largo aproximado de 40 mm., y 13 mm., de ancho y 3 mm., de espesor deberá ser moldeado de material tomado de cable terminado.
- c) Se practicará un corte longitudinal sobre el molde con una longitud aproximada de 20 mm., y una profundidad de 0.5 mm aproximadamente.

Procedimiento.

- a) El espécimen deberá ser colocado en la probeta doblado con el corte en la parte externa.
- b) El agente de agrietamiento será añadido hasta cubrir por completo el espécimen de prueba.
- c) La probeta de prueba deberá estar cerrada apropiadamente.
- d) La probeta, ya con la muestra y el agente de agrietamiento deberá ser colocado en el horno a $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 48 hrs.
- e) Al término de este tiempo el espécimen deberá ser removido y una vez a la temperatura ambiente deberá ser inspeccionado.

5.12.5 Prueba de la Resistividad de la superficie.

Objeto.

Esta prueba tiene por objeto determinar la cantidad de agua absorbida por las chaquetas o aislamientos a base de PVC., dando como resultado una variación en la resistencia superficial del aislamiento o de la cubierta.

Condiciones de prueba.

- a) Se toma una muestra de cable terminado de longitud apropiada.

da.

- b) Para probar el aislamiento se le retira la cubierta si la tuviere. Si la muestra consta de más de un conductor, la prueba debe efectuarse a cada uno de ellos por separado.
- c) La muestra deberá ser sumergida, excepto las terminales, a temperatura ambiente por 48 hrs.

Aparatos y Equipos.

- a) Una fuente de potencial de 250 a 500 volts c. d.
- b) Dos electrodos de hoja de 25.4 mm., de ancho.

Procedimiento.

- a) Una vez que el cable ha sido sumergido durante 48 hrs., deberá ser eliminado el exceso de agua y secado con papel secante y permanecer a la temperatura ambiente durante 10 minutos.
- b) Los dos electrodos deberán ser insertados alrededor de la superficie del cable con unos 152 mm., de espaciamiento.
- c) Un potencial de 250 a 500 volts c.d. deberá ser aplicado - entre los dos electrodos y la resistencia deberá ser medida de acuerdo con la norma ASTM D 257.
- d) La resistividad de superficie será calculada con la siguiente fórmula.

$$p = 3.38 RD$$

Donde:

p = Resistencia específica de superficie.

R = Resistencia de superficie en megohms por 15.2 cm., de espacio.

D = Diámetro del cable en cm.

5.12.6 Prueba de Descarga con doblas en "U".

Objeto.

Verificar la rigidez dieléctrica de las cubiertas y conductores cuando estos son sujetos a doblacas.

Condiciones de prueba.

- a) Las muestras deberán ser tomadas de cable terminado.
- b) Las muestras no deberán ser tomadas de los primeros 1 500 mts.
- c) Una muestra deberá ser tomada de los primeros 1 500 mts., - a 6 000 mts., de cada cable en construcción y una muestra adicional por cada 30 000 mts.

Aparatos y Equipos.

- a) Mandril de acuerdo con la tabla 5.7
- b) Plato plano metálico.
- c) Una fuente de 60 Hz., capaz de dar 125 volts de a. c. por 1 000 de espesor de aislamiento nominal.

Calibre del Conductor

Diámetro del Mandril como un Múltiplo del Diámetro Externo del Cable.

8 - 2	6
1 - 3/0	8
4/0 - 500	10
sobre- 500	12

Tabla 5.7

Procedimiento de prueba.

- a) La muestra deberá ser montada con la cumbre de la U encima y en contacto con el plato plano metálico y con las piernas de la U perpendiculares al plato.
- b) Después de no menos de 30 mins., y no más de 45 mins., después del doblado, una fuente de 60 Hr., y un potencial de 125 volts c. a., por 1 000 de espesor de aislamiento nominal será aplicado entre el conductor y el plato.
- c) Este potencial será mantenido constante por un mínimo de 6 hrs.
- d) Esta prueba deberá ser hecha a temperatura ambiente.

5.13 Pruebas para Cables de Energía con Aislamiento de papel impregnado y forro de plomo.

Las pruebas realizadas sobre este tipo de aislamiento fueron descritas en el apartado 5.10.1 de este capítulo, que se refiere a las pruebas de esfuerzo dieléctrico. Con lo que respecta a pruebas eléctricas serán aplicables las pruebas descritas en el apartado 5.14, por lo que nos concentraremos en las pruebas realizadas sobre el forro de plomo.

5.13.1 Determinación del Espesor de Aislamiento y Examen de Cinturón y Pantallas.

Muestras para la prueba.

Las muestras para la prueba deben estar constituidas por trozos del cable, después de eliminar la parte dañada en caso de que la hubiera.

Equipo.

El método más conveniente para medir los espesores en conductores circulares o sectoriales, es por medio de una cinta flexible graduada para medir directamente el diámetro del círculo alrededor del cual se

aplica, o del círculo equivalente al perímetro de una sección no circular (sector) alrededor del cual se aplica la cinta.

Procedimiento.

a) Cables Unipolares y Multipolares con Pantalla.

El espesor medio se obtiene de la semidiferencia entre el diámetro medio sobre el aislamiento y el diámetro medio sobre el conductor.

Para determinar el espesor medio deben efectuarse por lo menos dos mediciones en cada extremo de la muestra en el mismo plano transversal al eje del conductor, desplazadas entre sí 90° aproximadamente. El espesor mínimo se determina por la menor de las mediciones individuales.

b) Cables Multipolares con Cinturón, redondos o sectoriales.

El espesor medio del cinturón se determina por la semidiferencia entre los diámetros sobre y bajo el cinturón, determinados por lo menos en dos mediciones, una en cada extremo de la muestra.

El espesor medio de aislamiento se determina por la semidiferencia entre los diámetros sobre aislamiento y sobre conductor. Se debe efectuar por lo menos una medición cerca de cada extremo de cada conductor en la muestra, obteniéndose para cada cable tripolar no menos de seis mediciones.

El espesor mínimo en cada caso será la medición individual más baja que se haya encontrado.

c) El núcleo del cable, después de quitar el forro de plomo, debe revisarse para determinar el estado del cinturón, si lo hay o de las pantallas exteriores, si las tiene, observando si hay arrugas o roturas de las cintas que pueden comprometer el funcionamiento adecuado del cable.

5.13.2 Determinación del Espesor del Forro de Plomo.

Aparatos y Equipo.

Pie de rey con precisión hasta centésimas de milímetro.

Preparación del Especimen.

De cada extremo de cada cable terminado debe retirarse un espécimen de por lo menos 80 mm., del forro de plomo que debe estar libre de maltratos mecánicos y con los extremos cortados perpendicularmente al eje del cable.

Procedimiento.

- a) El espesor del plomo debe determinarse haciendo las mediciones con un calibrador o pie de rey, directamente sobre los especímenes retirados del cable.
- b) Como mínimo deben hacerse en cada espécimen 5 mediciones - igualmente espaciadas alrededor de la circunferencia en planos perpendiculares al eje del cable.
- c) El espesor promedio de cada uno de ellos se calcula por medio de 5 mediciones en cada uno de ellos.
- d) El espesor promedio de ambos especímenes se calcula empleando las 10 lecturas.
- e) La lectura menor de las 5 efectuadas en cada espécimen se considera el espesor mínimo que debe compararse con el especificado.
- f) En el caso de no cumplir en la primera prueba con los espesores especificados, se pueda repetir la medición debiendo deshacerse del extremo un metro de cable y tomar un nuevo espécimen.
- g) El espesor promedio de ambos especímenes, el espesor promedio y el mínimo de cada espécimen deben expresarse redondeados a la centésima de milímetros más próxima.

5.13.3 Prueba de Flexibilidad del Forro de Plomo.

Alcance.

Esta prueba se efectúa al forro de plomo de los cables cuyo diámetro sobre el mismo es mayor de 25 mm.

Aparatos y Equipo.

- a) Segunta para cortar el plomo.
- b) Lima fina para pulir el plomo.
- c) Aparato para la prueba de flexibilidad o su equivalente.

Este aparato debe tener — una mordaza fija y un brazo móvil provisto de placas gufa.

El eje del brazo móvil debe permitir a éste desplazarse un arco de 180°.

Los bordes superiores de la mordaza fija, sobre los cuales se dobla la muestra, deben tener un radio de curvatura de 3.2 mm., aproximadamente. El brazo móvil debe tener un — dispositivo calibrado que permita que la muestra esté sometida a una tensión de 900 Kg., durante la prueba.

Preparación de la muestra.

De los tramos de forro de plomo retirados del cable cuando se realiza la determinación del espesor de aislamiento, se cortan con una segunta los anillos de aproximadamente 13 mm., de ancho. Los bordes de los anillos se pulen con una lima fina, para eliminar las marcas de los dientes de la segunta.

Procedimiento.

- a) Se endereza cuidadosamente la muestra de tal modo que el forro de plomo no se maltrate.
- b) Se coloca la muestra en la máquina de prueba, para lo cual estando el brazo móvil en posición vertical se hace pasar—

la muestra por las placas guía y se la sujeta por la parte inferior de la mordaza fija y por la parte superior en la mordaza del brazo móvil.

- c) Se ajusta el dispositivo de tensión a 900 Kg., antes de -- iniciar los dobles.
- d) Se efectúa el primer dobles de 90° moviendo el brazo hasta que quede en posición horizontal.
- e) El segundo dobles se efectúa regresando el brazo a la posición vertical.
- f) El tercer dobles se hace desplazando el brazo hasta la posición horizontal, pero en sentido contrario al movimiento realizado en el primer dobles.
- g) Se continua en esa forma hasta que la muestra se rompe.
- h) Cada desplazamiento de 90° en cualquier dirección debe contarse como un dobles.

El resultado es el número de dobles a 90° hasta el momento en el que se rompe completamente la muestra.

5.13.4 Resistencia a la Deformación por Dobles.

La prueba de resistencia a la deformación por dobles se debe hacer en muestras tomadas de cada 10 000 mts., o fracción de cable de cada tipo, calibre y tensión nominal. La fracción mínima para prueba debe ser de 2 000 mts.

Alcance.

Esta prueba se efectúa a los cables que tengan plomo de espesor normal y no debe efectuarse en cables que tengan plomo de espesor reducido.

Preparación de la muestra.

La muestra debe tener una longitud de aproximadamente 3 mts., y debe someterse a una temperatura de - 10°C durante dos horas cuando mi-

nimo.

Procedimiento.

- a) Una vez preparada la muestra, inmediatamente se debe doblar a 180° alrededor de un mandril de sección circular que tenga un diámetro de aproximadamente 12 veces el diámetro del cable medido sobre la cubierta de plomo.
- b) Se enderaza nuevamente la muestra y se la dobla sobre el mandril en sentido contrario al primer dobles.
- c) Después se repiten las operaciones anteriores una sola vez de modo que se efectúen un total de cuatro dobles, dos en un sentido y dos en el otro.

La muestra debe sujetarse de tal manera que no pueda girar sobre su propio eje durante el doblado. Los extremos de la muestra no deben estar sellados.

