

39
209



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

Selección, tipos y aplicación del cable de control

T E S I S

Que para obtener el título de :

Ingeniero Mecánico Electricista

P r e s e n t a n :

J. JESUS CONTRERAS CASILLAS
JORGE FELIPE DE JESUS PINTO BARRERA
MARTIN ESQUIVEL RODRIGUEZ

Director: Ing. Ernesto Díaz Lozano

Ciudad Universitaria D. F.

1987





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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

I N D I C E

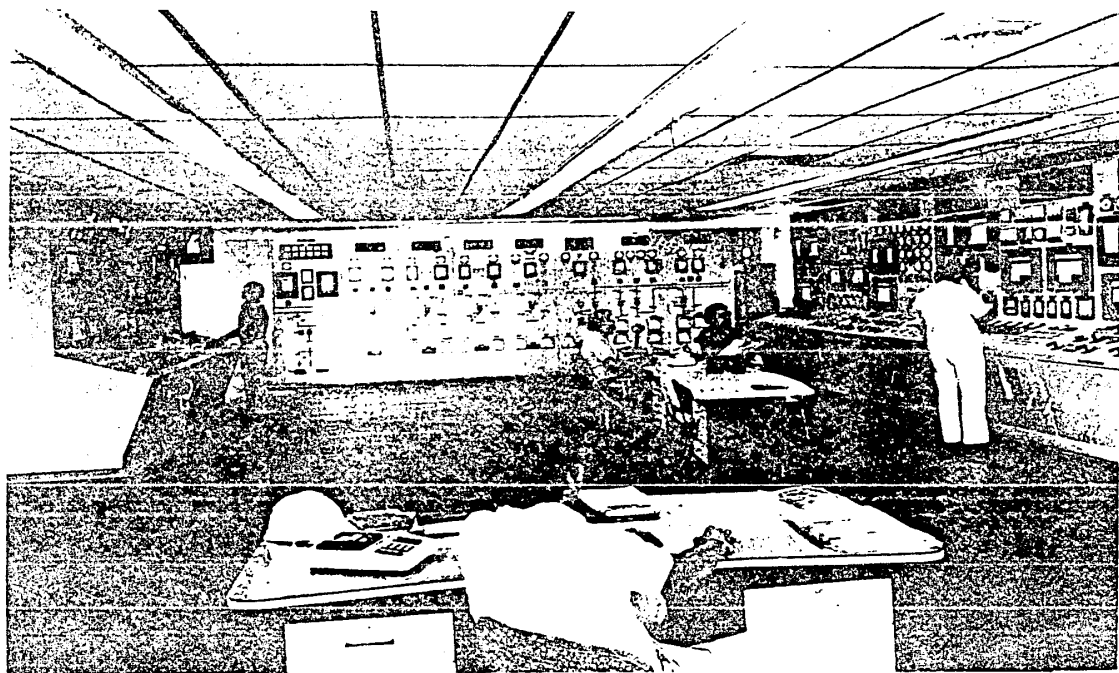
INTRODUCCION	1
CAPITULO I TIPOS, CODIGOS Y CONSTRUCCION.	3
* Tipos de Cables de Control.	4
* Construcción del Cable de Control	8
- El Conductor	9
- El Aislamiento.	9
* Identificación de los Conductores	23
- Códigos	23
CAPITULO II APLICACIONES Y SELECCION DE CABLES DE CONTROL	26
* Factores y requerimientos que intervienen en los criterios de selección del cable de control	27
* Criterios Generales de Selección.	30
* Criterios para selección de cables de control en una subestación de acuerdo a las normas de la C.F.E.	33
* Pruebas de interferencia inducida que deben soportar los cables instalados en subestaciones	35
* Criterios de selección de cables de control para una central nucleoelectrica de acuerdo a los criterios de la C.F.E.	40
* Relación de cables de control identificados por C.F.E. mediante su catálogo interno	44
* Guía para selección de cables de control basada en materiales y condiciones de operación	46

CAPITULO III	INSTALACION DEL CABLE DE CONTROL Y ATAQUE DE ROEDORES . . . . .	. 64
*	Tipos de Instalación del cable de control.	65
	- Localización física	66
*	Aterrizamiento.	72
*	Blindaje metálico en los cables de control	74
*	Agrupamiento	75
*	Ataque de roedores	81
CAPITULO IV	INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA.	83
*	Introducción	84
*	Fuentes de interferencia electromagnética.	84
	- Transitorios en circuitos de c.a. en alta tensión	85
	- Transitorios en bajo voltaje de c.a. y c.d. (auxiliares)	92
	- Transitorios en equipos electro- nicos de potencia.	95
	- Transitorios por efectos de radiofrecuencia	95
*	Acoplamiento electromagnético en relevadores.	96
*	Espectro de frecuencia de la interferencia electromagnética	99
*	Control de la interferencia electromagnética.	101
*	Protección contra el transitorio rápido	103
*	Los cables control y la interferencia elec- tromagnética	104
CAPITULO V	FIBRA OPTICA.	107
*	Generalidades	108
*	Criterios de diseño del cable óptico	112
*	Estructura del cable.	115

* Conducción de la luz por medio de una fibra óptica. . . . .	.120
* Descripción de un sistema de fibra óptica . . . . .	.121
- Transmisor . . . . .	.124
- Receptor. . . . .	.124
* Equipo de soporte para un sistema de fibra óptica. . . . .	.125
- Empalme . . . . .	.125
- Conectores . . . . .	.128
- Acopiadores . . . . .	.129
* Aplicaciones del cable óptico . . . . .	.132
* Estado actual y tendencias de desarrollo . . . . .	.136
* Problemas y necesidades de la industria eléctrica de potencia . . . . .	.138
* Sistemas experimentales en operación basados en fibra óptica. . . . .	.152

A N E X O

* ANEXO A. . . . .	.176
- Especificaciones IMSA . . . . .	.177
- Propiedades de los aislamientos . . . . .	.180
- Propiedades de las cubiertas . . . . .	.181
- Especificaciones técnicas de la construcción del cable control. . . . .	.182
* ANEXO B. . . . .	.195
- Hojas técnicas de algunos tipos de cable de control . . . . .	.196
* ANEXO C. . . . .	.204
- Métodos para determinar el tamaño de los conduits. . . . .	.205
- Tensiones de Jalado . . . . .	.208
CONCLUSIONES . . . . .	.213
BIBLIOGRAFIA . . . . .	.25



SUPERVISION, TELEMETRIA Y CONTROL

INTRODUCCION

La dinámica expansión de los sistemas industriales en la segunda parte de los siglos XIX y XX ha impuesto la necesidad de crear sistemas que permitan el control de los diversos parámetros que conforman a los procesos de la producción.

El control de estos sistemas surge de la necesidad de mantener los niveles de producción dentro de los estándares que permitan ubicar a los mismos en rangos económicamente rentables, es decir, tales sistemas deben cumplir con ser: económicos, eficientes y seguros.

El cable de control es el medio a través del cual se manejan las señales que nos permiten conocer tanto el valor de los parámetros para evaluar el estado de un sistema como las señales por medio de las cuales se realizan las acciones necesarias para mantenerlo en condiciones operativas y seguras.

Los sistemas de control que se utilizan en procesos industriales son, hasta cierto punto, análogos al sistema nervioso. En los procesos industriales el cable de control hace las veces de los nervios en el sistema nervioso.

El siguiente trabajo tiene el propósito de ser una guía que permita conocer:

- a) Los tipos de cable de control y sus características

Cap. I

- b) Los parámetros requeridos para su selección
- c) Las características de su instalación
- d) Las perspectivas de la fibra óptica como sustituto de los cables de control

Dado que la potencialidad de los medios de transmisión de información por cable ha sido prácticamente agotada, en este trabajo se ha incluido un capítulo que presenta a la fibra óptica como la alternativa que tiende a sustituir al cable de control por sus muchas ventajas sobre éste.

CAPITULO I

TIPOS, CODIGOS
Y CONSTRUCCION

TIPOS DE CABLES DE CONTROL

Básicamente existen cuatro tipos de cables control y de instrumentación reconocidos por I.C.E.A. (Insulated Cable Engineers Association) y son clasificados bajo cuatro letras de la manera siguiente:

- TIPO A: Cables supervisores para obtención de información de datos a control remoto, registro de datos y transporte de información tales como comunicaciones, mediciones de flujo, presión y temperatura a las lámparas indicadoras. Tensión máxima de operación 300 volts.
- TIPO B: Cables de control para operación e interconexión de dispositivos de protección y uso general. Tensión máxima de operación 600 V.
- TIPO C: Cables de control para conexión de circuitos con un gran campo magnético, dispositivos de desconexión o donde puedan existir sobretensiones inducidas. Tensión máxima de operación 1000 volts.
- TIPO D: Cables de control, alambres piloto y cables supervisores usados junto a líneas de alta tensión e instalados en paralelo a tales líneas donde las fallas en los cables de alta tensión originan una gran tensión inducida con respecto a tierra en la pantalla de los cables o área vecina. Tensión máxima de operación 500 volts con un nivel de aislamiento respecto a tierra de 5000 volts.

