

● Selección de Cables de Energía

Cable Unipolar

Ventajas.
Fácil de instalar, ligero, emplea terminales unipolares sencillas.

Desventajas.
Aumentan las pérdidas eléctricas, con los cables de intercomunicación se interfieren los campos electromagnéticos que rodean a los cables, no se pueden utilizar cubiertas de metales magnéticos, ocasionan corrientes circulantes en las pantallas ó tubos de plomo, no reparten uniformemente la corriente al utilizar varios cables en paralelo por fase, etc.

Cable triplex (tres unipolares unidos en espiral)

Ventajas.
Se balancea el campo electromagnético por el cableado de los tres conductores. Utilizan terminales unipolares sencillas.

Es más rápida su instalación ya que se colocan en forma simultanea los tres conductores.

Desventajas.
El diámetro de conjunto es mayor que un cable tripolar. El costo es ligeramente mayor a tres unipolares.

Cables tripolares

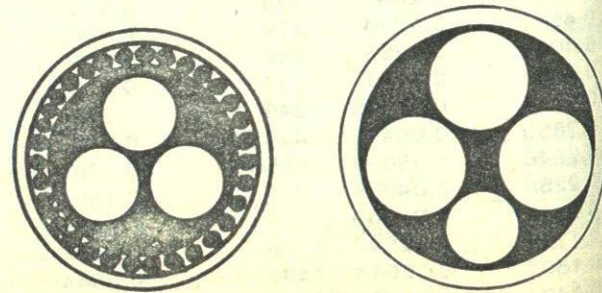
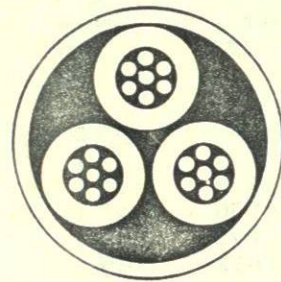
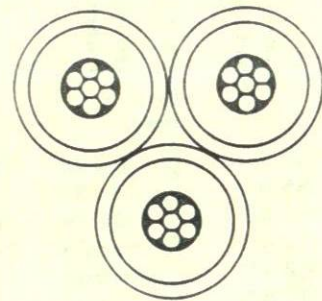
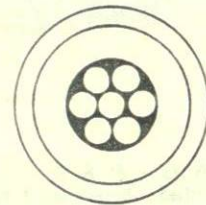
Ventajas.
Si se usan conductores sectoriales el espacio que ocupan es menor del de tres cables unipolares y normalmente tienen un costo menor. En una sola operación se instalan los tres conductores. Generalmente llevan armadura de metal magnético.

Desventajas.
Las terminales unipolares son más complicadas que los unipolares.

Cables tripolares con neutro (3½ conductores)

Ventajas.
El neutro del sistema se tiene en el mismo cable, evitando con esto el instalar otro conductor por separado. Algunas compañías usan el tubo de plomo como neutro, pero su conductividad no es tan buena.

Desventajas.
Mayor costo.



● Propiedades de Aislamientos

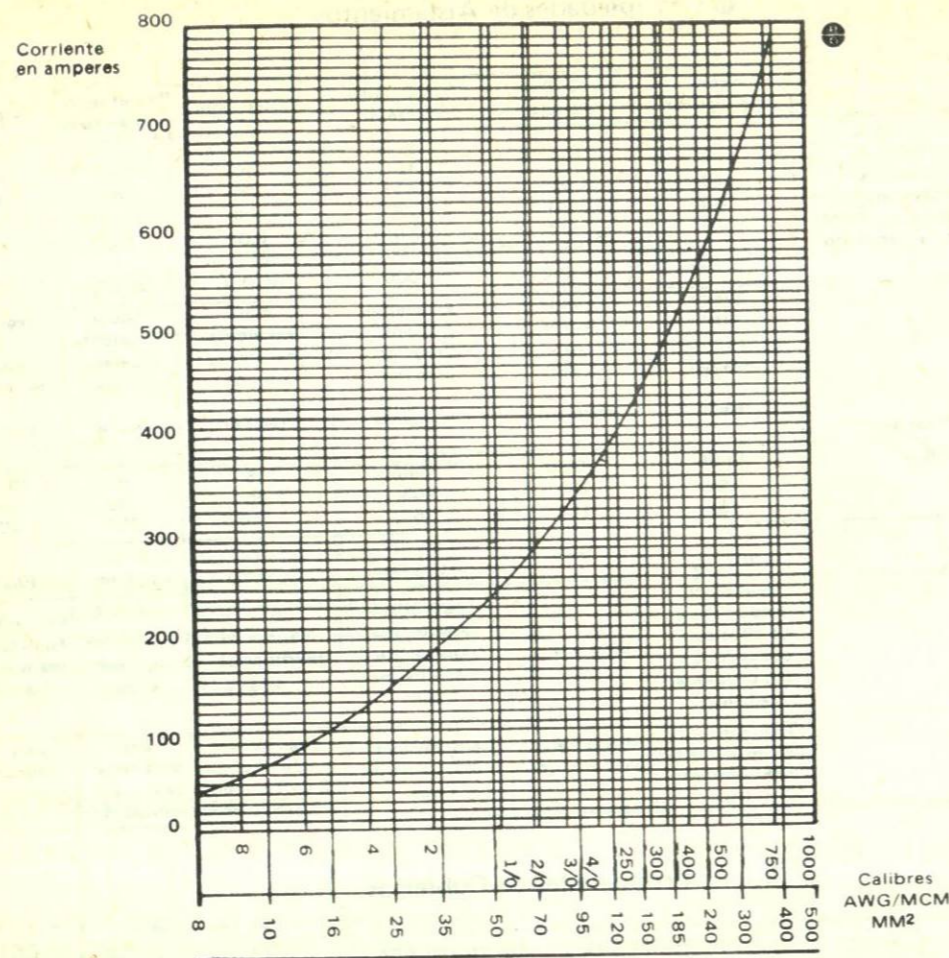
Características	Papel* Impregnado	P.V.C. Bajo Voltaje	P.V.C. Alto Voltaje	Poliétileno	Poliétileno Vulcanizado	Butilic	Cambray Barnizado
Rigidez dieléctrica Kv/mm. (corriente alterna, elevación rápida).	22	12	16	20	20	16	12
Rigidez dieléctrica, Kv/mm (impulsos)	73	40	47	60	60	47	40
Constante dieléctrica, SIC (a 60 ciclos, 75°C)	3.5	8.0	5.5	2.5	2.5	3.5	6.0
Factor de potencia, % (a 60 ciclos, 75°C)	0.8	5.0	3.0	0.05	0.05	1.5	6.0
Constante K de resistencia de aislamiento (megohm/Km)	3 000	5 000	7 000	30 000	30 000	10 000	1 000
Resistencia a la ionización	buena	buena	excelente	mala	regular	regular	regular
Resistencia a la humedad	mala	buena	buena	excelente	excelente	buena	regular
Factor de pérdidas	bueno	malo	regular	excelente	excelente	regular	regular
Flexibilidad	regular	buena	regular	buena	buena	excelente	malo
Facilidad de instalación de empalmes y terminales (problemas de humedad y ionización)	regular	excelente	excelente	regular	regular	buena	buena
Temp. de Operación normal (°C)	75-85	60-90	75-80	75	90	15-90	70-85
Temp. de sobre cargas (°C)	100	100	100	90	130	105	100
Temp. de circuito corto(°C)	160	160	160	150	250	200	160
Espesor de aislamiento comparativo (cable unipolar 15 Kv)	100 %	—	125 %	125 %	125 %	170 %	140 %
Principales Ventajas	Bajo costo Experiencia de años comprobada. Excel. propiedades eléct.	Bajo costo	Bajo costo Resist. a la ionización Fácil de instalar	Factor de pérdidas bajo.	Factor de pérdidas bajo.	Flexibilidad facilidad de manejo. Resist. térmica	Posible fabricar tramos cortos. Experiencia de muchos años.
Principales inconvenientes	Requiere tubo plomo y terminales herméticos.	inadecuado para alto voltaje	Pérdidas comparativamente altas.	Baja resist. a la ionización. Baja temperatura de fusión	Rigidez Baja resistencia a la ionización	Costo elevado. Diámetro mayor.	Costo elevado. Altas pérdidas