- d) Al enderezar la muestra después del tercer dobles y antes de doblarla por cuarta vez, debe deslizarse sin dañarla a través de un tubo cilíndrico rígido, con una longitud de 45 cm., o de un calibrador rígido cuyas caras paralelas deben tener una longitud aproximada de 45 cm. El diámetro interior del tubo o la distancia entre caras, según sea el caso, debe ser de 6.5 mm., mayor que el diámetro de la muestra, medido con cinta antes de la prueba de dobles, o en una parte no doblada de la misma a no menos de 15 cm., del extremo. En el caso de usar calibrador, la muestra debe hacerse pasar con el plano de dobles perpendicular a las caras del calibrador.
- e) Después de que la muestra se ha doblado por cuarta vez — cuando aún este doblada, se deben cortar 3 especímenes adyacentes de 30 cm., de longitud cada uno, de tal modo que el punto medio del espécimen central coincida con el punto medio del dobles.
- f) El espécimen central debe cortarse cuidadosamente y en for

na perpendicular a su propio eje, se corta y se separa el forro de plomo y se procede a efectuar las mediciones de los espesores del forro de plomo y del aislamiento. El espesor de aislamiento se mide en los dos extremos del espécimen, tal como se indica en el inciso 5.13.1.

El espesor del forro de plomo debe medirse en los dos extremos del espécimen como se indica en el inciso 5.13.2, tratando de encontrar los valores máximo y mínimo de espesor.

- g) Se corta y se separa el forro de plomo de los otros dos especímenes y se les quita el aislamiento cuidando que no se desprendan más de 5 cintas de papel a la vez, examinando éstas en lo que se refiere a rasgaduras de papel.

5.13.5 Determinación de la Adherencia del Polistireno.

Preparación de la muestra.

El espécimen se forma con un tramo de cable de 30 cm., del cual se retiran 125 mm., de la cubierta de cada extremo, para dejar intacto un anillo de 50 mm., en el centro.

Procedimiento.

En una placa rígida horizontal se hace un agujero con diámetro por lo menos de 0.25 mm., mayor que el diámetro exterior del forro de plomo, pero que no lo exceda más de 1 mm., y en ese agujero se mate el espécimen verticalmente. Durante un minuto se aplica al extremo superior una fuerza por unidad de longitud de diámetro exterior del forro metálico de $1.75 \pm 5\% \text{ N/mm.}$, ($178 \pm 5\% \text{ g/mm.}$) y al cual se le resta el peso de la muestra. Debe observarse si el anillo se desplaza. De preferencia la prueba se realiza a temperatura de $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$.

Resultado.

Debe medirse el desplazamiento del anillo en caso de haberlo.

5.14 Pruebas Eléctricas sobre cables terminados.

Pruebas de Voltaje.

Estas pruebas se realizan sobre un tramo de muestra de cable terminado. Excepto para prueba de chispa de C. D., el voltaje deberá ser aplicado entre el conductor o conductores y la cubierta metálica o pantalla metálica, el valor de incremento del voltaje aplicado inicialmente sobre el voltaje de prueba especificado deberá ser aproximadamente uniforme, no deberá ser más del 100 % en 10 segundos y no menor que 100% en 60 segundos.

5.14.1 Prueba de Voltaje de A. C.

Esta prueba deberá ser hecha con potencial de A. C., de un transformador y un generador de amplia capacidad, no menor de 5 KV.

La frecuencia de la prueba de voltaje será nominalmente entre 25 y 60 Hz., y deberá tener una forma de onda aproximadamente a la forma de onda senoidal.

El voltaje de prueba aplicado inicialmente no deberá ser mayor que el voltaje nominal para cables aéreos.

La prueba de voltaje de A. C., deberá durar 5 minutos.

Al terminar la prueba debe reducirse la tensión gradualmente con el objeto de evitar transtornos que puedan dañar al equipo de prueba y la muestra de prueba.

Para cables monoconductores con pantalla y multiconductores con pantalla individual, la tensión debe aplicarse conectando el conductor a los conductores a una de las terminales del transformador y la pantalla o pantallas a tierra junto con la otra terminal del transformador.

Para cables multiconductores con pantalla general, la tensión debe aplicarse entre cada conductor y los restantes junto con la pantalla, conectados a tierra.

5.14.2 Prueba de Voltaje de D. C.

Esta prueba es aplicada para cables con aislamiento externo con voltaje nominal menor a 5 KV., y para todos los cables con voltaje nominal de 5001 KV., o mayor deberá ser hecha después de la prueba de resistencia de aislamiento. El equipo para la prueba de voltaje de D. C., consistirá en una batería, generador o un equipo apropiado rectificador y deberán ser de amplia capacidad.

El voltaje aplicado inicialmente no deberá ser mayor de 3 veces el voltaje nominal de C. A.

La duración de la prueba de voltaje de C. D., deberá ser de 15 minutos para cables con pantalla de aislamiento y de 5 minutos para cables con pantalla externa de aislamiento.

Para cables monoconductores con pantalla y multiconductores con pantalla individual, la tensión debe aplicarse conectando el conductor o los conductores a una de las terminales de la fuente de C. D., y la pantalla o pantallas a tierra junto con la otra terminal de la fuente de C. D.

Para cables multiconductores con pantalla general, la tensión debe aplicarse entre cada conductor y los restantes junto con la pantalla, conectados a tierra.

5.14.3 Prueba de Chispa de C. D.

Esta prueba es aplicable a cables de conductor simple y de uniones de aislamiento de cables con conductores simples, con pantalla de aislamiento externo y con cubierta metálica externa o armadura metálica, con valor nominal de 0 a 2000 volts. El equipo para prueba de chispa de C. D., deberá consistir de un generador de chispa de C. D., de amplio voltaje y de electrodos apropiados. El generador de chispa deberá ser capaz de mantener el voltaje de prueba especificado bajo todas las condiciones normales de fuga de corriente. El voltaje debe ser aplicado entre la superficie externa de el cable y el conductor por no menos de 0.05 segundos. El conductor debe de estar solidamente aterrizado.

El electrodo deberá hacer contacto sobre la superficie expuesta completamente de un cable de conductor simple y de una unión doblada de cables de conductor sencillo.

Cuando una unión doblada de cables de conductor simple es sometida a la prueba de chispa de C. D., los conductores individuales deberán ser probados antes de la unión.

5.14.4 Prueba de voltaje después de la instalación.

Si las pruebas de voltaje son hechas después de la instalación, ellas deberán ser hechas inmediatamente. La prueba de voltaje deberá ser hecha con voltaje de C. D., conforme a la tabla 5.8, y de acuerdo con las condiciones mencionadas anteriormente para pruebas de voltaje de C. D.

Voltaje Nominal de Fase a Fase	Calibre del Conductor	Voltaje de Prueba KV.	
		100 % Nivel de Aislamiento	133 % Nivel de Aislamiento
AWG 5 MCM			
2 001 - 5 000	8 - 1 000	25	25
5 001 - 8 000	6 - 1 000	35	35
8 001 - 15 000	2 - 1 000	55	65
15 001 - 25 000	1 - 1 000	80	100
25 001 - 28 000	1 - 1 000	85	---
28 001 - 35 000	1/0 - 1 000	100	---

Tabla 5.8 Prueba de Voltaje de C. D., Después de la Instalación.

5.14.5 Resistencia de aislamiento.

El aparato de prueba deberá consistir de una fuente de potencia

cial constante de 100 a 500 volts de C. D., y cualquier otro aparato enlistado en la ASTM D 257.

Procedimiento de prueba.

La resistencia de aislamiento deberá ser medida después de — las pruebas de voltaje de C. A. o antes de las pruebas de voltaje de C. D.

Cuando, las pruebas de voltaje son hechas sobre cable o alambre sumergido en agua, la resistencia de aislamiento deberá ser medida — cuando el conductor está sumergido en el agua.

Los cables de conductor simple deberán ser probados entre la cubierta, pantalla metálica o agua.

Los cables de conductor múltiple deberán ser conectados a la terminal negativa del equipo de prueba y las lecturas serán tomadas después de la electrificación de un minuto.

Cada carrete o longitud de alambre deberá tener una resistencia de aislamiento en megohms/1000 mts., a una temperatura de 15.6 °C de no menos el valor calculado como sigue:

$$R = K \log_{10} \frac{D}{d}$$

Donde:

R = Resistencia de aislamiento en megohms/1000 mts.

K = Constante de aislamiento.

D = Diámetro sobre el aislamiento.

d = Diámetro bajo el aislamiento.

Si la temperatura en el tiempo de la medición difiere de — 15.6 °C la resistencia debe ser corregida a 15.6 °C multiplicando el medido por el factor apropiado dado en la tabla 5.9, usando el coeficiente para el aislamiento particular y temperatura en cuestión.

La temperatura del agua no deberá ser menor de 10°C y no mayor de 29.4°C .

5.14.6 Prueba de nivel de extinción de descargas parciales.

Alcance.

Esta prueba se aplica para la detección y medición de descargas parciales que ocurren en los siguientes tipos de cables eléctricos:

- a) Conductor simple con protección y sus uniones.
- b) Cables de conductores múltiples con barro individual..

Definiciones.

Nivel de extinción de descargas parciales.

El nivel de extinción de descargas parciales es la tensión a la cual la magnitud de transferencia de carga aparente, medida en la forma descrita en el párrafo 6.6.4 llega a 5 picocoulombios o menos, cuando la tensión aplicada se reduce a partir de un valor superior a la tensión de iniciación de las descargas.

Superposición.

Es la suma de las respuestas del dispositivo de medición de descargas parciales, debidas a descargas múltiples concurrentes o espaciadas por un lapso de tiempo.

La magnitud de la superposición se expresa por la diferencia en por ciento de dicha respuesta con respecto al valor ó a los valores conocidos de las descargas individuales.

Superposición Negativa.

Es la suma de las respuestas menores que las respuestas de las descargas individuales.

Tiempo de resolución del pulso.

Es la mínima separación de pulsos en microsegundos que produce una superposición positiva de 10 %.

Aparatos de prueba.

Los aparatos de prueba deben ser los siguientes:

- a) Una fuente de C. A., con la capacidad adecuada para la longitud de cable que se va a probar.

El circuito de alta tensión y las terminales del cable deben ser tales que el nivel básico de interferencia no cause una indicación sobre el elemento medidor el cual corresponde a una transferencia de carga de más de 4 picocoulombs.

- b) Un voltímetro conectado al lado de alto voltaje del alimentador de potencia y calibrado al valor indicado en volts rms.

- c) Un elemento medidor de descargas parciales el cual debe concordar con el párrafo de verificación de respuesta del sistema que enunciaremos más adelante en este mismo capítulo.

El elemento medidor de descarga parcial deberá consistir en un detector de etapa primaria el cual debe ser directo o balanceado en forma, un amplificador y un osciloscopio.

La salida del amplificador deberá ser desplegada sobre un osciloscopio, utilizando un alimentador de frecuencia patrón.