Cap. I

En cuanto a la normalización nacional se refiere, la norma NOM-J-300 considera dos tipos de cable control y cuatro grados de calidad, a saber:

A.- Cables control normales, con materiales termoplásticos, (policloruro de vinilo o polietileno), o con materiales termofijos, (polietileno de cadena cruzada o elastómero del etileno) y cubierta protectora de materiales termofijos, (policloropreno o polietileno clorosulfonado "Hypalon", solo para los aislados con elastómeros del etileno propileno).

B.- Cables control no propagadores de incendio, con material termoplástico, (policloruro de vinilo retardante al fuego), o con materiales termofijos, (polietileno de cadena cruzada o elastómero del etileno propileno, ambos retardantes del fuego), cinta de barrera térmica y cubierta protectora de material termoplástico, (policloruro de vinilo retardante al fuego), o de materiales termofijos, (policloropreno o polietileno clorosulfonado "Hypalon", ambos retardantes al fuego y sólo para los aislados con elastómero del etileno propileno).

Existen otros tipos de cables de control, comunmente desarrollados para una aplicación específica la cual da lugar a un diseño exclusivo. Entre estos están los cables de control de tráfico, cubierto por las especificaciones de I.M.S.A. (International Municipal Signal Association).

Cap. I

Las especificaciones de I.M.S.A. sobre cables y alambres son desarrolladas y escritas por el comité permanente para cables de I.M.S.A.

Estas especificaciones son formalmente revisadas, corregidas y reimpresas cada cinco años o más frecuentemente en caso de ser necesario.

En la parte anexa presentamos la información concerniente a las nuevas especificaciones de I.M.S.A. del año 1984 así como una tabla a manera de lista de la especificación, aplicación, tipo de instalación y características del diseño del cable. (ver tabla I-A)

Otro tipo de cable, el cual es algunas veces considerado en el mismo campo de control de tráfico como un cable de control común, es el cable de instrumentación.

Básicamente los cables de instrumentación realizan dos tipos de operación. Estos operan mecanismos de baja corriente además de llevar información. Los mecanismos de baja corriente que son operados por estos cables podrían ser circuitos electrónicos de conmutación, pequeños relevadores y demás mecanismos similares. Estos cables con frecuencia son usados sin embargo para transportar señales de información, transmisión de datos, monitoreos de temperatura y presión y sus desplegados en pantalla, comunicaciones y otros servicios similares.

La construcción del cable de instrumentación es a menudo muy crítica, esto, relativo al alto nivel de los cables de control para operación. La protección es a menudo una necesidad definitiva, construcciones coaxiales y triaxiales.

Cap. I

son comunes. Los conductores son frecuentemente agrupados en pares y triadas y estos grupos son apantallados y además agrupados en paquetes de conductores. Las construcciones son casi tan variadas como aplicaciones existen y hay aplicaciones dondequiera que haya alguna forma de información para ser transmitida.

Por último haremos mención del cable telefónico ya que aunque el uso de este cable se centra principalmente en las telecomunicaciones, se les ha dado también el uso de enlaces para la supervisión, mediante la cual se obtienen datos a control remoto, registro y transporte de información.

El tratamiento de la construcción de este cable en sí, merece, debido a su gran variedad de diseños, una discusión aparte. Además, el continuo crecimiento de las redes de telecomunicaciones aunado a la exigencia cada vez mayor de los usuarios de disponer de servicios adicionales a la simple comunicación telefónica así como mayor eficiencia e invulnerabilidad, ha obligado a las empresas telefónicas y a los fabricantes de equipos, cables y servicios a proporcionar los sistemas en tal forma que en la presente década se están experimentando sistemas que comprenden servicios que van desde hacer compras sin salir de casa, reservaciones, hasta servicios como el videoteléfono, etc.

Los sistemas tradicionales que operan en la actualidad no son adecuados para la presentación de los servicios mencionados por lo que fue necesario desarrollar y perfeccionar los sistemas de transmisión de señales a través de ondas luminosas. En su oportunidad se hará referencia en forma amplia de las ventajas que se llegan a tener con el uso de esta tecnología en el campo de la supervisión y el control.

Cap. I

CONSTRUCCION DEL CABLE CONTROL

En general, puede decirse que un cable eléctrico en su forma más elemental está formado por los siguientes elementos:

- conductor
- aislamiento

En cuanto al cable de control en sí, su construcción requiere de una serie de elementos adicionales que complementan a los citados anteriormente y que responden a necesidades definidas de uso y operación.

El cable de control, en general estará constituido por los siguientes elementos:

- uno o más conductores
- aislamiento individual para cada conductor
- rellenos
- cinta reunidora
- cubierta exterior

Un elemento más es la pantalla electrostática, propia de los cables control usados en aplicaciones bien definidas. Más adelante se hablará al respecto.

A continuación nos referimos a cada uno de los elementos constitutivos del cable control:

Cap. I

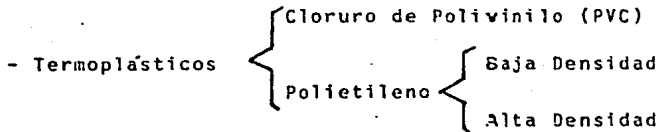
EL CONDUCTOR

El conductor estará formado por alambres de cobre suave o recocido, en cableado concéntrico la mayor de las veces. Este tipo de cableado consiste de un alambre central rodeado por una o más capas de alambres aplicados helicodamente. Cada capa tiene seis alambres más que la anterior. La norma Mexicana "cable concéntrico de cobre para usos eléctricos" contempla para este tipo de cableado las clases AA, A, B, C, D siendo las más comunes la clase B y C y se refieren al número de alambres requeridos para dar una sección transversal de determinada magnitud, esto puede verse en la norma NOM J-12 del anexo A. Así mismo, el tipo de cableado repercutirá en la flexibilidad del cable.

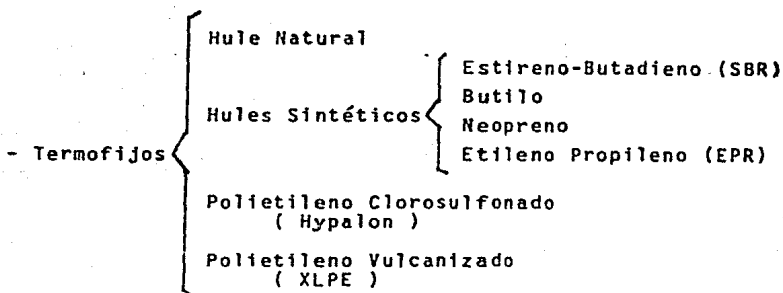
EL AISLAMIENTO

En general, la función del aislamiento es confinar la corriente eléctrica en el conductor y contener el campo eléctrico dentro de su masa.

A continuación se da la clasificación de los aislamientos más usados hoy en día en cables eléctricos, no siendo exclusivos en la construcción del cable control:



Cap. I



Cabe mencionar que tanto el papel impregnado como el cambray barnizado no se han incluido en la clasificación anterior de los aislamientos debido a que actualmente ya no se usan; aclarándose que el cambray barnizado fue usado hasta hace algunos años como aislamiento en los cables control.

En cuanto a los aislamientos termoplásticos y termofijos son ampliamente usados hoy en día en los cables eléctricos y por supuesto en los cables control que nos ocupan.

Estos dos aislamientos suelen clasificarse como aislamientos de tipo seco. Excepción hecha del hule natural (ya casi en desuso), los aislamientos secos son compuestos cuya resina base se obtiene de la polimerización de ciertos hidrocarburos.

TERMOPLASTICOS

Son aquellos que, al calentarse, su plasticidad permite conformarlos a voluntad, recuperando sus propiedades in-

Cap. I

iciales al enfriarse, pero manteniendo la forma que se les imprimió. Es así que se aplican por extrusión en caliente sobre los conductores, solidificándolos después al hacer pasar al cable por un baño de agua fría.