● Propiedades de Cubiertas

Características	P.V.C.	Poliétileno Baja Densidad	Poliétileno Alta Densidad	Neopreno	Poliétileno Clorosulfonado	Plomo
Resistencia a la humedad	C	B	B	D	C	A
Resist. a la abrasión	C	C	A	B	A	E
Resistencia a golpes	C	C	B	A	A	E
Flexibilidad	B	C	D	A	A	D
Doble en frío	D	A	B	C	C	B
Propiedades dieléctricas	B	A	A	D	B	—
Resist. a la intemperie	C	A*	A*	C	A*	—
Resistencia a la flama	C	E	E	C	C	B
Resistencia al calor	C	E	E	C	C	B
Conducción térmica (disipación de calor)	D	C	C	B	B	B
Resist. a la oxidación	A	A	A	D	D	A
Resistencia al ozono	A	A	A	C	A	C
Resist. al corte por compresión.	C	C	B	C	C	E
Resistencia a ácidos.	A	A	A	D	B	A
30 % sulfúrico	A	A	A	D	D	A
3 % sulfúrico	D	A	A	D	D	E
10 % nítrico	B	A	A	D	D	A
10 % clorhídrico	A	A	A	D	D	D
10 % fosfórico	A	A	A	D	D	C
Resist. a alcalies y sales.						
10 % hidróxido de sodio.	A	A	A	E	D	C
2 % carbonato de sodio	C	A	A	D	D	C
10 % cloruro de sodio	A	A	A	C	C	C
Resist. a agentes químicos orgánicos:						
Acetona	E	C	C	C	R	A
Tetracloruro de carbón	C	C	C	C	E	A
Aceites	C	C	C	D	D	A
Gasolina	C	C	C	D	D	A
Creosota	D	C	C	C	D	A
Temp. máximo de operación (°C)	90	75	90	90	130	—
Peso específico	1.4	0.9	1.0	1.3	1.2	11.3
Principales aplicaciones	Uso general, cables para interiores.	Cables aéreos a la intemperie. Cubiertas sobre plomo.	Idem. pero cuando se requiera mayor resistencia a la abrasión	Cables flexibles Cables para minas.	Cables flexibles de alta calidad	Cables con aislamiento de papel impregnado Cables para refinerías

* Excelente B - Muy buena C - Buena D - Regular E - Mala

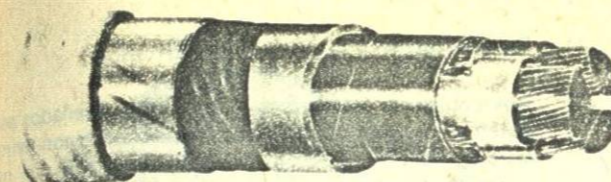
* Únicamente de color negro, conteniendo negro de humo.