La respuesta electrónica en un tiempo del medidor de descargas parciales suplementario y el registro gráfico, usado, no deberá exceder de 2.5 microsegundos y el tiempo de alcance de la correspondiente escala completa no deberá -

exceder un microsegundo. Si un circuito lógico es utilizado, la respuesta no deberá estar sobre más de diez semi ciclos del voltaje de prueba. La ventana electrónica de tiempo base, puede ser utilizada como un registro de ayuda sólo si se puede verificar que la ventana esta abierta entre 0° y 90° y entre 180° y 270° de la forma de onda — del voltaje aplicado.

- d) Un calibrador de descarga parcial. Este debe consistir de un generador de pulso y un capacitor. El generador deberá producir pulsos con un tiempo de levantamiento de 0.5-microsegundo o menos y una duración de 200 microsegundos o más. Estos pulsos deberán ser sincronizados con el ali mentador de potencia y su frecuencia. La capacitancia — del capacitor calibrador deberá estar entre 50 y 150 pico farads.

Calibración del equipo de prueba.

El método de transferencia de carga deberá ser utilizado para calibrar el equipo de prueba. El calibrador de transferencia de carga es igual al producto del acoplamiento de la capacitancia del capacitor — calibrador en faradios y la amplitud del pulso calibrador en volts.

Con el cable bajo prueba conectado entre el transformador y el primario o circuito detector, la ganancia del amplificador deberá ser ajustada de tal manera que la transferencia de carga de 20 picocoulombs sea impresa a través de la terminal distante del cable, uno de los siguientes trazadores de señal deberán ser utilizados.

- a) C. R. T. señal, no menor que 1 cm.
- b) X - Y registro, no menor de 2 cm.
- c) Medidor de transferencia de carga, no menor que 20 % de la escala completa.

Cuando éstos u otros elementos medidores suplementarios son usados, aquellos valores indicados de transferencia de carga no deberán

diferir de los otros por más del 15 %. Esto determinará que una respuesta es obtenible cuando una transferencia de carga de 5 picocoulombs es impresa a través de la terminal distante del cable sin cambio en la ganancia del amplificador.

Cuando el pulso de salida v. s., la transferencia de carga es graficada, la altura del pulso no deberá salir de la linealidad por más del 10 % de la lectura.

Procedimiento de prueba.

La prueba de descarga parcial deberá ser hecha antes de la prueba de voltaje de C. D.

Un voltaje de prueba de C. A., con una frecuencia entre 49 y 61 Hz., será aplicado entre el conductor y la componente metálica de la cubierta de aislamiento. El voltaje aplicado deberá ser elevado hasta que la respuesta de la descarga parcial sea detectado, pero no deberá exceder el voltaje de prueba de C. A. El voltaje deberá ser disminuido a no más de 2000 volts por segundo para determinar el nivel de extinción de descarga parcial.

Si la existencia de descargas no es evidente después que el voltaje ha sido aumentado sobre un valor del 20 % por encima del mínimo valor de extinción, el cable deberá ser considerado satisfactorio para esta prueba.

El voltaje aplicado deberá ser mantenido por más de 3 minutos durante cualquier prueba sencilla.

5.14.7 Prueba de Tensión de impulso a la ruptura en conductores eléctricos aislados.

El siguiente procedimiento de prueba está diseñado para pruebas de impulso en conductores aislados, como prueba de diseño o desarrollo y no como prueba de especificación o de rutina en producción.

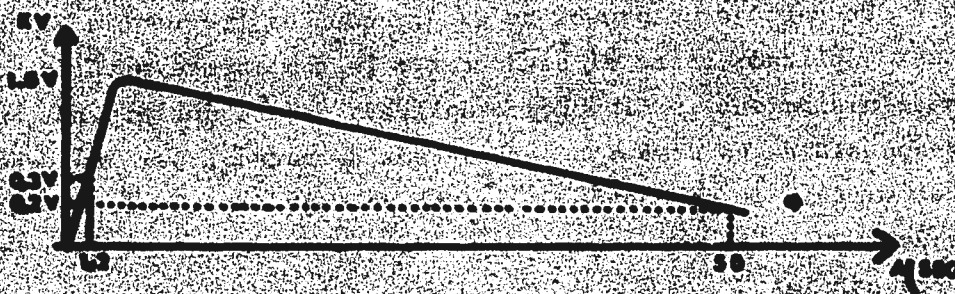
Equipo de prueba.

El generador de impulsos debe tener la suficiente capacidad para entregar la tensión y la forma de onda requerida dentro de las tolerancias del conjunto.

Debe usarse una onda nominal de 1.2/50 microsegundos.

Debe disponerse de un divisor de tensión y un osciloscopio de rayos catódicos, a fin de que la forma de onda sea observada y registrada.

La forma de onda debe ser como la mostrada en la siguiente figura:



La forma de onda debe determinarse a tensión reducida con la muestra de prueba desconectada.

La forma de onda debe estar dentro de las siguientes tolerancias.

Frente de Onda	1.2 microsegundos	30 %
Cola de la Onda	50 microsegundos	20 %

Preparación de la muestra.

Longitud.

La muestra debe tener una longitud mínima de 3 mts., excluyendo las terminales.

Observaciones.

El electrodo interior debe ser el conductor del cable.

El electrodo exterior aterrizado depende del tipo de cable y rango de extensión.

Los cables con pantalla, incluyendo aquellos que tienen cubiertas metálicas exteriores, deben probarse con su cubierta normal.

Cables de tipo presurizado deben probarse dentro del rango y medio de presión de diseño.

Otros cables con pantalla deben probarse en aire a presión atmosférica.

Terminales para el cable.

Las terminales deben ser adecuadas para asegurar que la falla se presente en el conductor aislado bajo prueba sin influencia de las terminales.

Procedimiento de prueba.

a) Polarización de la tensión de prueba.

La prueba puede ser desarrollada ya sea con ondas de impulso de polaridad positiva o negativa aplicadas sobre el objeto de prueba.

La inversión de polaridad durante una prueba puede afectar el esfuerzo al impulso.

b) Tensiones aplicadas.

Conductores aislados diseñados para una clase específica de tensión.

La onda de referencia debe establecerse y registrarse aplicando una tensión igual a $3/4$ del correspondiente al nivel básico de aislamiento.

La tensión inicial de prueba debe ser aplicada al objeto bajo prueba a un valor igual al nivel básico de aislamiento después de que la onda de referencia ha sido establecida de acuerdo al inciso anterior.

- Conductores aislados no diseñados para una clase específica de tensión.
- La forma de onda de referencia debe establecerse y registrarse mediante la aplicación de una tensión igual a la mitad de la tensión de ruptura prevista.
- La tensión inicial de prueba debe ser aplicada al objeto bajo prueba a un valor igual a las 3/4 partes del valor previsto de tensión de impulso de ruptura.

Esta prueba debe aplicarse después de que la tensión de referencia ha sido establecida de acuerdo al inciso b) del procedimiento de prueba.

c) Relación de incremento de tensión.

Deberán aplicarse 3 impulsos al objeto bajo prueba a cada nivel de tensión.

El nivel de tensión debe incrementarse hasta la falla 6 - hasta que la tensión que soporta el objeto bajo prueba se determine.

CAPITULO VI

EVALUACION DE RESULTADOS

Una vez descritos en el capítulo anterior las pruebas y métodos de prueba a los que están sujetos los cables eléctricos de potencia, es necesario complementar esta teoría con los resultados prácticos de las pruebas realizadas.

En este capítulo, describiremos las pruebas realizadas a un conductor con aislamiento de polietileno clorosulfonado (material termofijo), con voltaje nominal de 5 KV.

Las pruebas a desarrollar, comprenderán los aspectos mecánicos antes y después del envejecimiento del aislamiento y las características eléctricas del aislamiento del conductor

6.1 Pruebas mecánicas antes del envejecimiento.

Objeto.

Determinar las características mecánicas del aislamiento del conductor y comprobar si cumplen con las normas (IPCEA 8-66-524, NEMA WC 7) exigidas por el comprador.

Aparatos y Equipo.

1- Una muestra del cable Tipo SHD-GC para 5 KV, con calibre del conductor de 3/0 AWG., y espesor de aislamiento de 110 mils., con una longitud de 90 cm.

2- Una cuchilla.

3- Máquina para medir tensión.

4- Micrómetro con aproximación mínima de 0.3 mm.

5- Sacabocados de probeta.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

6.1.1 Prueba de Resistencia a la tensión y prueba de elongación.

Desarrollo.

De la muestra del cable, deberán ser retiradas tres tiras de aislamiento de unos 20 cm., de largo por 1.5 cm., de ancho y del espesor del aislamiento.

Una vez preparados los especímenes, deberán ser obtenidas -- las probetas por medio del sacabocados.

En la probeta a revisar, deberán hacerse dos marcas en el -- centro con 25 mm., de distancia y deberá ser colocada en las quijadas de la máquina probadora, con una distancia máxima entre quijadas de 100 mm. El espécimen deberá ser estirado a razón de 500 mm., por minuto hasta -- que sea roto. El espécimen deberá ser roto entre las dos marcas hechas. La resistencia a la tensión del espécimen se calcula dividiendo los Kg. necesarios para romper la probeta por el área de la probeta antes de es-- tirar.

La prueba de elongación hasta la ruptura deberá ser determi-- nada simultáneamente con la prueba de resistencia a la tensión y sobre el mismo espécimen.

La elongación deberá ser tomada como la distancia entre las-- marcas hechas de 25 mm., y la resultante después de la ruptura.

El porcentaje de ruptura a la elongación, es la elongación -- en mm., dividida por la distancia original multiplicada por cien.

Memoria de Cálculo

Las dimensiones de la probeta No. 1 antes de la prueba son -- las siguientes:

Ancho de la probeta	6.35 mm.
Espesor de la probeta	1.82 mm.

El área transversal se obtiene multiplicando el ancho por el espesor de la probeta, quedando como sigue:

$$A = \text{Ancho} \times \text{Espesor.}$$

$$= 6.35 \times 1.82$$

$$= 11.61 \text{ mm}^2.$$

La resistencia a la tensión se calcula dividiendo la carga de ruptura entre el área transversal, en Kg y en mm^2 , respectivamente.

$$\text{Resistencia a la Tensión} = \text{Carga de ruptura} / \text{Área}$$

$$= 16.45 / 11.61$$

$$= 1.41 \text{ Kg/mm}^2.$$

La elongación es el resultado de dividir la distancia que existe entre las dos marcas (hechas antes de la prueba) en el momento de la ruptura por la distancia original expresando el resultado en por ciento.

$$\text{Elongación} = \frac{\text{Distancia entre las marcas en el momento de la ruptura.}}{\text{Distancia original entre las marcas.}}$$

$$= \frac{118 \text{ mm.}}{25 \text{ mm.}} \times 100$$

$$= 475 \%$$

Resultados obtenidos.