EL POLIETILENO

Este producto se obtiene por polimerización del gas etileno, tiene excelentes características como aislante eléctrico tales como:

- rigidez dieléctrica alta, comparable solo a la del papel impregnado.
- pérdidas eléctricas mínimas.
- conductividad térmica mayor que la del papel impregnado.

El polietileno termoplástico usado en cables de control es generalmente de baja densidad, gran peso molecular, no pigmentado. Algunos materiales coloreados son usados en ciertos tipos de cables control para la identificación del conductor.

Este material muestra excelentes propiedades físicas y eléctricas, pero tiene una desventaja: el hecho de que el polietileno no compactado o hueco es combustible.

Por ser termoplástico, se ablandará y fluirá debido al calor de su propia combustión. El alcance de esta desventaja depende de la colocación o uso de este cable.

Debido a las características ya mencionadas el polietileno es usado para bajo y alto nivel de señalización y aplicaciones de control. Es especialmente adecuado para usos en alta frecuencia o en aplicaciones de pulsos.

A diferencia del polietileno de baja densidad, que es el que se ha usado principalmente como aislante eléctrico y que tiene un punto de fusión de 110°C ; el polietileno de alta densidad tiene un punto de fusión de 130°C , mejores cualidades mecánicas y un costo menor; sus cualidades eléctricas son similares a las del polietileno de baja densidad.

CLORURO DE POLIVINIL (PVC)

El cloruro de polivinil, mezclado con otras sustancias, se utiliza extensamente como aislante, sobre todo en cables de baja tensión, debido a su bajo costo, a su mayor resistencia a las descargas parciales (ionización), comparable con otros aislamientos orgánicos sintéticos y a poder obtenerse, con mezclas adecuadas, temperaturas de operación que van desde 60°C a 105°C . Tiene el inconveniente de tener una constante dieléctrica elevada y en consecuencia pérdidas dieléctricas altas. Lo que limita su empleo en tensiones más elevadas.

Actualmente se fabrican compuestos de PVC que, a la temperatura de operación del cable, tienen pérdidas dieléctricas relativamente bajas.

El PVC es usado ampliamente en los cables control como aislamiento de los conductores. No muestra las excelentes características eléctricas del polietileno pero es excelente en sus características físicas. Tiene la ventaja sobre el polietileno de que es muy retardante a la flama. Además de esto, el PVC es fácilmente teñido para la identificación de los conductores.

La desventaja del PVC consiste en que cuando es descompuesto por efecto de altas temperaturas da lugar a desprendimiento

Cap. I

de gases de ácido hidrociorhídrico. El ácido es en extremo dañino para los contactos de los equipos, etc., y en grandes concentraciones puede destruir el acero de estructuras.

LOS TERMOFIJOS

A diferencia de los termoplásticos, después de un proceso similar al anterior son posteriormente vulcanizados para hacer desaparecer su plasticidad y aumentar su elasticidad y consistencia mecánica. Se caracterizan porque los subsecuentes calentamientos no los reblandecen.

Los aislamientos termofijos que se han utilizado más extensamente son el hule natural (ya en desuso) y los hules sintéticos, conocidos con el nombre genérico de elastómeros y más recientemente algunos derivados del polietileno.

En general los hules sintéticos más utilizados como aislamientos de cables son el estireno - butadieno (SBR), el butilo (actualmente tiende a desaparecer), el neopreno, el etileno propileno (EPR).

EL ESTIRENO - BUTADIENO (SBR)

Este material tiene cualidades eléctricas y mecánicas inferiores a las del hule natural; en cambio sus cualidades de resistencia a los agentes químicos y al envejecimiento son algo superiores. Por sus características y su bajo precio se ha utilizado principalmente en el aislamiento de cables de baja tensión (no necesariamente en el cable control).

EL BUTILO

Este material que sí se llega a usar en cables de control es

Cap. I

un hule sintético cuya propiedad principal es poder trabajar a temperaturas más elevadas que el hule natural; su temperatura de operación es de 85°C. Ofrece mayor resistencia a la ionización lo que permite usarlo en temperaturas más altas, una gran flexibilidad y resistencia a la humedad superior a la del hule natural. Aunque la materia prima para este tipo de aislamiento es barata, su proceso de fabricación es muy costoso por lo que el precio del producto final es elevado. Actualmente tiende a desaparecer y su aplicación en cables control puede prescindirse al usar otros materiales más comunes como el etileno propileno.

EL NEOPRENO

Neopreno, es el nombre comercial del policloropreno, es un hule sintético de bajas propiedades dieléctricas pero superiora los elastómeros antes citados en lo que respecta a la resistencia a los aceites, a la flama, a la abrasión y a la intemperie.

Aunque este material se llega a usar como aislamiento en ciertas aplicaciones, su aplicación en el cable control es exclusiva para la fabricación del forro o cubierta externa del mismo y no como aislamiento.

EL POLIETILENO VULCANIZADO (XLPE)

También llamado polietileno de cadena cruzada o polietileno reticulado. Es un material usado con frecuencia en el aislamiento del cable control. Se obtiene mediante la adición de un peróxido que a la temperatura elevada del proceso de vulcanización reacciona con el polietileno. Con esto se logra mejorar considerablemente las propiedades térmicas del

Cap. I

polietileno sin afectar apreciablemente sus propiedades eléctricas; el polietileno vulcanizado puede trabajar en forma continua a 90°C. En cambio la vulcanización aumenta la rigidez del polietileno y esa pérdida de flexibilidad dificulta el manejo del cable.

Como ya se dijo, el polietileno de cadena cruzada es capaz de operar a más altas temperaturas que los materiales cubiertos con termoplásticos anteriores. En sí, sus propiedades eléctricas no son tan buenas como las del polietileno termoplástico pero son considerablemente mejores que las del PVC. Las propiedades físicas son comparables entre las del polietileno termoplástico y el PVC, aunque la vulcanización produce ciertas desviaciones respecto al primero como ya se mencionó.

EL ETILENO-PROPILENO (EPR)

Es conocido comercialmente con las iniciales EPR (ethylene propylene rubber); es un hule sintético de desarrollo relativamente reciente, que tiene cualidades dieléctricas próximas a las del polietileno pero mayor resistencia a la ionización y una temperatura de operación del orden de 90°C. Aunque su principal aplicación está en los cables de alta tensión, se usa grandemente junto con los compuestos de silicón para aislamientos del cable control.

Como ya se mencionó antes, los compuestos de etileno propileno han sido bien recibidos como substitutos en alto grado del caucho butilo. Los materiales EPR son superiores al caucho butilo ya sea física o eléctricamente. Es física y eléctricamente inferior al polietileno, pero es considerablemente más flexible. Sus características eléctricas son suficientes para ser útiles en cables de potencia de 115 kV. Las defi-

ciencias físicas son modificadas mediante envolturas de materiales más fuertes. Es posible que arda pero más lentamente aunque a más baja temperatura que el polietileno regular. El aislamiento de etileno-propileno es un compuesto y como tal, pueden ser alteradas sus características para adaptarlo a una aplicación particular mediante una formulación adecuada.

SILICONA

Los compuestos de silicona, como la goma de silicón es un aislamiento para propósito especial que se usa mucho en aplicaciones de alto y baja temperatura. Su más grande valor esta en el uso a muy altas temperaturas por prolongados periodos de tiempo. Estos compuestos estan siendo recomendados para uso continuo a temperaturas de alrededor de 200°C. Las características físicas y eléctricas cambian con la formulación pero ambas pueden desarrollarse a un punto en que son mas adecuadas para el uso en cables control.

El aislamiento de silicón tiene la gran ventaja de ser muy resistente a la flama. Un fuego intenso descompone el compuesto de silicona en cenizas de dióxido de silicona, la cual es, por si misma buen aislador. Sin disturbios físicos el dióxido de silicona permitirá al cable operar normalmente hasta que la reposición sea posible.

EL POLIETILENO CLOROSULFONADO (HYPALON)

Este material se obtiene sometiendo al polietileno a la acción simultanea del cloro y del anhídrido sulfuroso; se obtiene un producto que, después de vulcanizado, tiene una gran resistencia a los agentes químicos y al ozono. Sus propie-

Cap. I

dades eléctricas son intermedias entre las del hule natural y el neopreno y puede trabajar a temperaturas más altas, del orden de 90°C.

Aunque es usado algunas veces como aislamiento en ciertos tipos de cables, su aplicación en cables control se centra exclusivamente en la construcción de la cubierta exterior o forro.