Capacidad de Conducción de Corriente

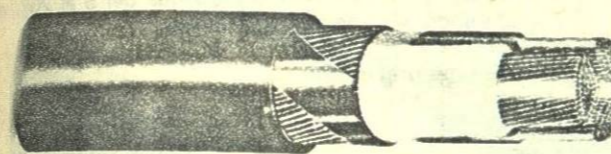
Condiciones supuestas en la gráfica	Factores de Corrección para condiciones diversas	
Factor de carga: 100 %	Si F.C. 75 %	multiplíquese por 1.10 en cables subterráneos " " 1.00 en cables aéreos
Temperaturas Cables Subterráneos Temp. Conductor: 75°C Temp. Terreno: 25°C Diferencia: 50°C	Si hay una diferencia de temperaturas de:	60°C multiplíquese por: 1.10 40°C " " 0.90 30°C " " 0.80
Cables Aéreos Temp. Conductor: 75°C Temp. Aire: 35°C Diferencia: 40°C	Si hay una diferencia de temperaturas de:	50°C " " 1.12 30°C " " 0.87 20°C " " 0.70
Número de conductores: 1	Si el número de conductores en contacto es:	3 multiplíquese por: 0.85 * 6 " " 0.75 9 " " 0.70
	Si el número de conductores sin contacto es:	3 multiplíquese por: 0.90 6 " " 0.80 9 " " 0.75
	* Puede ser un cable tripolar	
Condiciones de Instalación: Cables subterráneos enterrados directamente Cables aéreos en aire libre a la sombra	Para cable subterráneo en ductos, multiplíquese por:	0.85 0.70 0.90

a) Cables de Bajo Voltaje



⊕ Cables de Fabricación Común y sus Aplicaciones

Construcción
Cable trifásico con aislamiento de papel impregnado, tubo de plomo y armado. 1000 volts.
Uso
Distribución secundaria subterránea
Instalación
Directamente enterrado.



Construcción
Cable trifásico con aislamiento de PVC., con conductor neutro opcional, cubierta de PVC. 1000 volts.
Uso
Distribución secundaria subterránea. Distribución industrial.
Instalación
Ductos subterráneos, charolas aéreas dentro de fábricas.

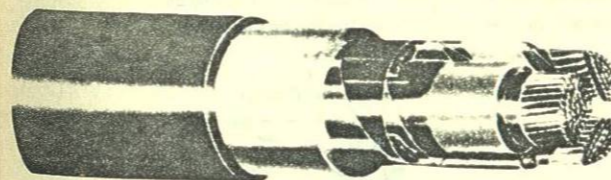


Construcción
Cable monofásico Viniphel, con aislamiento de PVC, 600 volts.
Uso
Distribución en industrias o edificios comerciales.
Instalación
Charolas aéreas, tubos conduit o ductos metálicos.

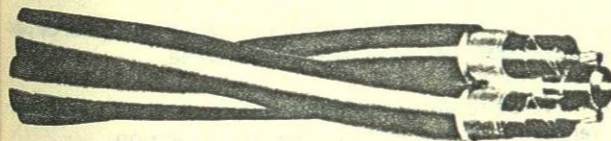


Construcción
Cable trifásico Viniphel armado, con aislamiento de PVC y armadura flexible. 600 volts.
Uso
Distribución industrial
Instalación
Charolas aéreas o sujeto de estructuras o muros.

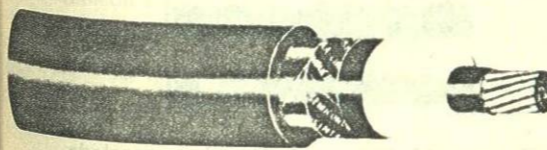
b) Cables de alto voltaje (15000 ó 23000 volts)



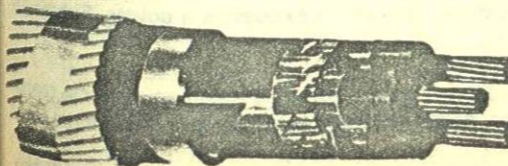
Construcción
Cable trifásico con aislamiento de papel impregnado, tubo de plomo y cubierta de polietileno.
Uso
Distribución primaria subterránea
Instalación
Ductos subterráneos



Construcción
Cable triplex con aislamiento de papel impregnado, tubo de plomo y cubiertas de polietileno. Alternativa aislamiento sintenax, cubierta de PVC.
Uso
Acometidas industriales
Instalación
Del poste de la línea aérea a la subestación, por ducto subterráneo.



Construcción
Cable unipolar con aislamiento de PVC., cubierta de PVC.
Uso
Distribución industrial. Conexiones de equipo en subestaciones de compañías de luz.
Instalación
Charolas aéreas o ductos subterráneos.



Construcción
Cable tripolar con aislamiento de cambray, cubierta de plomo, armadura de hilos de acero.
Uso
Minas
Instalación
Vertical en tiros de mina

⊕ Selección de Voltajes

Tensiones de sistema (1) volts	Tensiones normales de cables (2) volts
220	1000*
440	
2400	3000
4160	5000
6000	6000*
6600	8000
13200	15000*
20000	
22900	23000*

- (1) Tensión entre fases en circuitos trifásicos.
 - (2) Los cables de fabricación normal son diseñados para sistemas con neutro a tierra. Para sistemas con neutro aislado deben construirse cables especiales con mayores espesores o hacer uso de cables para tensiones superiores. Arriba de la tensión nominal, los cables admiten una sobretensión continua del 5 al 20%, dependiendo del tipo de aislamiento.
- * Tensiones preferentes.

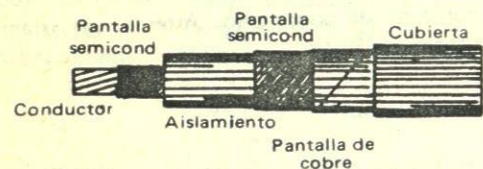
Pantallas Eléctricas

Se utilizan dos tipos de pantalla para control del campo eléctrico en los cables de energía de medio y alto voltaje.