Espécimen	Ancho	Espesor	Area	Carga de Ruptura.	Resist. a la Tensión	Alarga- miento- Total.	Elongación
	mm.	mm.	mm. ²	Kg.	Kg/mm ² .	mm.	%
1	6.35	1.82	11.61	16.45	1.41	187	475
2	6.35	2.03	12.90	18.62	1.44	116	465
3	6.35	1.52	9.67	13.69	1.41	118	474
				Suma	4.26	Suma	1 414
				Prome- dio.	1.42	Prome- dio.	471
				Valor- min. de Norma	1.27	Valor min. de Norma	300

6.1.2 Prueba de Deformación.

Desarrollo.

Las probetas deberán ser preparadas de la misma manera que las probetas de la prueba de resistencia a la tensión.

En la probeta a probar, deberán hacerse dos marcas en el centro con 50 mm., de distancia y deberá ser colocada en las quijadas de la máquina probadora, con una distancia máxima entre quijadas de 100 mm. El espécimen deberá ser estirado a razón de 500 mm., por minuto hasta que las marcas tengan una distancia de 150 mm. El espécimen deberá permanecer en la posición de estirado durante 5 segundos y la distancia entre marcas deberá ser tomada un minuto después de haber cesado la tensión.

La deformación es la diferencia entre ésta distancia y la distancia original expresada en por ciento.

Memoria de Cálculo y resultado de pruebas.

Las marcas iniciales en la probeta No. 4 estaban a 25 mm., de distancia y las marcas después de la prueba se encontraron a una distancia de 28 mm., luego entonces la deformación permanente queda como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Elongación} &= \frac{\text{Dist. Final} - \text{Dist. Inicial}}{\text{Dist. Inicial}} \\ &= \frac{28 - 25}{25} \times 100 \\ &= 12\% \end{aligned}$$

Resultados obtenidos.

Especimen	Long. Inicial mm.	Long. Final mm.	%
4	25	28	12
5	25	30	20
6	25	29	16
		Porcentaje - Máximo Espe- cificado	30

6.1.3 Prueba de Esfuerzo a la tensión.

Desarrollo.

Esta prueba deberá realizarse en conjunto con la prueba de resistencia a la tensión.

Para desarrollar esta prueba trabajaremos sobre las marcas hechas en las probetas, y registraremos la carga aplicada cuando las marcas tengan el doble de la distancia original.

El esfuerzo a la tensión se calcula dividiendo la carga aplicada por el área transversal de la probeta antes de la prueba.

Memoria de Cálculo.

El área de la probeta antes de la prueba fué de 11.61 mm^2 , - dato obtenido de la prueba de resistencia a la tensión.

Carga aplicada para que las marcas tuvieran el doble de la distancia original 4.88 Kg., quedando el esfuerzo a la tensión como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Esfuerzo a la Tensión} &= \frac{4.88 \text{ Kg.}}{11.61 \text{ mm}^2} \\ &= 0.4202 \text{ Kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Resultados obtenidos.

Especimen	Area mm^2	Carga Kg.	Esfuerzo a la Tensión Kg/mm^2 .
1	11.61	4.88	0.4202
2	12.90	5.31	0.4116
3	9.67	4.06	0.4193
			Prom. 0.4170
		Valor mínimo de Norma	0.35

6.2 Prueba de envejecimiento acelerado en horno.

Objeto.

Determinar los cambios que presentan las propiedades físicas (resistencia a la tensión y elongación) de las muestras de aislamiento o-

cubiertas protectoras, con el fin de estimar la resistencia del material al deterioro ocasionado por el envejecimiento acelerado en cámara caliente, con circulación natural ó forzada de aire.

Aparatos y Equipo.

- 1- Horno (Conforme a la norma CCOWIE-10.7-7)
- 2- Tres probetas semejantes a las utilizadas en las pruebas de resistencia a la tensión y prueba de elongación antes del envejecimiento.

Procedimiento.

Los especímenes serán introducidos al horno previamente calentado a la temperatura especificada (en nuestra prueba a 100°C), procurando que no se toquen entre sí, ni con las paredes del horno.

El tiempo de envejecimiento será de 168 hrs.

Al terminar el período de envejecimiento, los especímenes se sacan y se colocan sobre una superficie plana hasta que se enfríen a la temperatura ambiente. Se les deja reposar por un período de 16 a 96 horas antes de marcar los especímenes para determinar sus propiedades físicas.

Una vez envejecidos los especímenes serán sometidos a las pruebas de resistencia a la tensión y prueba de elongación.

Resultados Obtenidos.

Especimen	Ancho	Espesor	Area	Carga de Ruptura	Esfuerzo	Alargamiento Total	Elong.
	mm.	mm.	mm ²	Kg.	Kg/mm ²	mm.	%
7	6.3	1.6	10.16	12.30	1.21	76	305
8	6.3	1.8	11.45	13.7	1.2	75	300
9	6.3	1.9	12.09	14.11	1.16	77	308
				Total	3.57	Total	913
				Promedio	1.19	Promedio	304

Para obtener la retención de esfuerzo después del envejecimiento se divide el esfuerzo promedio después del envejecimiento por el esfuerzo promedio antes del envejecimiento expresando el resultado en -- por ciento.

$$\begin{aligned} \text{Retención Promedio} &= \frac{1.19}{1.42} \times 100 \\ &= 84 \% \end{aligned}$$

Mínimo especificado 85 %

La retención de elongación se obtiene dividiendo el promedio de elongación después del envejecimiento por el promedio de elongación -- antes del envejecimiento.

$$\begin{aligned} \text{Retención Promedio} &= \frac{304}{471} \times 100 \\ &= 74.8 \% \end{aligned}$$

Mínimo especificado 60 %

6.3 Prueba de envejecimiento Acelerado en Aceite.

Objeto.

Determinar los cambios que presentan en sus propiedades físicas los aislamientos y cubiertas protectoras a base de PVC., o policloro preno ocasionados por el envejecimiento acelerado en aceite.

Aparatos y Equipo.

- 1- Recipiente de acero inoxidable.
- 2- Máquina para medir tensión.
- 3- Regla graduada en milímetros.
- 4- Aceite S. A. E. No. 20.
- 5- Tres probetas semejantes a las utilizadas en las pruebas de resistencia a la tensión y prueba de elongación antes del envejecimiento.

Procedimiento.

El espécimen de prueba deberá ser sumergido completamente en el aceite a una temperatura de $121^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, durante 18 hrs. El espécimen será retirado del aceite y secado ligeramente para remover el exceso de aceite y suspendido en aire dentro de un recinto a la temperatura ambiente durante 4.5 hrs.

Inmediatamente después, le deberán ser hechas las pruebas de resistencia a la tensión y a la elongación.

La retención de esfuerzo, se calculará dividiendo el promedio de esfuerzo a la ruptura de las probetas envejecidas por el promedio de esfuerzo a la ruptura de las probetas sin envejecer.

La retención de elongación, será valorada de la misma forma que la retención a la tensión pero con los valores correspondientes de elongación.

Resultados Obtenidos.

Especimen	Ancho mm.	Espesor mm.	Area mm ²	Carga de Esfuerzo		Alargamiento	
				Ruptura. Kg.	Kg/mm ²	Total mm.	Elong. %
10	6.3	1.57	9.9	8.74	0.8527	83.00	335
11	6.3	1.93	12.25	10.45	0.8535	99.00	396
12	6.3	1.75	11.12	9.85	0.8856	81.00	327
				Total	2.5918	Total	1 058
				Prom.	0.8639	Prom.	352

$$\text{Retención de Esfuerzo} = \frac{0.8639}{1.4250} \times 100$$

$$= 60.62 \%$$

Mínimo especificado 60 %

$$\text{Retención de Elongación} = \frac{352}{471} \times 100$$

$$= 74.8 \%$$

Mínimo especificado 60 %

6.4 Pruebas Eléctricas.

6.4.1 Prueba de Alta Tensión a Corriente Alterna.

Objeto.

Estas pruebas se aplican a conductores aislados, con el pro-

pósito de determinar si su aislamiento soporta la tensión especificada - en la norma correspondiente.

Aparatos y Equipo.

1- Transformador.- La tensión de prueba puede ser obtenida de un transformador elevador, excitado por una fuente variable adecuada. El transformador y su equipo de control deben ser de tal capacidad y diseño que, con la muestra en el circuito, el factor de cresta de prueba no difiera en más de un 10 % del factor de cresta de una senoide, cuando el valor de la tensión de prueba ha alcanzado el 50 % ó más de su valor final.

2- Interruptor.- El transformador de prueba debe protegerse mediante un interruptor diseñado en forma tal que abra el circuito automáticamente en caso de que el aislamiento falle.

3- Generador con campo regulable ó algún otro control de tensión.

4- Voltímetro.- La tensión debe medirse por cualquier método apropiado que de valores eficaces, valiéndose preferentemente de un voltímetro conectado a una bobina terciaria de diseño apropiado en el transformador de prueba.

5- Amperímetro.- Capáz de medir la corriente de fuga con escala apropiada cuando sea necesario.

6- Cronómetro.- Con rango hasta de 1 hora.

Preparación de la muestra.

Se retiran en ambos extremos la cubierta protectora exterior y los rellenos.

La pantalla se desenrolla y sin cortarla se conecta a tierra. Se quita el aislamiento en cada conductor en un sólo extremo del cable para efectuar las conexiones. En el extremo del cable se separan los conductores entre sí para evitar arcos.

Procedimiento.

- a) Inicialmente la aplicación de la tensión no debe ser mayor del 20 % de la tensión de prueba (13 KV), y se debe incrementar uniformemente hasta alcanzar la tensión especificada de prueba en no menos de 10 segundos ni más de 60 segundos y mantenerse en ese valor durante 5 minutos. Si la prueba se interrumpe, se debe incrementar el tiempo total de prueba en un 20 % por cada interrupción. Al terminar la prueba debe reducirse la tensión gradualmente -- con el objeto de evitar trastornos que puedan dañar al equipo de prueba y al cable probado.
- b) La tensión debe aplicarse entre cada conductor y los restantes, junto con la pantalla, conectados a tierra.

Resultado Obtenido.

En el caso del cable entero (sin empalmes) no falló ninguno de los aislamientos, sin embargo se probó un cable con empalme, registrándose la falla precisamente en el aislamiento del empalme, lo que nos hace pensar en mejorar la técnica y calidad de los empalmes, ya que los materiales de los aislamientos de los conductores cumplen satisfactoriamente con las normas establecidas.

Con esto se demuestra que el punto de empalme es donde pueden existir más fallas, en consecuencia se deben evitar al máximo los empalmes.

6.4.2 Resistencia de Aislamiento.

Objeto.

Determinar la resistencia de aislamiento del conductor con material termofijo.

Condiciones de prueba.

- a) Esta prueba se realiza a una temperatura de 15.6°C.
- b) La prueba se efectúa sobre la longitud total de la muestra.
- c) La prueba se debe realizar después de la prueba de potencial con A. C.

Aparatos y Equipo.

- 1- Termómetro con escala de 0 a 50°C como mínimo y que permita lecturas de 0.5°C.
- 2- Un medidor de resistencia con exactitud de 3 %, en el que se pueda leer con claridad un mínimo de 50 000 megohms, a un potencial constante de c. d. entre 100 y 500 volts.