Para finalizar, cabe señalar que existe otra familia de materiales la cual ha ganado gran aceptación en el campo de los aislamientos del cable control; este es el grupo de los fluorinados. Estos materiales presentan entre otras, buen retardo a la flama y buen esfuerzo dieléctrico.

Los principales inconvenientes para estos materiales consisten en que son de alto costo y requieren con frecuencia equipo especializado para su procesamiento. Por tales motivos estos materiales no se fabrican en México.

A manera de resumen, se proporciona una tabla en donde se pueden observar las características de los diversos aislamientos así como su resistencia a los agentes químicos y físicos en la tabla I-B del anexo.

RELLENOS

Se usan estos materiales diversos en los cables control para darle sección circular. Se colocan entre los huecos dejados por los conductores del cable.

Los rellenos son de diferentes materiales, compatibles con el tipo de aislamiento como pueden ser yute, compuestos elásticos como el neopreno, y PVC.

Cap. I

CINTA REUNIDORA

En cuanto al cable control, una vez que se ha colocado los rellenos en su lugar, todo el conjunto formado de conductores aislados y de rellenos, son envueltos y reunidos en forma más compacta mediante el empleo de una cinta aplicada helicoidalmente, esta cinta puede consistir de los siguientes materiales:

- cinta revestida de goma o asbestos,
- cinta mylar,

Esta última es una película de tereftalato de polietileno transparente, caracterizada por ser hidrófoba, muy duradera y de excepcional resistencia, así como sus propiedades eléctricas y su inercia química. Actualmente es la más usada.

PANTALLA ELECTROSTATICA

En cuanto a este elemento, que ya se había mencionado con anterioridad, su aplicación en el cable control no es común ya que esta depende de ciertas condicionantes. A continuación damos una breve explicación.

En los cables de potencia se suele colocar una pantalla sobre el aislamiento. Esta pantalla es de material conductor y se conecta a tierra. Tiene por objeto principal crear una superficie equipotencial para obtener un campo eléctrico radial en el dieléctrico. También sirve para blindar al cable contra potenciales inducidos por campos eléctricos externos y como protección para el personal.

Ahora bien, en lo que respecta al cable control, en el que los gradientes eléctricos aplicados al aislamiento son bajos,

Cap. I

no se requiere un control de la distribución del campo eléctrico y por lo tanto puede prescindirse la más de las veces de la pantalla electrostática. Sin embargo, la condicionante que dicta necesariamente el uso de la pantalla electrostática en los cables control es la de evitar la inducción de potenciales en los conductores, debidos a los campos eléctricos externos que se presentan por ejemplo en los cables de control de subestaciones de alta tensión, control de circuitos de conmutación, etc. Este elemento se aplica sobre la cinta reunidora del cable.

Para brindar una protección contra la corrosión se utiliza a veces una cinta de 5 mils de espesor de bronce bajo la cubierta de los cables control; esta cinta también brinda protección contra roedores y termitas en cables directamente enterrados.

CUBIERTA EXTERIOR

El último elemento de un cable, es la cubierta, cuya función es protegerlo de la influencia de factores externos para preservarlo de daños que pudieran causarle agentes mecánicos, químicos y el ambiente mismo.

Las propiedades requeridas por los materiales a usarse como cubiertas pueden clasificarse bajo los siguientes conceptos:

- propiedades mecánicas
- propiedades químicas
- propiedades ambientales
- propiedades de resistencia al incendio y baja resistividad térmica

Los materiales que ofrecen un buen balance y que son general-

Cap. I

mente usados como cubiertas de cables electricos, son presentados en la siguiente tabla con los tipos de aislamiento con los que son compatibles:

TABLA 1 Compatibilidad de Cubiertas

<u>Cubiertas</u>	<u>Aislamientos</u>				
	PE	XLP	EPR	Butilo	Papel
PVC	sí	sí	sí	--	--
Neopreno	--	--	sí	sí	--
Polietileno negro	sí	sí	sí	--	--
Hypalon	--	--	sí	sí	--
Plomo	--	sí	sí	sí	sí

El plomo aunque es compatible con la mayoría de los aislamientos sólidos, se usa poco con ellos y solo en casos especiales donde se requiera la máxima resistencia a productos químicos. Además se usa con una sobrecubierta de PVC o polietileno negro.

Al cubrir los materiales de aislamiento, descritos con anterioridad, con una cubierta exterior, conlleva a obtener ventajas y características que no están presentes por sí mismos en esos materiales. Por ejemplo, el aislamiento de polietileno en los cables control es a menudo combinado con PVC para impartirle algún grado de retardo a la flama y para proveerle una superficie más susceptible de ser coloreada o de teñirse. El nylon también ha sido usado en materiales para envoltura de los aislamientos de polietileno y PVC. Mientras que no retarda la flama, el nylon es duro e imparte un buen grado de protección mecánica al material cubierto de los cables control. El PVC puede ser usado para forro de aislamientos como

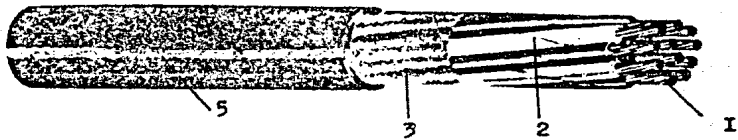
Cap. I

La goma tal como el etileno propileno pero más a menudo un material de recubrimiento como la goma es deseable. Por lo tanto, el neopreno o el hypalón es más susceptible para ser usado como envoltura sobre el aislamiento de etileno propileno de estos cables en especial como ya anteriormente se había señalado. Tanto el neopreno como el hypalón son retardantes de la flama. Además ambos materiales de recubrimiento son más duros físicamente que el etileno propileno.

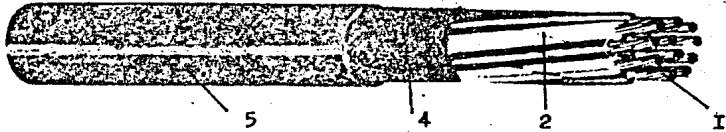
El aislamiento de silicon es más a menudo forrado con una cinta que con un compuesto. Esto se debe principalmente a las altas temperaturas a las cuales los cables con silicón son usualmente expuestos. Pocos compuestos, otros que el mismo silicón son propios para funcionar a estos niveles de temperatura. Este cinta puede ser a base de fibra de vidrio, asbestos, o una combinación de los dos; dependiendo de los requerimientos de aplicación. En algunos casos, el material de silicón, compuesto para dar dureza a la envoltura, es usado sobre el aislamiento de silicón.

En el anexo se encuentra la tabla I-C eq. que se pueden observar las propiedades de las cubiertas. En el anexo A se encuentran una serie de especificaciones concernientes a la construcción del cable en sí y a los métodos de prueba.

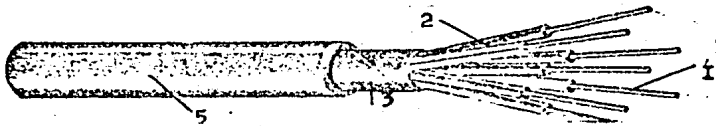
Cap. I



a) Cable control típico



b) Cable control con pantalla



c) Cable para control de tráfico y señalización

Fig. Elementos integrantes del cable de control

1. conductor
2. aislamiento sobre el conductor
3. cinta reunidora
4. pantalla metálica
5. cubierta exterior

FIGURA 1

Cap. I

IDENTIFICACION DE LOS CONDUCTORES

CODIGOS

Con objeto de distinguir los conductores para efectos de instalación, son aislados individualmente, y se identifican mediante un código de colores o numeros progresivos marcados en su superficie. El código en cuestión es según lo muestra la siguiente tabla tomada de la norma NOM-J-300.

En la columna 1 de la tabla se indica el número de conductores; en la columna 2 se menciona el color base del conductor; en la columna 3 se indica la traza de color necesaria para cables de 7 a 21 conductores; en la columna 4 se indica la traza de color necesaria para cables de 22 o más conductores, en adición a la primera traza.

Las trazas pueden consistir de líneas continuas, ininterrumpidas, punteadas etc. estas marcas pueden aplicarse longitudinalmente, en forma de anillos, en espiral, o cualquier otra forma, a todo lo largo de los conductores y sobre el aislamiento de los mismos.

Los colores base del aislamiento pueden ser obtenidos por medio de una cubierta coloreada aplicada sobre el aislamiento o por medio de aislamiento coloreado previamente.