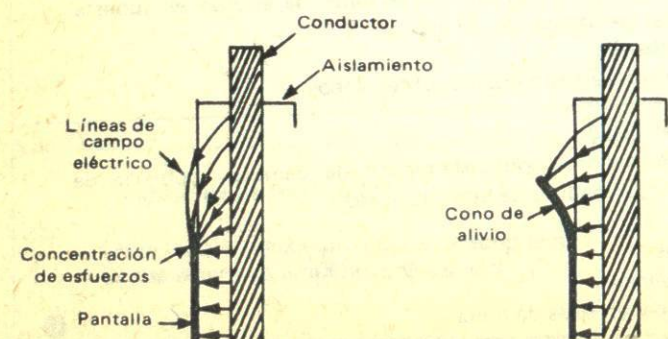
La primera pantalla se aplica sobre el conductor y normalmente es de material semiconductor a base de negro de humo y sirve para hacer que el campo eléctrico alrededor del conductor sea uniforme, lo cual no sucede cuando al conductor lo forman varios alambres.



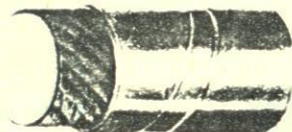
La segunda se aplica sobre el aislamiento y sirve para confinar el campo eléctrico al interior del aislamiento, evitando así gradientes eléctricos superficiales peligrosos. Esta pantalla se utiliza en cables para voltajes superiores a 6000 volts y normalmente está formada por dos cintas, una semiconductor y una de cobre que va conectada a tierra. Para cables unipolares con tubo de plomo puede prescindirse de la cinta de cobre ya que el mismo plomo sirve de pantalla.



Es muy importante hacer notar que al cortar la pantalla sobre el aislamiento en el extremo de un cable, deberá construirse un cono de alivio de esfuerzos para permitir la difusión del campo eléctrico y evitar así la concentración de esfuerzos eléctricos en el lugar donde se corto la pantalla.



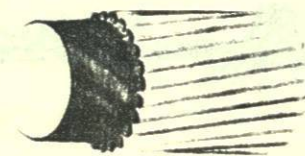
Tipos de armaduras
Flejes de Acero



Construcción
Dos flejes de acero en espiral, el segundo cubriendo el espacio libre dejado por el primero.

Uso.-
Protección mecánica contra golpes y roedores. Empleada en cables enterrados directamente.

Hilos de Acero



Construcción.- alambres de acero colocados en espiral de paso largo, para cubrir toda la superficie del cable.

Uso.- sirve de refuerzo mecánico longitudinal en cables colgados verticalmente o sujetos a esfuerzos de tensión.

Armadura Flexible

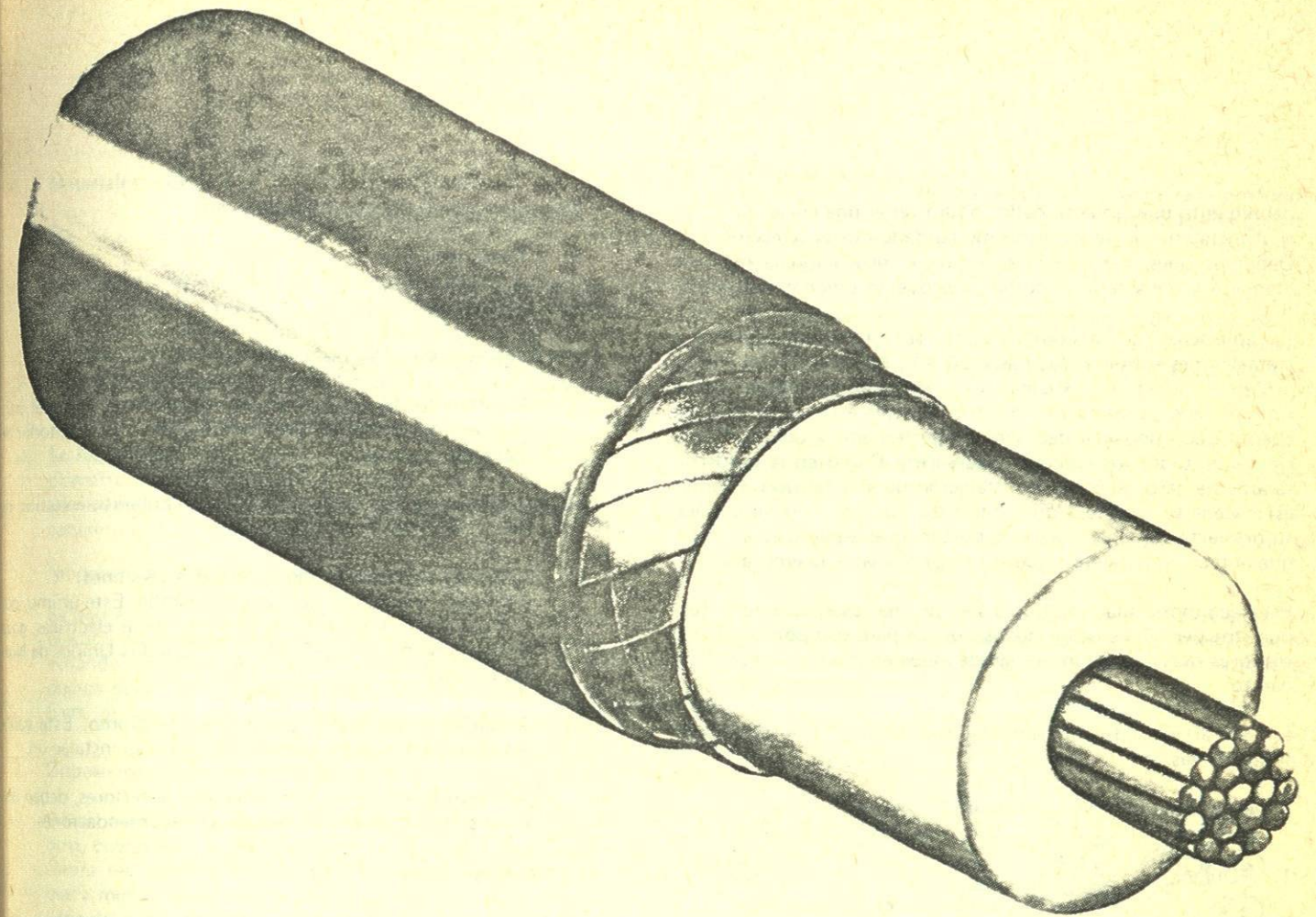


Construcción.- un fleje de acero en espiral, engargolado.