Procedimiento.

En todos los casos, el conductor bajo prueba debe efectuarse a la terminal negativa del aparato y la lectura de la resistencia se debe tomar un minuto después de haberse aplicado la tensión a la muestra.

Para medir la resistencia, se aplica el potencial conectado, el conductor en prueba a la terminal negativa y los demás conductores -- junto con la pantalla a la otra terminal del aparato.

La resistencia de aislamiento mínima especificada para el -- aislamiento de polietileno clorosulfonado a 15.6°C se determina mediante la siguiente fórmula:

$$R = K \log_{10} \frac{D}{d}$$

Donde:

R = Resistencia de aislamiento mínima especificada para un -- kilómetro en megohms-kilómetro.

K = Constante de resistencia de aislamiento a 15.6°C ó 20°C -- (para nuestro caso K = 6096 a 15.6°C para polietileno -- clorosulfonado).

D = Diámetro sobre el aislamiento en mm.

d = Diámetro bajo el aislamiento en mm.

Quedando:

$$R = 6096 \log_{10} \frac{19.19}{13.61}$$

R = 909.62 Megohms - Kilómetros.

Valor real medido de resistencia.

R = 930 Megohms - Kilómetros.

Valor que sobrepasa al mínimo de norma especificada.

6.4.3 Prueba de Extinción de Descargas Parciales.

Objeto.

Determinar el nivel de extinción de descargas parciales en el aislamiento del conductor.

Aparatos y Equipo.

1- Una fuente de C. A., con la capacidad adecuada para la longitud de cable que se va a probar.

2- Un voltmetro conectado en el lado de alta tensión de la fuente, calibrado para leer tensión eficaz.

3- Un dispositivo para medir descargas parciales.

Procedimiento.

La prueba de descargas parciales debe hacerse antes que la prueba de tensión de C. A. Se aplica una tensión de prueba con una frecuencia entre 49 - 61 Hz., entre el conductor y la pantalla metálica so-

sobre el aislamiento. La tensión aplicada debe elevarse lo suficiente para que se obtenga respuesta del detector a las descargas parciales, pero no deba ser mayor que la tensión de prueba de corriente alterna (13 KV., para el cable sobre el cual realizamos las pruebas). A continuación dicha tensión debe irse reduciendo a razón de no más de 2000 v/seg., para determinar el nivel de extinción de descargas parciales.

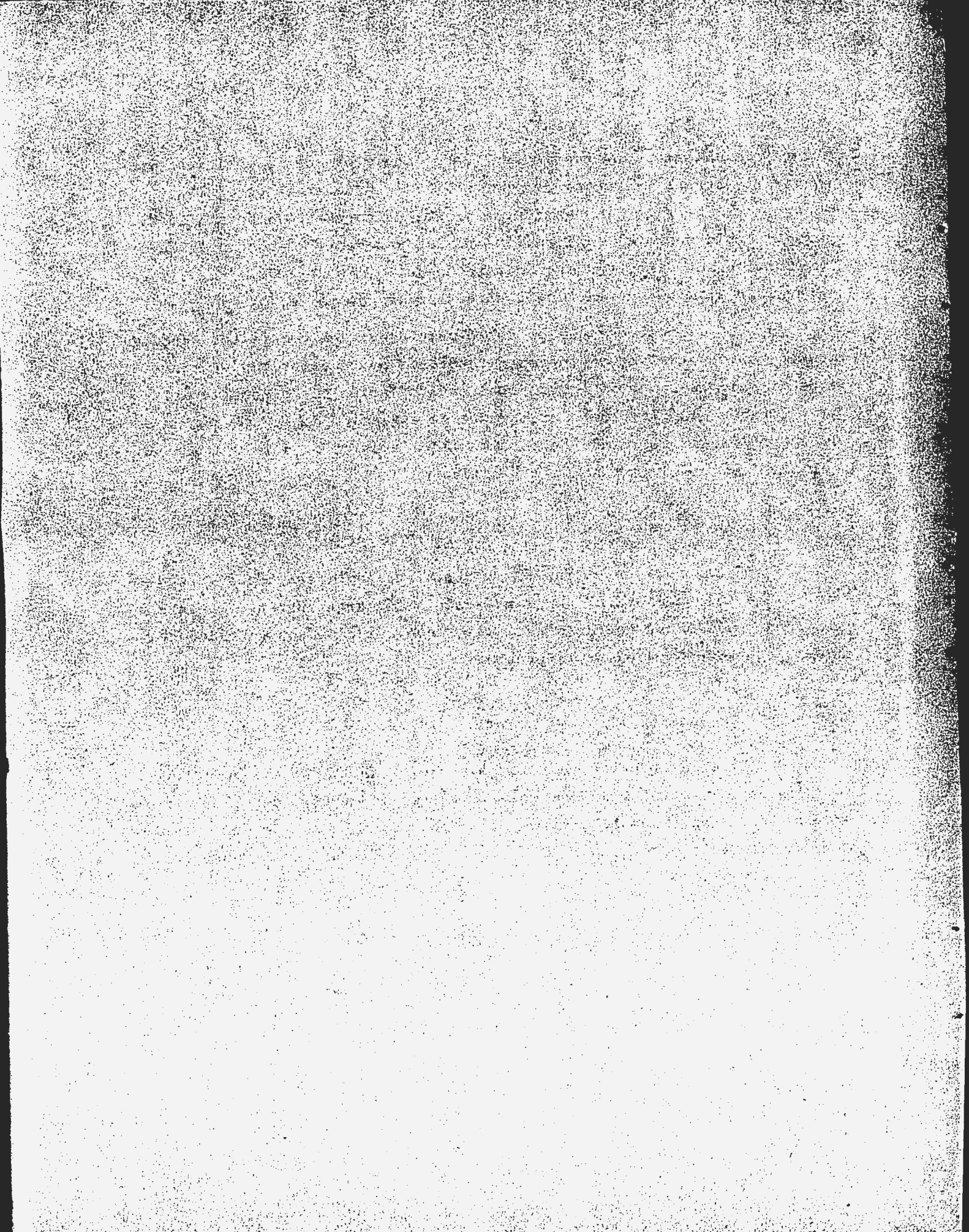
Se considera que el cable cumple con los requisitos de esta prueba, si el nivel de extinción determinado no es menor que el mínimo especificado en la norma correspondiente. También puede considerarse -- que el cable pasa la prueba si durante la elevación de la tensión no se detectan descargas, cuando la tensión llega a un valor del 20 % arriba -- del nivel mínimo de extinción especificado (6 KV., para nuestro cable).

Resultado Obtenido.

El nivel de extinción de descargas parciales es sea la tensión a la cual la magnitud de transferencia de carga aparente llega a 5-picocoulombs o menos fué de 6 KV., valor que coincide con el valor de norma requerido para pasar la prueba.

6.5 Resumen.

De las pruebas realizadas sobre el cable con aislamiento de polietileno clorosulfonado, se observa que en la mayoría de ellas cumple satisfactoriamente los requisitos, sin embargo, es decisión del comprador el aceptar o no el cable si no cumple con el 100 % de las pruebas.



A P E N D I C E A

C O N C E P T O S G E N E R A L E S

- A.1 Fuerza entre dos cargas.
- A.2 Intensidad de campo magnético.
- A.3 Potencial eléctrico.
- A.3.1 Potencial eléctrico como integral de línea del campo eléctrico.
- A.3.2 Campo eléctrico como el gradiente de potencial eléctrico.
- A.4 Momento de dipolo eléctrico.
- A.5 Densidad de flujo eléctrico.
- A.6 Ley de Gauss.
- A.7 Ley de Ampere.
- A.8 Ley de Faraday.
- A.9 Enlaces de flujo en un grupo de conductores.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

A.1 Fuerza entre dos cargas (Ley de Coulomb).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \hat{r} \quad (\text{Nt}) \quad \text{donde:}$$

F- Fuerza en Newtons.

\hat{r} - Vector unitario que establece la dirección de la fuerza entre las dos cargas.

Q_1 - Carga 1 en Coulombs.

Q_2 - Carga 2 en Coulombs.

ϵ_0 - Permittividad del vacío ($8.85 \times 10^{-12} \text{ f. m}^{-1}$).

r- Distancia entre las dos cargas en mts.

A.2 Intensidad de campo eléctrico.

$$E = \frac{F}{Q} \quad (\text{Nt/Cb})$$

A.3 Potencial eléctrico.

A.3.1 Potencial eléctrico como integral de líneas de el campo eléctrico.

$$V_{ab} = \int_a^b dv = V_b - V_a = - \int_a^b E \cos\theta \, dl = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (\text{V})$$

$$dv = - E \cos \theta \, dl = - \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

A.3.2 Campo eléctrico como el gradiente de potencial eléctrico.

$$\text{Grad } V = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta l} = \frac{\Delta V}{\Delta l} = -E$$

$$\Delta V = -E$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta x} i + \frac{\Delta V}{\Delta y} j + \frac{\Delta V}{\Delta z} k = -E \quad (\text{V/mt})$$

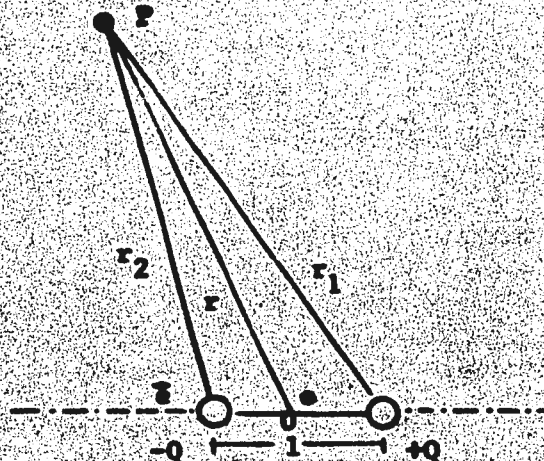
A.4 Momento de dipolo eléctrico.

El arreglo formado por dos cargas de signos opuestos separados por una pequeña distancia r se le denomina dipolo eléctrico.

Si juntamos las dos cargas en un mismo punto la intensidad de campo eléctrico resultante bajo esta condición sería cero, pero como están separados una cierta distancia l entonces existe un campo eléctrico de magnitud--

finita.

Tomando a l como la distancia entre las dos cargas asociada a esta, el vector unitario de dirección \hat{s} , que va desde la carga negativa ($-Q$) a la carga positiva ($+Q$) como lo muestra la figura A-1



El momento de dipolo eléctrico puede ser expresado como el vector $Ql\hat{s}$ con una magnitud Ql cuya dirección es \hat{s} .

Ahora bien el potencial eléctrico de la carga $+Q$ en el punto P es así dado por:

$$V_1 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_1} \quad (\text{Volts})$$

y para la carga $-Q$ en ese mismo punto tenemos:

$$V_2 = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_2} \quad (\text{Volts})$$

El potencial total en dicho punto es:

$$V_T = V_1 + V_2 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (\text{Volts})$$

Si suponemos que $r \gg l$ de tal manera que r, r_1 , y r_2 son casi paralelas, podemos hacer la siguiente consideración:

$$r_1 = r - \frac{l}{2} \cos \theta \quad (\text{Mt})$$

$$r_2 = r + \frac{l}{2} \cos \theta \quad (\text{Mt})$$

donde:

r - Distancia del centro del dipolo al punto P.