TABLA 2: CODIGO DE COLORES PARA LOS CABLES CONTROL

NUMERO DE CONDUCTORES	COLOR BASE	PRIMERA TRAZA	SEGUNDA TRAZA
1	negro	--	--
2	blanco	--	--
3	rojo	--	--
4	verde	--	--

Cap. I

NUMERO DE CONDUCTORES	COLOR BASE	PRIMERA TRAZA	SEGUNDA TRAZA
5	naranja	--	--
6	azul	--	--
7	blanco	negro	--
8	rojo	negro	--
9	verde	negro	--
10	naranja	negro	--
11	azul	negro	--
12	negro	blanco	--
13	rojo	blanco	--
14	verde	blanco	--
15	azul	blanco	--
16	negro	rojo	--
17	blanco	rojo	--
18	naranja	rojo	--
19	azul	rojo	--
20	rojo	verde	--
21	naranja	verde	--
22	negro	blanco	rojo
23	blanco	negro	rojo
24	rojo	negro	blanco
25	verde	negro	blanco
26	naranja	negro	blanco
27	azul	negro	blanco
28	negro	rojo	verde
29	blanco	rojo	verde
30	rojo	negro	verde
31	verde	negro	naranja
32	naranja	negro	verde
33	azul	negro	naranja

Cap. I

NUMERO DE CONDUCTORES	COLOR BASE	PRIMERA TRAZA	SEGUNDA TRAZA
34	negro	blanco	naranja
35	blanco	rojo	naranja
36	naranja	blanco	azul
37	blanco	rojo	azul
38	negro	blanco	verde
39	blanco	negro	verde
40	rojo	blanco	verde

C A P I T U L O I I

A P L I C A C I O N E S Y
S E L E C C I O N D E
C A B L E S D E C O N T R O L

Cap. II

FACTORES Y REQUERIMIENTOS QUE INTERVIENEN EN LOS CRITERIOS DE SELECCION DEL CABLE DE CONTROL

Los cables de control que se han discutido y presentado en el capítulo anterior, como se vió, consisten de varios conductores pequeños, aislados entre sí, que manejan corrientes relativamente pequeñas de señales que hacen operar el control remoto de motores, interruptores de un sistema de potencia u otro equipo, relevadores, circuitos de medición y sistemas de control en general.

Dado que las corrientes que se manejan en los cables de control son relativamente bajas, casi cualquier cable podría ser utilizado, por tanto es de mayor importancia el considerar el régimen de operación a que se verá sometido, a fin de hacer la selección adecuada del cable que cubra las necesidades de control requeridas.

Una señal de control llevada por cable esta sujeta a afectaciones externas debidas a interferencias, condiciones del espacio físico donde se instala el cable, condiciones ambientales, etc.

Las interferencias de tipo electromagnético son quizá los problemas más serios a que se tiene que enfrentar un cable de control en operación.

Las interferencias sobre el cable de control son problemas que se generan cuando éste tiene que operar en presencia de altos voltajes, siendo éstas las condiciones a que tiene que operar en las subestaciones de potencia.

Otra fuente de interferencia es la debida a la radiación nuclear y a las antenas emisoras de radiofrecuencias.

Cap. II

Los cables de control tienen, hoy en día, una amplia, variada y creciente aplicación, puesto que existen y se fabrican en tantos tipos como necesidades específicas se tienen, aunque, como se indicó con anterioridad, se clasifican de acuerdo a los tipos:

- TIPO A: Usado para monitoreo, registro de datos, manejo de información, telemetría, luces indicadoras y comunicaciones.
- TIPO B: Empleado en el manejo de señales en general.
- TIPO C: Usado en condiciones en que haya grandes inducciones electromagnéticas debidas a la presencia de altos voltajes.
- TIPO D: Empleado en las inmediaciones de líneas de alto voltaje con un aislamiento a tierra de 5000 volts.

La mayor parte de los cables de control encuentran sus aplicaciones en: Plantas Generadoras de Energía Eléctrica, subestaciones de Potencia o Plantas Industriales, y aunque muchas de las necesidades de cable de control para plantas generadoras, subestaciones o plantas industriales resulten similares de alguna manera, la aplicación de cable de control en cada una de éstas presenta ciertas peculiaridades especiales.

Las Plantas Generadoras se clasifican de manera general en nucleares y no nucleares, las necesidades de control en cada una de ellas son diferentes como se verá más adelante.

El cable usado en plantas nucleoelectricas debe ser construido de materiales que no sean grandemente afectados por la radiación y que en caso de accidente sean capaces de soportar y continuar en operación hasta que el material radioactivo decaiga a niveles de radiación virtualmente inofensivos.

Cap. II

Entre las centrales Generadoras de Energía Eléctrica se cuentan además las no nucleares que incluyen a las Plantas Termoeléctricas, Hidroeléctricas y Geotermoeléctricas. En cada una de estas, también las necesidades de control son diferentes pues los procesos de transformación de energía son diferentes.

En una planta termoeléctrica los parámetros que han de controlarse son diferentes a aquellos de las hidroeléctricas o las geotermoeléctricas.

En las plantas industriales las necesidades de control dependen en gran medida del o los productos que se manejen y en consecuencia la selección del cable de control para una planta industrial se hará tomando en cuenta los materiales que protejan al cable de el medio en que han de operar.

Otra aplicación del cable de control se encuentra en los circuitos de control que operan un sistema de potencia motriz, como es el caso de los sistemas de transporte eléctrico, que han sido desarrollados, donde debido a las altas corrientes eléctricas se presentan fuertes interferencias electromagnéticas y en consecuencia la meticulosa necesidad de control resulta no fácil.

El cable de control es en gran medida responsable del buen funcionamiento de un sistema en operación, por tanto se le imponen restricciones que garanticen que operará adecuadamente aún en las condiciones adversas en que eventualmente tenga que funcionar. Por tanto de manera general se busca que los cables de control no propaguen el fuego y que cuando operen expuestos a altas temperaturas no haya liberación de gases corrosivos que puedan dañar delicados componentes del

Cap. II

sistema de control u otros aparatos. Para seleccionar un cable de control habrán de conocerse perfectamente las condiciones en que operará; humedad, grado de contaminación, medio ambiente físico, las posibles interferencias a que se verá expuesto, etc.

CRITERIOS GENERALES DE SELECCION

Para determinar el tipo de cable a utilizar deberán tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- I) Tensión a que se va a emplear el cable de control.
- II) Tipo de instalación (lugar).
- III) Propiedades químicas, mecánicas y eléctricas de su aislamiento y cubierta.
- IV) Fuentes de interferencia existentes en el lugar donde se ha de colocar.

I) TENSION

Las tensiones más estandarizadas en el uso de cables de control son, como ya se dijo:

<u>Tipo de Cable</u>	<u>Tensión Maxima</u>
A	300 Volts
B	500 Volts
C	1,000 Volts
D	600 Volts (ais- lamiento 5kv)

II) TIPO DE INSTALACION

El cable de control puede ser instalado de las siguientes maneras dependiendo de las necesidades específicas de la aplicación:

- a) Directamente enterrado
- b) En ducto

Cap. II

- c) En charola
- d) En trinchera

El cable directamente enterrado deberá tener las propiedades de resistencia mecánica y químicas que le permita operar sin un ducto de protección. La ventaja de ser directamente enterrado es económica pues resulta ser el tipo de instalación más barato. El cable en ducto conduit ofrece la ventaja de que el mismo conduit puede ser utilizado para aislar de interferencias electromagnéticas al cable, lo que ahorraría el apantallamiento del mismo en ciertas aplicaciones, además de que protege al cable de agentes externos (húmedad, contaminación, etc.).

El cable que se instala en charola o en trinchera se encuentra expuesto a lluvia, contaminación, y agentes externos, aunque ofrecen la ventaja de poder ser revisados o seguidos sin necesidad de otra cosa que levantar las tapas que los cubren a través de su trayectoria.

Como se describió en el capítulo anterior un cable de control está constituido por aislamientos (cubierta inmediata sobre los conductores) y cubiertas que abarcan el cable completo, los materiales más usados para cubiertas y aislamientos son, como ya se dijo, el PVC, Polietileno, Hypalon y Neopreno. Las tablas I-B y I-C del anexo A nos ilustra acerca de las cualidades generales de dichos materiales. Al final de este capítulo se describen en detalle los tipos de cable de control más usados: sus cubiertas, aislamientos, propiedades eléctricas, cualidades mecánicas y usos más comunes.