Uso.- como protección mecánica de cables instalados en el interior de industrias, que estén expuestos a golpes, Substituida al tubo conduit.

Las tres armaduras pueden suministrarse con cubierta termoplástica encima, como protección contra la corrosión.

Las dos primeras normalmente son protegidas con una cubierta económica de yute asfaltado para evitar que se maltrate durante la instalación.



⊕ Cables de Energía de Alta Tensión.
Recomendaciones para su Instalación

Introducción

Nuestra industria, en continuo desarrollo, se ha visto obligada a efectuar instalaciones de cables aislados de alta tensión en el interior de sus edificios y en los espacios exteriores de las propias negociaciones.

Es conveniente tener presente una serie de detalles importantes durante la selección e instalación de estos cables, debido a la gran responsabilidad que existe detrás de ellos, para asegurarnos una vida larga, confiable y libre de costosas fallas.

Una instalación de esta índole debe detener una vida útil de 20 ó 30 años, libre de problemas.

Muchos diseñadores recurren, en algunas ocasiones, a consultores extranjeros para calcular una instalación de este tipo, sin considerar que no es aconsejable desligar la selección del cable con la instalación del mismo. El cable de mejor calidad, indu-

El objetivo principal de este artículo es el de ayudar al ingeniero diseñador de una instalación eléctrica subterránea, que, por falta de información y sobre todo de reglamentación, carece de datos concretos para llevar a cabo una buena instalación. Un gran número de fallas en instalaciones subterráneas es causada por instalaciones inadecuadas o por mal trato del cable durante su colocación.

Aquí trataremos de mostrar la práctica correcta en materia de instalaciones subterráneas en la industria, tanto de cables en ductos como enterrados directamente. Hemos recopilado información sobre procedimientos de instalación, materiales usados, disposiciones físicas, terminales, etc.

dablemente bien seleccionado, podrá tener una corta duración si al instalarlo no se da el mismo cuidado que al seleccionarlo. Debemos pues, darles a la selección e instalación la máxima atención y considerarlas como un proyecto único e indivisible.

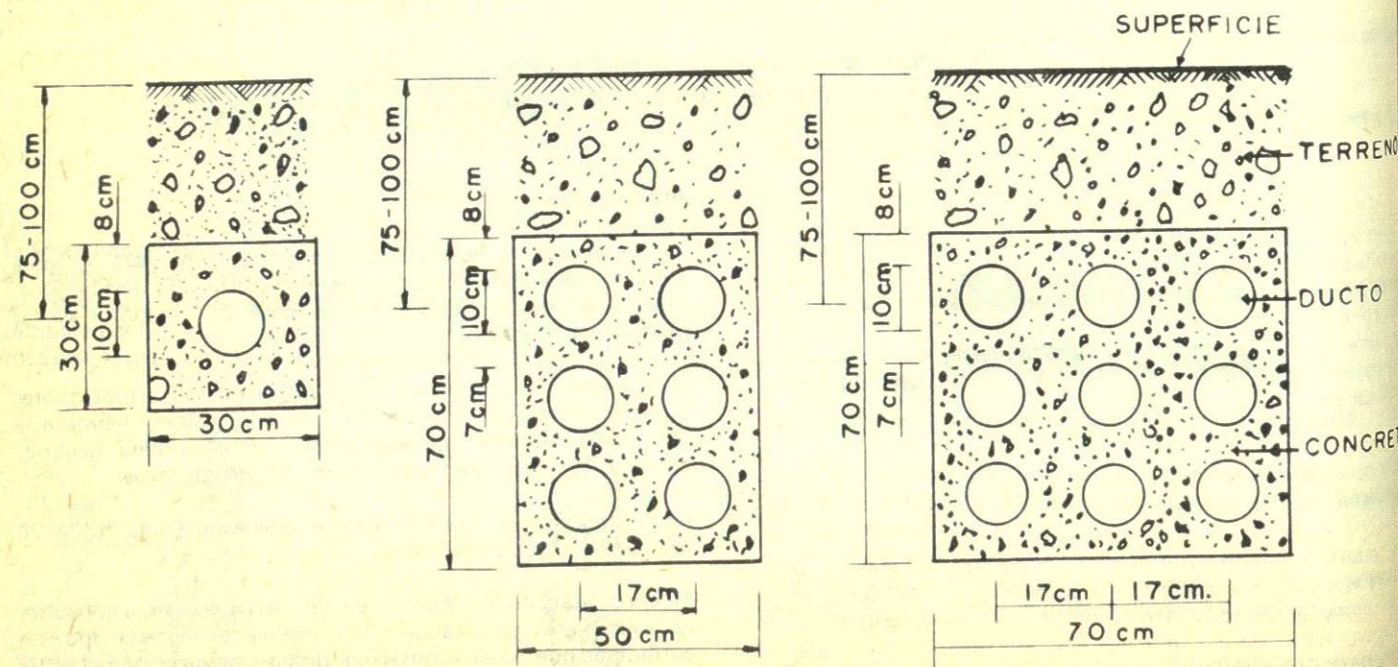
La aplicación de lo aquí descrito, se refiere básicamente a instalaciones subterráneas hasta 25 KV, por ser las más comunes en la industria mexicana. No se incluyen en las compañías suministradoras de energía eléctrica porque éstas generalmente cuentan con personal debidamente entrenado y que está conciente de todos los cuidados necesarios. Como en la industria raramente se presenta una instalación de alta tensión, cuando así sucede se recurre a un contratista que por lo general hace su proyecto dándole mayor importancia al aspecto económico que al técnico para darle gusto a la Gerencia de la empresa.