θ - Angulo entre el eje del dipolo y r .

Sustituyendo las expresiones de r_1 y r_2 en V_T tenemos:

$$V_c = \frac{Q l \cos \theta}{4\pi \epsilon_0 r^2} \quad (\text{Volts})$$

donde:

V_T - Potencial eléctrico en el punto P.

Ql - Momento del dipolo eléctrico.

A.5 Densidad de flujo eléctrico.

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (\text{Cb/mt}^2)$$

A.6 Ley de Gauss (flujo eléctrico sobre una superficie cerrada).

La integral de superficie de la componente normal de la densidad de flujo eléctrico \vec{D} sobre cualquier superficie cerrada es igual a la carga encerrada por ella.

$$\iint_D \cos \theta \, d\Omega = \iint_D ds = Q \quad (\text{Cb})$$

donde:

Q - Carga neta encerrada por la superficie.

Esta ley también puede ser expresada como la integral de volumen de la densidad volumétrica de carga ρ (coulombs/metros³), de la siguiente manera:

$$\iint_D ds = \iiint_V \rho \, dv = Q$$

$$\oint_S D \, ds = \oint_V \rho \, dv = Q$$

A.7 Ley de Ampere.

La integral de línea de H a lo largo de una trayectoria (lazo) es igual a la corriente encerrada por dicha trayectoria.

$$\int_{\text{Linea}} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I \quad (\text{amp.})$$

como:

$$H = \mu H \quad (\text{webers}).$$

$$\int \vec{i} \cdot d\vec{l} = \mu I$$

Donde:

H = Intensidad de campo magnético amp./mt.

$d\vec{l}$ = Elemento infinitesimal de longitud de la curva cerrada en mts.

I = Corriente encerrada en amperes.

A.8 Ley de Faraday.

La fuerza electromotriz \mathcal{E} inducida en un circuito cerrado es -- igual al cambio con respecto al tiempo del flujo magnético total encadenado por el circuito.

$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi}{dt}$$

(vols)

El signo menos indica que la dirección de la fem inducida es -- siempre opuesta a la dirección del flujo que la produce (Ley de Lenz).

A.9 Enlaces de flujo en un grupo de conductores.

El caso más general de una línea de transmisión, lo constituye -- una línea de n conductores, en la cual la suma de las corrientes de todos -- los conductores es igual a cero.

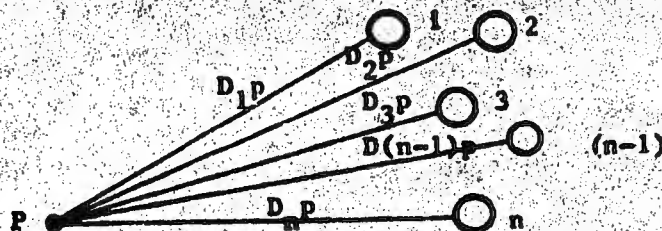


Fig. A-2

La Fig. A-2, muestra los conductores 1, 2, 3, ..., n, los cuales transportan las corrientes $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ respectivamente. Las distancias de estos conductores a un punto lejano P son $D_{1p}, D_{2p}, D_{3p}, \dots, D_{np}$.

Sea ϕ_{1p_1} los enlaces de flujo del conductor 1 debido a I_1 , comprendiendo los enlaces de flujo interno pero excluyendo todo el flujo más allá del punto P, tenemos:

$$\phi_{1p_1} = \left(\frac{1}{2} + 2 \ln \frac{D_{1p}}{r_1} \right) \times 10^{-7} \text{ web/m} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

r_1 = Radio del conductor 1.

Los enlaces de flujo ϕ_{1p_2} en el conductor 1 debido a la corriente I_2 , pero excluyendo el flujo más allá de P, es igual al flujo producido por I_2 entre el punto P y el conductor 1, esto es:

$$\phi_{1p_2} = 2 \times 10^{-7} I_2 \ln \frac{D_{2p}}{D_{12}} \quad \text{(web/m)} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Ecuación (2)

En general los enlaces de flujo ϕ_{1p} en el conductor 1 debido a todos los conductores del grupo, pero excluyendo el flujo más allá del punto P, está dado por:

$$\phi_{1p} = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \ln \frac{D_{1p}}{r_1} + I_2 \ln \frac{D_{2p}}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{D_{3p}}{D_{13}} + \dots + I_n \ln \frac{D_{np}}{D_{1n}} \right) \quad \text{(web/m)} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Ecuación (3)

Desarrollando los términos logarítmicos y operando se tiene:

$$\begin{aligned} \phi_{1p} = 2 \times 10^{-7} & \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \operatorname{Ln} \frac{D_{1p}}{r_1} + I_2 \operatorname{Ln} \frac{1}{D_{12}} + I_3 \operatorname{Ln} \frac{1}{D_{13}} \right. \\ & + \dots + I_n \operatorname{Ln} \frac{1}{D_{1n}} + I_1 \operatorname{Ln} D_{1p} + I_2 \operatorname{Ln} D_{2p} + \dots \\ & \left. + I_n \operatorname{Ln} D_{np} \right) \quad (\text{web/mt}) \end{aligned}$$

Ecuación (4)

ya que se cumple que:

$$I_n = - (I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_{(n-1)}) \quad \text{Asp.}$$

Ecuación (5)

Sustituimos la ecuación 5 en la ecuación 4 y tenemos:

$$\begin{aligned} \phi_{1p} = 2 \times 10^{-7} & \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \operatorname{Ln} \frac{D_{1p}}{r_1} + I_2 \operatorname{Ln} \frac{1}{D_{12}} + I_3 \operatorname{Ln} \frac{1}{D_{13}} + \right. \\ & \dots + I_n \operatorname{Ln} \frac{1}{D_{1n}} + I_1 \operatorname{Ln} \frac{D_{1p}}{D_{np}} + I_2 \operatorname{Ln} \frac{D_{2p}}{D_{np}} + I_3 \operatorname{Ln} \\ & \left. \frac{D_{3p}}{D_{np}} + \dots + I_{(n-1)} \operatorname{Ln} \frac{D_{(n-1)p}}{D_{np}} \right) \quad (\text{web/mt}) \end{aligned}$$

Ecuación (6)

Ahora suponiendo que el se encuentra localizado muy lejos del arreglo de conductores, esto es que se cumpla que las distancias $D_{1p}, D_{2p}, \dots, D_{np}$ sean aproximadamente iguales, tenemos:

$$\begin{aligned} \phi_1 = 2 \times 10^{-7} & \left(\frac{I_1}{4} + I_1 \operatorname{Ln} \frac{D_{1p}}{r} + I_2 \operatorname{Ln} \frac{1}{D_{12}} + I_3 \operatorname{Ln} \frac{1}{D_{13}} \right. \\ & \left. + \dots + I_n \operatorname{Ln} \frac{1}{D_{1n}} \right) \quad (\text{web/mt}) \end{aligned}$$

Ecuación (7)

A P E N D I C E B

CONCEPTOS Y DEFINICIONES CONCERNIENTES A AISLAMIENTOS

- B.1 Plástico.
- B.2 Polimerización.
 - B.2.1 Grado de polimerización.
 - B.2.2 Constitución de las sustancias polimerizadas.
 - B.2.3 Cinética de polimerización.
 - B.2.4 Copolimerización.
- B.3 Policondensación.
- B.4 Aditivos.
 - B.4.1 Plástificantes.
 - B.4.2 Cargas.
- B.5 Colorantes.
- B.6 Catalizadores.
- B.7 Estabilizadores.
- B.8 Fungicidas.
- B.9 Vulcanización.

Quando se somete un solido a un esfuerzo de tracción ó de compresión, se distinguen con claridad tres fases sucesivas:

1- Elasticidad.- El cuerpo presenta elasticidad, o sea, recupera su forma primitiva cuando el esfuerzo deja de aplicarse.

La curva de tracción de un plástico, generalmente tiene el aspecto representado en la figura B-1 donde distinguimos tres partes: OA, AB y BC, correspondiendo respectivamente a los alargamientos elásticos, a los alargamientos plásticos y a la rotura.

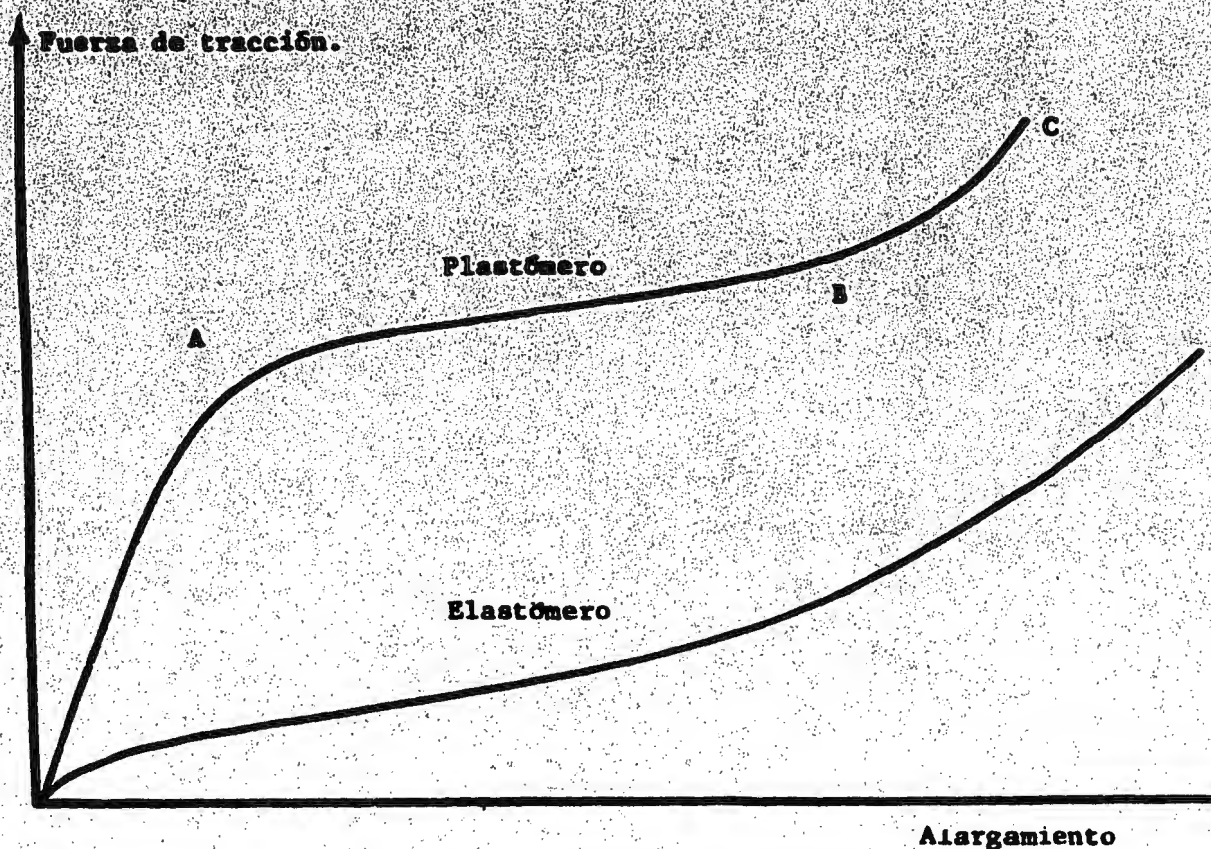


Fig. B-1 Curva de tracción de un plástico .