III) INTERFERENCIAS EXTERNAS (INDUCIDAS)

Como ya se dijo, el más grande problema de los cables de

control son las interferencias, voltajes y corrientes inducidos en estos por agentes externos, y aunque las pantallas de los cables no son diseñadas originalmente para corrientes importantes, éstas aparecen inducidas en dichas pantallas cuando los cables de control se encuentran proximos a lugares donde haya cambios bruscos de potencial, como es el caso de las subestaciones. Por lo tanto las pantallas de los cables deberán elegirse pensando en que ésta no debe ser saturada por las señales que se le inducen como resultado de una perturbación externa, pues, una vez saturada, la pantalla pierde su efectividad. Es por esto que la pantalla debe ser diseñada tomando en consideración los requerimientos de apantallamiento en lo que concierne a la potencia de las señales a que el cable de control estará expuesto, como se mencionó.

Las siguientes fórmulas ofrecen un método empírico de uso común para la determinación de una área de sección transversal mínimo en diferentes tipos de apantallamiento:

a) Para pantalla de cubierta tubular.

$$A = 4bd_m$$

b) Para pantalla de alambre trenzado

$$A = Nd_s^2$$

c) Para pantalla con cinta espaciada

$$A = 1.27 wb$$

d) Para pantalla con cinta traslapada

$$A = 4bd_m \frac{w}{2(w-L)}$$

Cap. II

Dónde:

- A = Area efectiva en cm^2
- b = Espesor de la cinta de la cubierta en mils
- d_m = Diámetro medio de la cinta de la cubierta en mils
- N = Número de alambres
- d_s = Diámetro de los alambres en mils
- W = Ancho de la cinta en mils
- I = Traslape de la cinta en mils

Los acoplamientos electromagnéticos transitorios son reducidos a niveles aceptables mediante el apantallamiento, pero también es usado para tal efecto el conduit mismo en que se instala el cable de control. En los procesos donde se requiere de la desaparición de transitorios inducidos a niveles muy bajos se sugiere la digitalización de la señal de control que ha de manejarse puesto que el efecto de los transitorios sobre señales digitales es significativamente menor que sobre señales analógicas que se manejen por un cable de control.

CRITERIOS PARA SELECCION DE CABLES DE CONTROL EN UNA SUBESTACION DE ACUERDO A LAS NORMAS DE LA C.F.E.

- a) En todas las subestaciones de media, alta y extra alta tensión se debe instalar cable de control blindado, (apantallado), debidamente aterrizado en ambos extremos.
- b) Se debe elegir el blindaje (pantalla) del cable de control tal que su impedancia sea lo más baja posible, pues mientras más baja sea, más grande es la cantidad de voltaje transitorio cancelado, debido al gran flujo de corriente.
- c) Se debe tener cuidado en mantener la pantalla intacta, pues una pantalla rota o desprendida, puede reducir

Cap. II

grandemente su eficiencia.

d) Los cables que se elijan deberán tener el número necesario de alambres, de tal manera que los conductores de ida y vuelta de un circuito se lleven en un mismo cable de control.

e) La clase de aislamiento de los cables debe ser de 1000 Volts.

f) La cubierta exterior podrá ser de PVC.

g) Debe usarse una cinta reunidora de material no higroscópico sobre la reunión de los conductores aislados, y sobre esta una cinta de cobre traslapada, para el blindaje electrostático.

h) El aislamiento de estos conductores debe ser de polietileno de baja densidad y alto peso molecular, con elevada rigidez dieléctrica que le permita soportar transitorios elevados.

i) El espesor promedio del aislamiento no debe ser menor que el requerido en la tabla siguiente, con un valor mínimo del 90 % del espesor nominal correspondiente.

j) El blindaje electrostático debe formarse con una cinta de cobre con un espesor nominal de 0.12 mm. con una tolerancia de más menos 15 % y traslapada entre un 25 y un 30%.

k) Las propiedades mecánicas de la cubierta exterior no deben ser menor que el requerido en la tabla siguiente, con un valor mínimo de 70 % de los valores indicados en la tabla.

l) Las propiedades eléctricas del aislamiento deben demostrarse de acuerdo con lo establecido en las normas CCONNIE 10.3-7-1969.

Cap. II

TABLA I

ESPESOR DEL AISLAMIENTO DE POLIETILENO 1000 VOLTS

ESPESOR mm.	PRUEBAS DE VOLTAJE C.A.	CALIBRE AWG
1.14	4,500	12
1.14	4,500	10
1.14	4,500	8
1.40	7,000	6
1.40	7,000	4

TABLA II

ESPESOR DE LA CUBIERTA EXTERIOR SOBRE LA PANTALLA METALICA

DIAMETRO CALCULADO SOBRE LA PANTALLA EN mm.	ESPESOR DE LA CUBIERTA mm.
hasta 19.05	1.27
19.08 a 38.10	1.65
38.13 a 57.15	2.03
57.18 a 76.12	2.41
76.23 y mayor	2.79

PRUEBAS DE INTERFERENCIA INDUCIDA QUE DEBEN SOPORTAR LOS CABLES DE CONTROL INSTALADOS EN SUBESTACIONES

El objeto de estas pruebas es evaluar la capacidad de hacer operar adecuadamente los equipos de control mediante las señales de control que son enviadas por cable hasta los equipos electrónicos y que se ven expuestos a interferencia debido a los voltajes transitorios.

Las pruebas de norma han sido desarrolladas por varios grupos

Cap. II

de diferentes países para equipo y cables empleados en subestaciones de conmutación y plantas generadoras.

A continuación se describen las principales características de algunas de esas normas:

1 ANSI C37.90a (IEEE std 472-1974) USA.

Esta es una prueba para relevadores de protección de estado sólido y sistemas de relevadores.

- a) * Voltaje oscilatorio amortiguado:
- * Frecuencia: 1.0 a 1.5 MHz
 - * Voltaje pico: 2.5 a 3.0 KV
 - * Impedancia de la fuente: 150 ohms
 - * Modo común y transversal (MC y MT)
 - * Rango representativo: 50 a 100 seg.
 - * Adición propuesta del transitorio rápido
 - * Pulso: 10 nanoseg/100 nanoseg.
 - * Voltaje pico: 4.0 a 5.0 KV, MC y MT
 - * Impedancia de la fuente: 80 ohms.
 - * Rango representativo: 50 a 100 seg.

2 IEC 255-4, 255-6, 255-10 INTERNACIONAL.

Para relevadores de protección de estado sólido. Hay dos pruebas diferentes con tres clases de voltaje.

- a) * Impulso: 1.2/50 μ seg.
- * Voltaje: 1 a 5 KV
 - * Impedancia de la fuente: 500 ohms
 - * Energía: 0.5 Joules
- b) * Oscilatorio; amortiguado.
- * Frecuencia: 1 MHz
 - * Voltaje: MC 0, 2.5 KV, MT 0, 0.5, 1.0 KV
 - * Impedancia de la fuente: 200 ohms.

Cap. II

- * Tiempo de frente: 75 nanoseg.
- * Rango representativo: 400 seg.

3 CIGRE 36-05 INTERNACIONAL.

Para controles electrónicos en subestaciones y plantas generadoras.

- a) Pruebas de onda oscilatoria.
 - * Frecuencia: 0.1 y 1.0 MHz
 - * Voltaje: 3.0 KV cresta
 - * Tiempo de frente: 50 nanoseg.
- b) Prueba de descarga, similar a la de transitorio rápido.
 - * Pulso: 5-10 nanoseg/50-100 nanoseg.
 - * Voltaje: 5 KV
 - * Rango representativo: 1 KHz a 10 KHz
- c) Prueba de Impulso: 1.2/50 useg similar a IEC 255

4 BEAMA 219 GRAN BRETAÑA

Para relevadores de protección transitorizados.

- * Onda de impulso: 1.0/50 useg.
- * Voltaje: 1.5 y 5.0 KV.
- * Impedancia de la fuente: 495 ohms.
- * Energía: 0.5 Joules.

5 EDF HNS4 S 30 FRANCIA.

Para relevadores de protección de estado sólido oscilación amortiguada.

- * Varias frecuencias, 100 KHz a 1 MHz
- * Impedancia de la fuente: 25 ohms, 50 ohms.
- * Voltaje: 1.2 a 3 KV.

Cap. II

6 ENEL LV-1504 ITALIA.

Para equipo de control y protección.

- a) * Prueba de Impulso: 1.2/50 useg.
 - * Voltaje 2.0, 5.0 KV.
 - * Impedancia de la fuente: 200 ohms, 500 ohms.
 - * Energía: 0.5 Joules.
- b) Oscilación amortiguada.
 - * Frecuencia: 1.0 MHz
 - * Voltaje: 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 KV
 - * Impedancia de la fuente: 200 ohms.