Esta economía mal entendida siempre dá resultados funestos, pues los perjuicios ocasionados por un paro son por lo general mayores que la economía lograda escogiendo un proyecto más barato.

En este artículo describiremos exclusivamente las instalaciones subterráneas.

Las canalizaciones más usuales son:

- 1) Ductos
- 2) Enterrados directamente
- 3) Trincheras y túneles
- 4) Canaletas



Disposiciones de ductos

Otros conceptos dignos de mención son:

- 5) Terminales
- 6) Empalmes

Los tipos de cables más usuales para la industria son:

- a) Aislamiento de policloruro de vinilo (PVC) especial alta tensión, como el Sintenax de Pirelli o el Protodur de Siemens.
- b) Aislamiento de hule butílico con cubierta exterior PVC o de neopreno.
- c) Aislamiento de polietileno en su dos versiones: Alto peso molecular de cadena cruzada. Este último, su bajo precio y sus buenas características eléctricas, cada día de mayor preferencia en Estados Unidos de América.
- d) Aislamiento de papel y cubierta de plomo. Este requiere de personal especializado para su instalación.

Analizando en detalle los conceptos anteriores, deberá servarse con cuidado las siguientes recomendaciones:

I Cables en Ductos.

Cuando en la ruta de canalización no se considere conveniente el abrir zanjas, como en el caso de que pase abajo de edificios, caminos, etc., se adoptará el sistema de cables en ductos, que permite cambiar los cables con facilidad.

1. Materiales.

a) Para reducir la fricción de los cables durante su instalación, se procurará que la superficie interior de los ductos esté lo más tersa posible. Sus uniones se harán de tal forma que no se formen escalones entre tramo y tramo y los materiales de unión no deberán penetrar al interior ya que al solidificarse forman protuberancias.

b) Se recomienda usar ductos de asbesto cemento con un diámetro interior no menor de 10 cm. Se recomienda también el uso de una cubierta exterior de concreto con 8 cm. de espesor mínimo.

No deben de utilizarse tubos de albañal.

Se podrá hacer uso de ductos rígidos hechos de material plástico cuando las tensiones sean menores de 600 volts, evitando cambios de sección por aplastamientos. Estos ductos deben ser protegidos con una capa de concreto de 5 cm. de espesor, en toda su periferia.

2. Disposición de ductos y cables.

a) Deben evitarse curvas de los ductos entre un registro y otro, cuando no puedan evitarse se procurará que la curvatura sea mínima (12 veces el diámetro del ducto), ya que a menor radio de curvatura es mayor la resistencia al jalón del cable durante su instalación.

b) En un banco de ductos, se instalarán en los ductos externos los cables de mayor sección, para que el calor se transmita al terreno más rápidamente. Los ductos centrales contendrán los cables de menor sección o de comunicación, en este caso se les proveerá de una pantalla electrostática conectada a tierra.

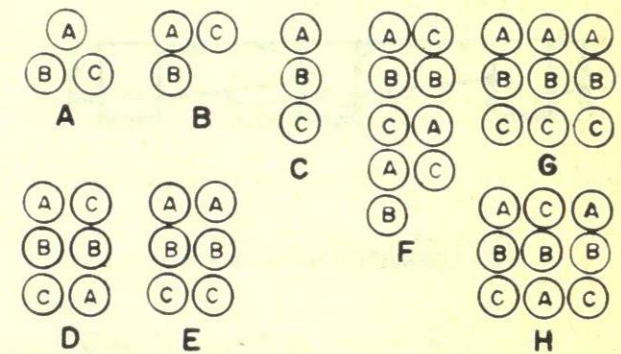
Para la instalación de varios cables iguales en un ducto de varias vías, se considerará el factor de lugar correspondiente (P Torchio, AIEE, transactions 1921).

$$\text{Factor de lugar} = \sqrt{\frac{\text{Pérdidas del ducto considerado}}{\text{Pérdidas promedio}}}$$

Se puede adoptar el uso de 2 bancos de ductos, separados por 30 cm. de tierra.

100	100	95	95	95	80	95
100	100	85	85	80	65	80
Promedio 100%		95	95	Promedio 85%		
Factor de lugar						

- c) Cualquier cable deberá quedar colocado a una profundidad de 75 cm. como mínimo. Para cables de energía con tensiones mayores de 10 000 volts la profundidad mínima será de 1 m.
- d) Se colocará una losa de concreto armado o protección semejante encima de los ductos cuando estén colocados abajo de calles con tránsito pesado y exista la posibilidad de hundimientos.
- e) En un banco de ductos con cables de diferentes voltajes, se instalarán los de mayor tensión en las vías más profundas.
- f) Cuando los ductos se crucen con una fuente de calor, se colocará entre ellos una barrera térmica.
- g) En un ducto de varias vías con cables monofásicos, se escogerá la colocación de las fases de tal modo que se obtenga el máximo equilibrio de las reactancias mutuas de los cables, ver figura sig.