En general los plásticos presentan a la tracción una elasticidad análoga a la de los metales, el alargamiento elástico excede apenas el 4% a la temperatura ordinaria. Sin embargo algunas sustancias llamadas elastómeros, presentan una elasticidad diferente, caracterizada por el considerable valor de su alargamiento elástico máximo.

Como ejemplos de plásticos usados como aislamientos tenemos:

Poliéster (PE).

Poliéster de cadena cruzada (XLP).

Policloruro de vinilo (PVC).

Como ejemplos de elastómeros usados como aislamientos tenemos:

Caucho

Copolímero butadieno estireno (SBR).

Policloropreno (Neopreno).

Caucho butil.

2- Plasticidad. Apartir de un cierto valor del esfuerzo (límite-elástico), el cuerpo se deforma mas, pero ya no vuelve a recuperar su forma inicial, existe una deformación permanente, el cuerpo presenta plasticidad.

La plasticidad se manifiesta de manera sensible en las sustancias termoplásticas y con una intensidad que aumenta con la temperatura.

En cambio las sustancias termendurecibles no son prácticamente deformables porque sus átomos están unidos solo por enlaces covalentes; su alargamiento a la tracción apenas sobrepasa el 0.7 % en las sustancias termoplásticas.

3- Rotura. Si el esfuerzo aumenta lo suficiente, se produce la rotura.

Cabe distinguir entre rotura por tracción y rotura por compresión (que se produce para cargas mucho mas elevadas) especialmente en el caso de los plásticos termendurecibles (alrededor de 5 veces mas).

B.1 Plástico.

Un plástico es una materia orgánica daformable por plasticidad bajo la influencia de la presión, de la temperatura o de ambos factores conjuntamente, en una cierta etapa o estado de su elaboración.

Un plástico está construido, esencialmente, por un agregado de ma-

macromoléculas orgánicas, o sea que sus moléculas están constituidas por el encañamiento de un gran número (de 100 a 1000) de eslabones de forma bruta idéntica, cada uno de los cuales consta, como máximo de algunas decenas de átomos, ejemplos:

Poliétileno $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$

Policloruro de vinilo $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$

Hay que distinguir dos grandes tipos de macromoléculas.

1- Macromoléculas lineales. En el estado de completa extensión, la macromolécula es una cadena formada, en general, por átomos de carbono cuyos centros forman una línea quebrada en zig zag regular; estos átomos llevan generalmente otros átomos o radicales laterales.

Así el poliétileno en estado de completa extensión tiene la estructura siguiente:



2- Macromoléculas tridimensionales:

Los encañamientos atómicos se desarrollan en el espacio, y las tres dimensiones de la macromolécula son comparables. La cohesión del sólido es mayor que en el tipo anterior. El producto presenta una dureza notable.

Clasificación de los plásticos según el procedimiento de elaboración.

1- Plásticos Naturales

Muchas de las sustancias de los reinos animal y vegetal, utilizadas desde hace mucho tiempo, son esencialmente compuestos macromoleculares como la seda, el caucho, la lana, la celulosa y el almidón.

Ciertas materias tales como las fibras textiles y las resinas naturales son utilizadas sin profundas modificaciones y su elaboración se reduce a una extracción seguida de purificación.

2- Plásticos semisintéticos.

Estos productos se obtienen a partir de macromoléculas extraídas de sustancias naturales, vegetales o animales, después de someterlas a un tratamiento adecuado. Este tratamiento puede ser solamente de orden químico-

o ir seguido de la adición de un plastificante.

Esta categoría comprende dos grandes familias de plásticos que derivan respectivamente de la celulosa y del caucho.

3- Plásticos sintéticos.

Los plásticos totalmente sintéticos son obtenidos partiendo de pequeñas moléculas, por dos importantes procedimientos; la polimerización y la policondensación.

B.2 Polimerización.

Poli es un prefijo agregado a los términos químicos, para indicar que el término es un polímero.

Un polímero es una macromolécula que se obtiene por soldadura de un gran número de moléculas pequeñas e idénticas llamadas monómeros. El polímero o macromolécula y el monómero o motivo correspondiente., tienen pues la misma composición.

La mayoría de los plásticos de polimerización proceden de los compuestos vinílicos de fórmula general $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{X}$ (Monómero) cuyo radical univalente X puede ser de naturaleza variada. Como primera aproximación se admite que en cada monómero se abre un enlace del doble enlace y las moléculas activadas así obtenidas $-\text{CH}_2-\text{CHX}-$ se reúnen unas con otras para crear una macromolécula lineal $\dots-\text{CH}_2-\text{CHX}-\text{CH}_2-\text{CHX}-\dots$ (Macromolécula lineal).

B.2.1 Grado de polimerización.

El grado de polimerización es el número de motivos o eslabones monómeros comprendidos en una macromolécula. Las diversas macromoléculas obtenidas, no presentan nunca un grado de polimerización único.

B.2.2 Constitución de las sustancias polimerizadas.

La edificación de la macromolécula lineal puede presentar diversas clases de irregularidades:

1- El modo de encadenamiento de dos motivos o eslabones entre sí puede efectuarse, de las siguientes formas:



Estas designaciones suponen que CH_2 es la cabeza y CHX es la cola

A lo largo de la cadena, el encadenamiento se produce al azar según una u otra de las tres maneras indicadas o en forma mas o menos regular, según la naturaleza del radical X.

2- La reactivación de una macromolécula puede efectuarse en un punto cualquiera de la cadena por arranque de un átomo de hidrógeno, y la continuación del desarrollo provoca la formación de una cadena lateral o ramificación (se dice entonces que hay transferencia de cadenas). De esta manera en el mas sencillo de los casos, el de la polimerización del estireno, no se obtiene el producto estrictamente lineal previsto, de la fórmula:



La cadena presenta ramificaciones variables debidas al arranque de átomos de hidrógeno y a su sustitución por un radical hidrcarbonado univalente. De manera general pueden distinguirse:

1- Polímeros homogéneos, cuyas macromoléculas tienen la misma estructura y se distinguen solamente por la longitud de las cadenas.

2- Polímeros isómeros, cuyas diversas macromoléculas se diferencian, además, por su estructura. Este caso es mas frecuente.

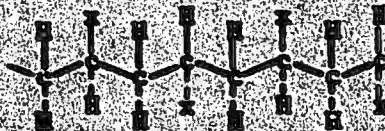
3- Pueden formarse enlaces transversales (puentes) entre dos macromoléculas, ya sea por soldadura de dos cadenas activadas, ya sea por reacción química clásica. Así, al calentar el policloruro de vinilo $(\text{CH}_2-\text{CHCl})_n$ se forma ácido clorhídrico HCl, en cuya constitución intervienen dos macromoléculas vecinas, creandose un enlace transversal.

4- Si se considera la configuración espacial de la macromolécula el carbono del eslabón CHX es asimétrico y el radical X puede situarse delante o detrás del plano de la cadena carbonada. En general, las dos posiciones posibles quedan diseminadas al azar a lo largo de la cadena y el polímero toma el nombre de atáctico.

Sin embargo, con el empleo de catalizadores adecuados se obtienen en ciertos casos, los polímeros llamados isotácticos, donde los sustituyentes siempre estan situados en el mismo lado de la cadena, y también los polímeros denominados sindiotácticos, en los que cada sustituyente tiene una situación opuesta a la de sus vecinos.



ISOTÁCTICO



SINDIOTÁCTICO

5- La naturaleza de los grupos terminales de la macromolécula es poco conocida. Las hipótesis a este respecto son difíciles de comprobar por análisis químico, a causa del espesor de las macromoléculas.

En resumen, la constitución final puede ser compleja en extremo.

B.2.3 Cinética de Polimerización.

Las reacciones de polimerización son reacciones en cadena, en las cuales se distinguen tres fases.

1- En la primera fase o de activación aparecen moléculas activadas (o radicales libres), por ejemplo $-\text{CH}_2-\dot{\text{C}}\text{HX}-$, bajo la acción de la luz o de los choques intermoleculares. Con frecuencia interviene un catalizador.

2- Seguidamente se desarrolla la fase de propagación en el curso de la cual, a partir de un radical libre obtenido anteriormente, las moléculas se forman por adición sucesiva de moléculas monómeras.

La fase de activación es lenta, pero el crecimiento de las macromoléculas es extremadamente rápido. En un instante dado, la materia en curso de elaboración contiene macromoléculas que han alcanzado su longitud definitiva y moléculas monómeras que todavía no han reaccionado. El grado de polimerización es pues el mismo en el curso de la reacción.

3- El crecimiento de la cadena termina con la fase de interrupción.

B.2.4 Copolimerización.

La copolimerización es un fenómeno en virtud del cual dos cuerpos se polimerizan simultáneamente formando una macromolécula mixta. Así -

por ejemplo, el policetocloruro de vinilo es un copolímero obtenido a partir de una mezcla de cloruro de vinilo y de acetato de vinilo, la macromolécula contiene dos clases de motivos:



En este tipo de producto copolimerizado, los motivos están repartidos al azar a lo largo de la cadena y según proporciones que no dependen de la composición de la mezcla original.

Las macromoléculas formadas al principio de la copolimerización casi siempre son más ricas en uno de los monómeros que las formadas al final.

Las propiedades de los copolímeros son intermedias entre las de los dos homopolímeros correspondientes; la copolimerización permite obtener una gran diversidad de productos.

En la copolimerización los motivos monómeros A y B se encadenan al azar, unos a continuación de los otros, la macromolécula tiene la estructura esquemática siguiente:



Existen dos tipos de copolímeros que poseen una mayor regularidad.

1- Copolímeros de largas series, donde los motivos A y B se presentan en varias decenas de unidades.

2- Copolímeros injertados, donde los motivos B forman cadenas laterales sobre una cadena constituida únicamente por A.

B.3 Policondensación.

Las reacciones de policondensación, cuyo mecanismo es muy diferente del que caracteriza a las reacciones de polimerización, se efectúan progresivamente entre una cadena ya formada y una molécula pequeña, o entre dos cadenas ya formadas.

Desde el punto de vista de la plásticidad conseguida por elevación de la temperatura, los plásticos se clasifican en dos categorías muy diferentes.

1- Materias termoplásticas.