7 ONTARIO HYDRO, DES, No. C5043-74 CANADA.

Para todo el equipo electrónico usado en los sistemas de potencia.

- * Oscilación amortiguada.
- * Varias frecuencias: 200 KHz a 2.0 MHz
- * Voltaje: 4 niveles, 0 a 5 KV
- * Impedancia de la fuente: 30 a 150 ohms.
- * Rango representativo: 120 seg y 360 seg.

8 SEN 361 503-1 SUECIA.

Para equipo electrónico en subestaciones y plantas generadoras.

- a) Prueba de impulso, la misma que IEC 255.
- b) Prueba oscilatoria, la misma que IEC 255.
- c) Prueba de descarga, similar al transitorio rápido, el mismo que CIGRE 36-05.

Cap. II

9 SEV/ASE 3313/1977 y 3314/1977 SUIZA.

Para relevadores eléctricos.

Identica que IEC 255 (Prueba de impulso).

PRUEBAS DE NORMA DE INTERFERENCIA RADIADA (IRF).

IEEE- PSRC

El Comité de Relevadores IEEE tiene un grupo de trabajo que está preparando las pruebas de norma de susceptibilidad a la interferencia electromagnética rápida. Primordialmente sus puntos principales son:

Campo: 10 a 20 volts/m
Rango de frecuencia: 25 a 1000 MHz
Polarización: Horizontal y Vertical

IEC TC 41B.

El IEC está trabajando también en las pruebas de norma de interferencia radiada para relevadores de protección. Ellos han establecido cuatro clases de pruebas de acuerdo a la severidad. Los elementos principales son:

Rango de frecuencia: 25 a 500 MHz
Campo: Clase I 1.0 V/m
Clase II 3.0 V/m
Clase III 10.0 V/m
Clase IV Especial
Polarización: Horizontal y Vertical

Cap. II

CRITERIOS DE SELECCION DE CABLES DE CONTROL PARA UNA CENTRAL NUCLEOELECTRICA. DE ACUERDO A LOS CRITERIOS DE LA C.F.E.

Deberán ser cables sólidos o conductores de cobre trenzado con una temperatura nominal de 90°C.

El aislamiento no propagará la flama, y debe ser resistente al calor y a la humedad.

Los cables deberán tener encamisados individuales o en grupo según se requiera.

Comprenderán las dos clases siguientes:

- a) Transmisión de señales de medición analógicas, detección de señales y señales de control.
- b) Cables de control especial, por ejemplo: cables para el sistema de medición de flujo de neutrones y cables para la supervisión de vibraciones de la turbina, etc.

Los cables deberán tener aislamientos adecuados y si se encuentran expuestos a materiales que se inflamen fácilmente por lo menos deberán estar cubiertos con una camisa de hypalón o material equivalente.

Aquellos cables que deban ir a través de áreas con temperaturas altas o altos niveles de radioactividad, deberán estar aislados con materiales que cumplan con los requerimientos para ambientes relavantes.

Dichos materiales pueden ser: Hypalon o su equivalente y óxidos de aluminio ($Al_2 O_3$) u óxido de magnesio (MgO), para altas temperaturas y/o donde el nivel de radiación es alto.

Cap. II

Por lo tanto el material del cable deberá ser seleccionado tomando en consideración los siguientes factores:

- a) Protección contra disturbios eléctricos.
- b) Radiactividad (si existe).
- c) Temperatura ambiente normal y máxima.
- d) Funcionamiento del cable en el evento de un accidente del reactor.

Los cables de control deberán ser para 600V nominales. Cada conductor deberá ser aislado con polietileno de cadena cruzada tefzel, hule etileno propileno ó compuesto equivalente para 90°C nominales de temperatura del conductor y protegido con una cubierta de neopreno, hypalón o equivalente. Se deberá usar cables multiconductores para todos los circuitos de control y deberán tener una cubierta exterior de neopremo, hypalun o material equivalente. El espesor del aislamiento y la cubierta deberá ser de acuerdo con las normas IPCEA. Los conductores individuales de los cables deberán pasar la prueba de flama vertical indicada en el párrafo 6.19.5 IPCEA S-19-81. El calibre mínimo de conductor para cables de control será No. 16AWG y el número de conductores por cable será, 2/c, 3/c, 4/c, 7/c, 9/c, ó 12/c No. 16 AWG torcidos y blindados y con aislamiento para 600V.

El aterrizaje de el blindaje deberá ser de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Todos los cables de un solo par y para circuitos termopares, deberán ser del No. 16 AWG, trenzados y blindados. Cuando sea práctico se deberá emplear cables multipares No. 18AWG.

Las interconexiones entre tableros de control y gabinetes de

Cap. II

relevadores en el cuarto de control y en el área de relevadores deberán ser hechas con cables prefabricados cuando sea práctico. Los cables serán tendidos en charolas en la bóveda(s) de cables. Cuando el equipo sea adquirido como paquete, los cables prefabricados deberán fabricarse en campo con conectores en cada extremo. Los cables fabricados en campo para instalarse fuera del contenedor primario deberán ser generalmente multiconductores, No. 20AWG, con aislamiento para 600V, blindaje y cubierta exterior. El número de conductores será 12/c ó 25/c con conectores adecuados.

Los cables coaxiales y triaxiales deberán cumplir con las especificaciones de los suministradores de los equipos a los cuales van a conectar. Los cables coaxiales y triaxiales serán tendidos únicamente en conduits.

De acuerdo al tipo de aislamiento, encamisado, conductores, geometría y la experiencia acumulada en anteriores instalaciones se establece la siguiente tabla de aplicaciones común a los distintos tipos de fabricación existentes;

TIPOS DE CONSTRUCCION DE CABLES DE CONTROL Y APLICACIONES

TENSION	CONDUCTORES	AISLAMIENTO	CUBIERTA	APLICACION
600 V	Cobre	PVC	PVC	Control remoto de dispositivos electromecánicos y circuitos de mando en general.
1000 V	Cobre	POLIETILENO	PVC	Mediciones eléctricas a control remoto (CA, CD) en circuitos con transitorios elevados.
600 V	Cobre	PVC	PVC (ANTIFLAMA)	Plantas industriales y centrales termoeléctricas. Es resistente a la propagación de incendios.
600 V	Cobre (PARALELOS)	PVC	-----	Para control e iluminación en elevadores y para control en grúas viajeras.
600 V	Cobre	EP	POLIETILENO	Control e iluminación.
600 V	Cobre	EP	PVC (ANTIFLAMA)	En plantas industriales donde se controla la operación de procesos y equipos electromecánicamente. Es adecuado para centrales eléctricas.
600 V	Cobre	PVC	-----	Alambrado interno de tableros y control de maquinaria y equipo.
600 V	Cobre Estañado	EP	-----	Alambrado interno de tableros. Adecuado en centrales eléctricas de cualquier tipo.
600 V o 399 V	Cobre	EP-FR	PVC	Plantas generadoras de electricidad.
EP = Etileno Propileno			PVC = Cloruro de Polivinilo	

RELACION DE CABLES DE CONTROL MANEJADOS POR C.F.E. IDENTIFICADOS MEDIANTE SU CATALOGO INTERNO.

A continuación se presenta un listado de los tipos de cables que se hayan en el catálogo de la C.F. E. así como los parámetros de selección.

CABLE DE CONTROL - 600 V - : Cable de control suave de N conductores, cada uno de calibre 10 AWG, con aislamiento de PVC para 600 volts, reunidos bajo cubierta protectora exterior de PVC.

ESPECIFICACION O NORMA: NOM J-300

USO Y APLICACION: Alambrado de equipos de medición

CABLE DE CONTROL - 1000 V - : Cable de control con N conductores de cobre, calibre W AWG, para 1000 volts, aislamiento individual de polietileno y todo el conjunto con cubierta exterior de PVC, cada conductor de diferente color y 7 hilos.

ESPECIFICACION O NORMA: NOM-J-300

USO Y APLICACION: Control remoto de dispositivos de medición y protección de subestaciones

CABLE CONTROL 2 x 12; CLAVE: EK2C43122E : Cable de control calibre 12 AWG, para 1 000 volts, de 2 conductores de cobre con aislamiento individual de polietileno y todo el conjunto con cubierta exterior de PVC, cada conductor de distinto color, de 19 hilos y calibre 25 AWG.