Influencia de la Posición del Cable en la Reactancia

3. Diámetro máximo de cable en un ducto.

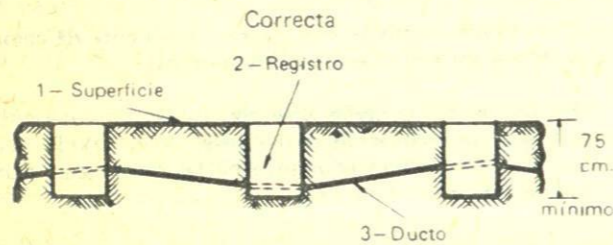
Para un cable solo instalado en ducto, es aceptable una diferencia mínima de 20 mm. entre los 2 diámetros. El diámetro mínimo para un ducto con varios cables pretorcidos debe ser 20 mm. mayor que el diámetro del círculo en el cual queden inscritos los cables. Esto dependerá principalmente del jalón necesario para instalar los cables. Convendrán ductos más holgados en el caso de existir curvas o fricciones.

No deben de instalarse nunca varios cables sin pretorcer en un ducto con diámetro inferior a la suma de los diámetros de los cables más 20 mm.

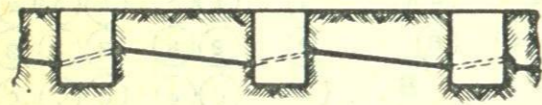
4. Ventilación y drenajes. 

- a) Debe procurarse ventilación natural a todos los ductos.
- b) Las entradas de ductos a edificios deben quedar selladas, para evitar la entrada de gases a ellos.
- c) Los ductos se construirán con una pendiente mínima de 1/2 % para facilitar el drenaje. En grandes longitudes se adoptará la disposición siguiente:

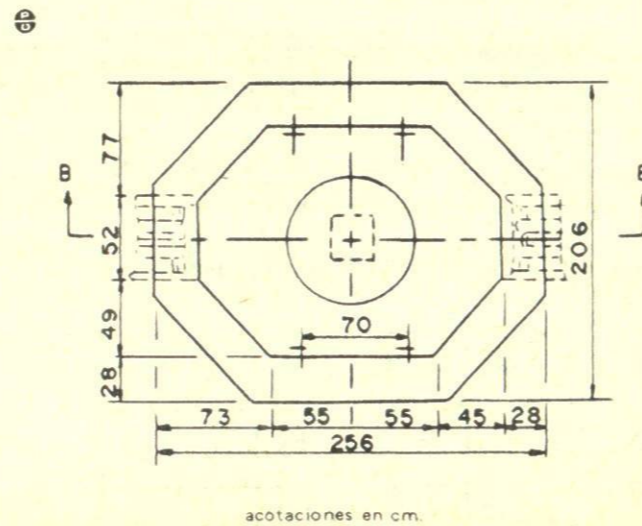
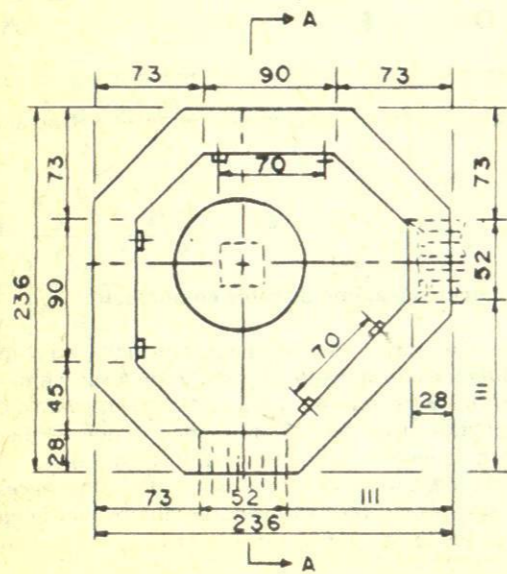
Disposición de la pendiente en ductos.



Sin curvas pronunciadas en las boquillas de los ductos
Correcta



Con curvas pronunciadas en las boquillas de los ductos
Incorrecta



Dimensiones usuales de registros.

5. Número de ductos en un banco.

Es conveniente dejar ductos vacíos para futuras ampliaciones, como mínimo un ducto extra.

6. Registros.

- a) En las figuras siguientes se proporcionan dimensiones sugeridas de los registros más comunes. Puede haber variación en las dimensiones, manteniendo una altura interior mínima de 1.5 m. y 1 m. de dimensiones horizontales.

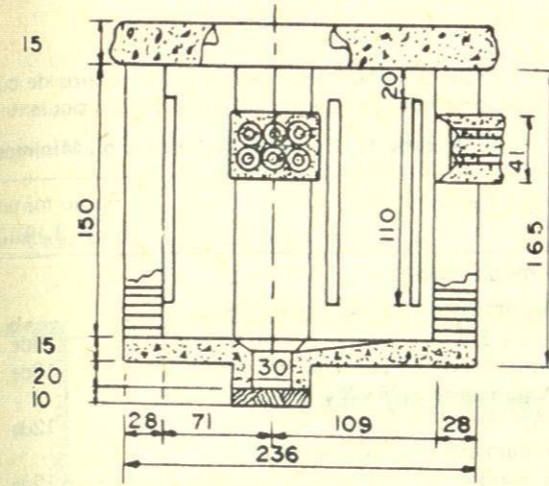
No se adoptarán dimensiones que hagan disminuir el radio de curvatura especificado, ver tabla correspondiente. Cuando en el registro tenga lugar un empalme, la dimensión será adecuada y además deberá tener cable suficiente para soportar el empalme en sus apoyos.

Al salir de los ductos los cables deben tener tramos rectos no menores de 15 cm. antes de comenzar cualquier curva.