Los termoplásticos poseen una plasticidad notable, especialmente bajo la acción de una elevación suficiente de temperatura. Con frecuencia están constituidos por macromoléculas lineales (obtenidas por polimeriza-

ción), y algunas veces, por macromoléculas tridimensionales de pequeñas dimensiones.

La deformación plástica consiste en un deslizamiento de las macromoléculas, unas respecto a las otras, que aparecen cuando el esfuerzo ejercido origina la ruptura de los enlaces laterales, mas débiles que los enlaces covalentes de las cadenas. Se admite que la elevación de temperatura conduce a la ruptura de los enlaces intermacromoleculares a causa del aumento de la agitación molecular y por producirse una dilatación mas acusada en la dirección de estos enlaces que en la de los covalentes.

El fenómeno es reversible con el enfriamiento, y puede reproducirse un gran número de veces sin alteración de la materia. El calentamiento no origina modificaciones químicas.

En general, una plásticidad suficiente, sólo puede obtenerse a partir de una temperatura a la cual la sustancia macromolecular corre el peligro de ser alterada.

2- Materias termoendurecibles o termofijas

Los termofijos son resinas de policondensación, con macromoléculas tridimensionales. Se endurecen progresivamente con el calor y quedan infusibles, lo cual se explica por el hecho de que la policondensación progresa hasta que la red tridimensional queda completamente formada.

Las materias termoendurecibles son vendidas por el fabricante en un estado tal que la condensación no está terminada, por lo cual su plásticidad todavía puede manifestarse; a este producto generalmente se le llama resina. Una vez conferida la forma definitiva a la resina se continua y acaba la condensación y el producto obtenido no puede ser reblandecido por elevación de temperatura.

B.4 Aditivos.

Las macromoléculas, que constituyen el elemento esencial de los plásticos, raramente son empleadas solas, y las características y configuración de éstos se ven altamente mejoradas por la adición de un plastificante o de una carga.

B.4.1 Plastificantes.

Los plastificantes son productos que se añaden a los termoplásticos pa

ra mejorar su fluidez en caliente o su flexibilidad en frío si el producto debe deformarse por elasticidad.

Los plastificantes deben de tener una volatilidad muy baja para evitar su evaporación, y un buen poder disolvente para con el producto a plastificar.

Existen numerosos plastificantes. Los más usados son los fosfatos se emplean también los ésteres cuyo ácido y alcohol tienen naturalezas muy variadas.

La proporción en plastificantes es aproximadamente del 10 al 20 por ciento de la sustancia macromolecular.

El mecanismo de la plastificación tiende a debilitar las interacciones laterales que se ejercen entre las cadenas macromoleculares. Se admite que las moléculas del plastificante penetran entre las cadenas y las separan, lo que disminuye la fuerza de los enlaces laterales y favorece por consiguiente, la deformación plástica.

En algunos casos el plastificante actúa por interposición espacial; es introducido entre las cadenas gracias a la acción de un disolvente que previamente las ha separado por hinchamiento: luego el plastificante queda interpuesto, una vez evaporado el disolvente.

B.4.2 Cargas.

Las cargas son productos sólidos algunas veces asociados a los termoplásticos, y casi siempre a los term endurecibles. Su introducción responde a un doble objeto: bajar el precio de costo de material y, sobre todo, mejorar sus características. Su proporción puede alcanzar el 90 % de la masa del producto final.

Las cargas tienen formas muy diversas y son de origen mineral, vegetal o animal. Las principales son:

Carbono en polvo (grafito, negro de carbón).

Sílice y silicatos en polvo (cuarzo, coalín, talco, mica), o en forma de fibras (amianto, vidrio).

Carbonato de calcio.

Madera en polvo (Harina de madera) o en hojas.

Granalla de aluminio (el producto obtenido toma el nombre de aleación metaloplástica).

Fibras vegetales (algodón, pasta de papel) en forma de copos y de tejidos.

Generalmente, las propiedades mecánicas dependen de las dimensiones de la carga.

B.5 Colorantes.

Para obtener el tinte necesario, se añaden colorantes minerales u orgánicos. Los colorantes minerales son siempre pigmentos, o sea polvos insolubles en las resinas y los disolventes (óxido de hierro, óxido crómico, sulfuro de cadmio, cromatos de zinc y de plomo, azul de cobalto, etc.).

En general los colorantes orgánicos, son también pigmentos; el empleo de colorantes solubles es menos frecuente (plásticos transparentes).

B.6 Catalizadores

Los catalizadores, añadidos en pequeñas proporciones, actúan en la activación de las macromoléculas.

La concentración de los catalizadores actúa, en parte, sobre el valor medio del grado de polimerización y, por otra parte, sobre la heterogeneidad del producto obtenido.

La mayor homogeneidad de un producto se obtiene, en general, con temperaturas elevadas y mediante la presencia de cantidades importantes de catalizadores, con lo cual las reacciones son entonces rápidas.

B.7 Estabilizadores.

Los estabilizadores son sustancias destinadas a impedir una transformación en el transcurso del tiempo (envejecimiento) debido a la influencia aislada o combinada de una elevación de temperatura, de la luz y del oxígeno del aire, por ejemplo, el empleo de antioxígenos en los cauchos.

B.8 Fungicidas.

En los climas tropicales existe el peligro de que ciertos hongos microscópicos puedan alterar los objetos de plástico, atacando a la sustancia macromolecular o a los aditivos. Para impedir el desarrollo de los mohos, puede tratarse la superficie de los objetos, con un barniz fungicida o, mejor todavía, agregar a la masa un producto de este tipo.

B.9 Vulcanización.

La vulcanización da al caucho sus propiedades elásticas usuales-

generalmente se realiza en caliente, hacia los 150 °C calentando al caucho - con un 7 a un 10 % de azufre y en presencia de catalizadores de aceleración.

Los aceleradores de la vulcanización, aumentan considerablemente la velocidad de la operación permitiendo la disminución de la temperatura y actuando sobre las propiedades mecánicas del producto obtenido.

El azufre reacciona con el caucho natural hacia los 150 °C se fija en los dobles enlaces formando puentes de azufre entre dos moléculas proxi-mas.

Según las aplicaciones consideradas, se agregan cargas (particu- larmente negro de carbón), plastificantes, colorantes y productos antioxidan- tes.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Analysis of electrical stress distribution in high voltage cable terminator and joint designs.
H.H.Taj.
General Electric Co.
- 2.- Cables subterranos (Tomos I y II).
José Ramirez Vasquez.
Edit. CEAC, S.A. 1a Edición 1974.
- 3.- Centrales y redes eléctricas.
Buchhold and Maddoldt
Edit. Labor, S.A. 3a Reimpresión de la 2a Edición.
- 4.- Circuit analysis of A.C. power systems. (Vol. I y II).
Edit. CLARKE.
John Wiley & Sons. INC. New York 2a Edición.
- 5.- Circuitos en ingeniería eléctrica.
Huch Hildreth Skilling.
Edit. CEC, S.A. 10a Impresión 1980.
- 6.- Electrical Transmission and Distribucion.
Westinghouse Electric Cooperation.
- 7.- Instalaciones eléctricas generales.
José Ramirez Vasquez.
Edit. CEAC, S.A.
- 8.- Integral insulation shielding for power cables.
Robert C. Graham and James J. Lowe (Part.1)
Underground Engineering, June/july 1971.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

- 9.- **Introducción al análisis químico de los plásticos.**
Krause Amaliese.
Edit. BLUME Madrid 1970.
- 10.- **Manual Eléctrico.**
Conalac, S.A. 2a Edición.
- 11.- **Manual de plásticos.**
Seechtling
Edit. REVERTE Barcelona 1963.
- 12.- **Líneas e instalaciones eléctricas.**
Luca Marin Carlos.
Edit. Avance 3a Edición 1970.
- 13.- **Modular rubber termination weathers test, offers savings.**
Edward T. Diehl, Robert A. Ward.
General Electric Co. oct. 1970.
- 14.- **Power cables and their application.**
Lothar Heinhold.
Siemens Technical Books.
- 15.- **Power cables, their design and installation.**
C.C. Barnes.
Chapman and Hall LTD. 2a Edición 1966.
- 16.- **Power distribution products reference handbook.**
Raychem Corporation.
- 17.- **Sistemas eléctricos de potencia (Tomo 1).**
Viqueira Landa Jacinto.
Representaciones y Servicios de Ingenieris S.A. 1975.
- 18.- **UD. Technical Manual.**
Rome Cable. Fourth Edition 1971.

19.- Tercera reunion de trabajo sobre sistemas de distribución subterránea en México.
IEEE Sección México.
Subcomite de accesorios Vol. IV Nov.25-28,1979.

20.- The linemans and cablemans handbook.
Edwin B Kurts and Thomas M Shoemaker.
Edit. Mc. Graw Hill. 3a Edición 1976.

21.- Underground systems reference book.
Edison Electric Institute. 2a Edición 1954.

NORMAS:

22.- Cables de energía con aislamiento de papel impregnado y forro de plomo. CONIIE Jul. 75

23.- Cross-Linked-Thermosetting-Polyethylene-Insulated Wire-and Cable for the Transmission and Distribution of Electrical Energy. IPCEA - NEMA Standards Publication May.71

24.- Determinación de la resistencia al rasgado en cubiertas protectoras de conductores eléctricos a base de elastómeros CONIIE Feb. 71

25.- Determinación de la resistencia de aislamiento de conductores eléctricos. CONIIE May. 75

26.- Determinación de la rigidez dieléctrica de materiales - aislantes eléctricos. CONIIE Jul. 68

27.- Determinación del esfuerzo de tensión a la ruptura y - alargamiento de pantallas semiconductoras, de los aislamientos y de las cubiertas protectoras de conductores - eléctricos. CONIIE Abr. 80

- 28.- Métodos de prueba de alta tensión a corriente alterna y corriente directa para conductores eléctricos aislados.
CONIIE Feb. 77
- 29.- Método de prueba de extracción por solventes para materiales vulcanizables de base estilénica. CONIIE Nov. 78
- 30.- Método de prueba para determinar el nivel de extinción de descargas parciales en conductores eléctricos aislados.
CONIIE Feb. 77
- 31.- Prueba de dobles en frío de aislamientos y cubiertas protectoras de conductores eléctricos CONIIE Oct. 71
- 32.- Prueba de envejecimiento acelerado en aceite para aislamientos y cubiertas protectoras de conductores eléctricos.
CONIIE Oct. 71
- 33.- Prueba de envejecimiento acelerado en aire caliente a presión, de aislamientos y cubiertas protectoras de conductores eléctricos a base de elastómeros.
CONIIE Jun. 71.
- 34.- Prueba de envejecimiento acelerado en horno de aislamientos y cubiertas protectoras de conductores eléctricos.
CONIIE Mar. 71
- 35.- Prueba de envejecimiento acelerado en oxígeno a presión de aislamientos y cubiertas protectoras de conductores eléctricos a base de elastómeros. CONIIE Jul. 71
- 36.- Prueba de resistencia al choque térmico de aislamientos y cubiertas protectoras de conductores eléctricos.
CONIIE Oct. 71