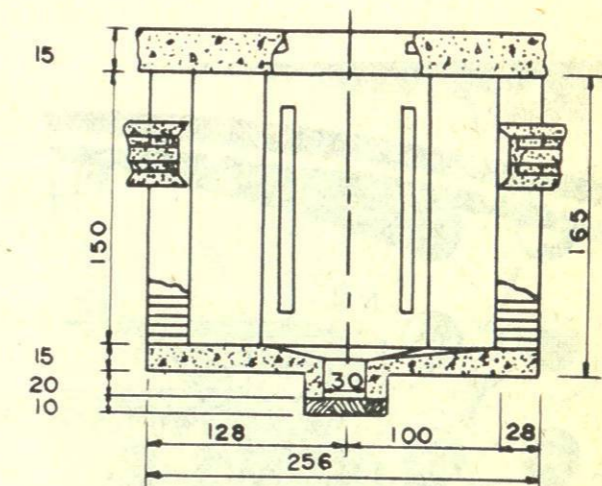
- b) Las tapas y los pozos deben tener la suficiente resistencia para soportar, con amplio margen de seguridad, las cargas que se le impongan.

Las tapas no deben tener dimensiones menores de 60 x 60 ó 50 x 60 cm.

- c) Los pozos deben ser ventilados antes de cualquier intervención humana.



SECCION A-A

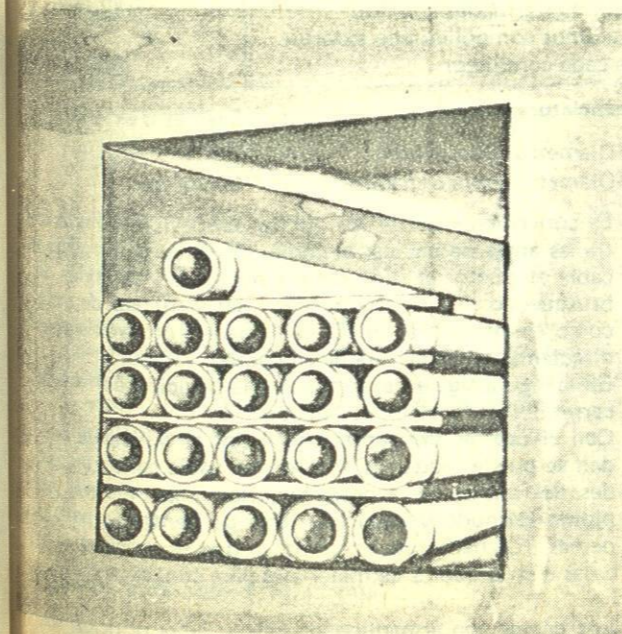
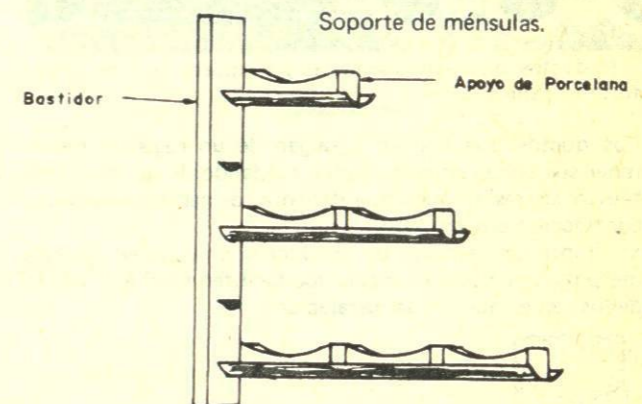


SECCION B-B

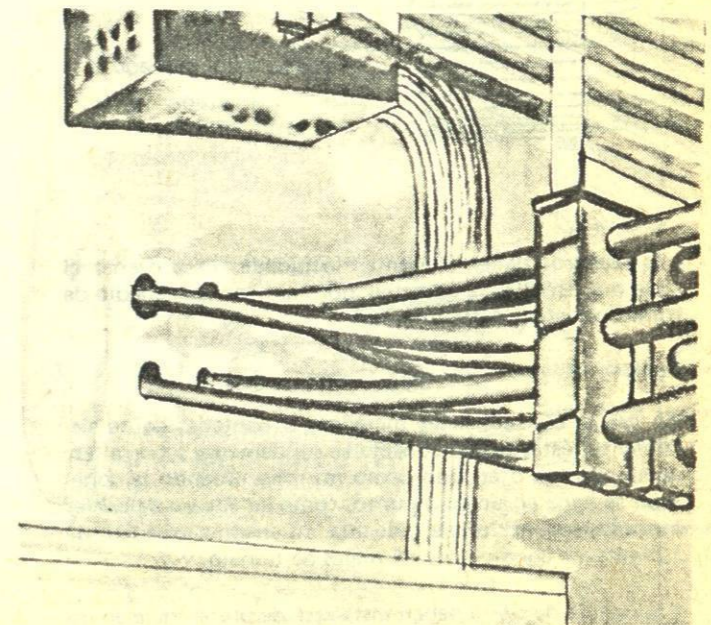
Acotaciones en cm.



- d) Debe procurarse que los cables en el interior queden apoyados en ménsulas con apoyos de porcelana o material equivalente, para que en la expansión o contracción los cables se puedan mover con libertad. Los cables de baja tensión ocuparán las partes superiores y los de alta las inferiores. Como protección de algunos cables, se pueden forrar con cintas no combustibles. No deben estropearse los cables al bajar a un pozo, o al dejarlos al descubierto abajo de una boca. Se procurará dejar curvas que absorban las contracciones y dilataciones, así como el formar reserva de cable para casos necesarios en los pozos que así lo permitan.



Construcción de un banco de ductos de Asbesto Cemento.



Detalle de construcción de la salida de ducto a la ménsula soporte.