USO Y APLICACION: Control remoto de dispositivos de medición y protección de subestaciones

CABLE CONTROL 4 x 12; CLAVE: EK2C43124E: Cable de control calibre 12 AWG, para 1,000 V, de 4 conductores de cobre con aislamiento individual de polietileno y todo el conjunto con cubierta exterior de PVC, cada conductor de distinto color, de 19 hilos y calibre 25 AWG.

USO Y APLICACION: Control remoto de dispositivos de medición y protección de subestaciones

CABLE CONTROL -5; CLAVE: EK1C541057: Cable de control de cobre suave de 5 conductores cada uno de calibre 10 AWG, concéntrico, 7 hilos, en aislamiento de PVC, para 600 V, cubierta protectora exterior de PVC.

Cap. II

ESPECIFICACION: MEDICION-270

USO Y APLICACION: Conducción de energía eléctrica en alambrado de equipos de medición

CABLE CONTROL -6; CLAVE: EK1C541067: Cable de control de cobre suave de 6 conductores cada uno de calibre 10 AWG, concéntrico, 7 hilos, con aislamiento de PVC, para 600 V, cubierta protectora exterior de PVC.

ESPECIFICACION: MEDICION-270

USO Y APLICACION: Conducción de energía eléctrica en alambrado de equipos de medición

CABLE CONTROL -7; CLAVE: EK1C541077: Cable de control de cobre suave de 7 conductores cada uno de calibre 10AWG, concéntrico, 7 hilos, con aislamiento de PVC para 600 V, cubierta protectora exterior de PVC.

ESPECIFICACION: MEDICION-270

USO Y APLICACION: Conducción de energía eléctrica en alambra do de equipos de medición.

CABLE CONTROL 7 x 12; CLAVE: EK2C43127E: Cable de control calibre 12 AWG, para 1,000 V, de 7 conductores de cobre con aislamiento individual de polietileno y todo el conjunto con cubierta exterior de PVC, cada conductor de distinto color, de 19 hilos y calibre 25 AWG.

USO Y APLICACION: Control remoto de dispositivos de medición y protección de subestaciones

CABLE CONTROL -8; CLAVE: EK1C541087: Cable de control de cobre suave de 8 conductores cada uno de calibre 10 AWG, concéntrico, 7 hilos, con aislamiento de PVC para 600 V, cubierta protectora exterior de PVC.

ESPECIFICACION: MEDICION-270

USO Y APLICACION: Conducción de energía eléctrica en alambrado de equipos de medición

En el anexo E se presentan algunas hojas técnicas de una firma mexicana donde se pueden apreciar parámetros y necesidades a que se ha referido anteriormente que pueden fundamentar la selección de cables de control.

GUIA PARA SELECCION DE CABLES CONTROL BASADA EN MATERIALES
Y CONDICIONES DE OPERACION

Se han dado los criterios de selección impuestos por la Comisión Federal de Electricidad para la instalación de cables de control en centrales nucleoelectricas, no nucleoelectricas y subestaciones de potencia, pero resulta imposible establecer un criterio único para la selección de los cables que servirán como mensajeros de las señales de control que sea necesario manejar, es decir, para seleccionar un cable de control es necesario tomar en cuenta las necesidades y requerimientos del lugar y sistema donde ha de instalarse, así como la influencia que los agentes externos puedan tener en el funcionamiento de los cables que se usen para control.

En consecuencia, deberán tomarse en cuenta las consideraciones siguientes, mencionadas con anterioridad:

- a) Tensión de Operación.
- b) Interferencias a que se verá sometido en su operación.
- c) Modo de instalación.
- d) Medio Ambiente Físico.
- e) Deterioros en el cable debidos a exposiciones a agentes químicos o contaminación.

En las siguientes páginas se especifican diferentes clases de cable de control y sus características particulares respecto a los aspectos en que se deberá basar la selección de un cable de control.

Una vez conocidas las necesidades de control, el medio ambiente en que operará el sistema y las condiciones de operación que se deseen, se elegirá aquel cable cuyas características mecánicas, eléctricas y químicas sean las apropiadas a las necesidades de cable de control que se enfrenten. Dichas características, como ya se dijo, se encuentran detalladas en las páginas siguientes.

Cap. II

CABLE CON ENCAMISADO DE NEOPRENO Y AISLAMIENTO DE HULE

TENSION Hasta 600 Volts.

AISLAMIENTO Es resistente al calor, de larga vida conductores aislados con hule vulcanizado.

GROSOR DEL AISLAMIENTO

<u>Conductor</u>	<u>Grosor (64 vos de Plq.)</u>
18 - 19	3
8	4

CUBIERTA DEL CONDUCTOR Lleva una cubierta de fibras de rayón, vidrio o algodón trenzado.

NUMERO DE CONDUCTORES (PARES) 2, 3, 4, o 5

CINTA EMPLEADA EN EL APANTALLAMIENTO Se usa una cinta de cobre de un espesor de no menos de 0.002 pulgadas y que tiene un traslape de no más del 15% de su ancho. Para protección mecánica cuenta con una cinta de bronce de no menos de 0.0045 pulgadas de espesor y que se aplica con un traslape del 15% de su ancho.

ENCAMISADO Tiene un encamisado de neopreno resistente a la abrasión. El valor mínimo del encamisado en cualquier punto no debe ser menos que el 80% de los valores especificados en la tabla siguiente;

Cap. II

<u>DIAMETRO DEL CABLE EN EL ENCAMISADO</u>	<u>ESPESOR Mils</u>
0.425 o menos	45
0.426 - 0.700	60
0.701 - 1.500	80
1.501 - 2.500	110
2.501 y mayor	140

USOS

Manejo de señales.

INSTALACION

En conduit, enterrado o aéreo.

Cap. II

CABLE DE CONTROL CON AISLAMIENTO DE POLIETILENO Y ENCAMISADO DE PVC

TENSION 600 Volts

TIPO 8

AISLAMIENTO Aislamiento de polietileno sobre el conductor y su espesor no debe ser menor que el especificado en la siguiente tabla:

GROSOR DEL AISLAMIENTO

<u>Conductor</u>	<u>Grosor Promedio Aceptable</u>
20 - 14	25 mils
13 - 8	30 mils

Este aislamiento soporta 7500 V con una frecuencia de 60 a 300 Hz.

CINTA DE PANTALLA Es resistente a la humedad y tiene un 10 % de traslape.

ENCAMISADO Es de PVC y debe tener una resistencia de 300 horas de exposición al sol.

ESPESOR DEL ENCAMISADO

<u>Dímetro de Cables</u>	<u>Mínimo Espesor</u>
<u>Bajo Encamisado (Plg)</u>	<u>Aceptable (mils)</u>
0.0 - 0.425	36
0.426 - 0.700	60
0.701 - 1.500	80
1.501 - 2.500	110
2.501 y mayor	140

Cap. II

CABLE CON AISLAMIENTO DE POLIETILENO, ENCAHISADO DE PVC APANTALLADO

TENSION	600 Volts						
USOS	Sistemas de protección para fuego señalización de tráfico, monitoreo etc.						
INSTALACION	Puede instalarse en conduit enterrado o en charola.						
CONSTRUCCION	Cables de cobre aislados individualmente con polietileno resistente al calor. Los conductores aislados son cables (pares torcidos) que conforman el cable. Cubierta de PVC y pantalla eléctrica.						
AISLAMIENTO	El aislamiento de polietileno sobre el conductor es concéntrico. El espesor de aislamiento es: ESPESOR DE AISLAMIENTO						
	<table><thead><tr><th><u>Conductor</u></th><th><u>Espesor</u></th></tr></thead><tbody><tr><td>20 - 14</td><td>25 mils</td></tr><tr><td>13 - 8</td><td>30 mils</td></tr></tbody></table>	<u>Conductor</u>	<u>Espesor</u>	20 - 14	25 mils	13 - 8	30 mils
<u>Conductor</u>	<u>Espesor</u>						
20 - 14	25 mils						
13 - 8	30 mils						
PRUEBAS	Resiste la aplicación de un voltaje de 7500 Volts y 60-3000 Hz senoidal.						
ENCINTADO DEL CABLE	Tiene una cinta resistente a la humedad y que cubre el 10 % de su espesor.						
PANTALLA	Cinta de cobre aplicada longitudinalmente o helicoidalmente sobre el cable. La cinta tiene un espesor de .004 pulgadas.						

Cap. II

ENCAMISADO

De PVC que resiste una tensión de 1800
Lb/in² y una exposición al sol de 300
horas.

Cap. II

CABLE CON AISLAMIENTO DE POLIETILENO, BANDA DE POLIETILENO Y ENCAMISADO DE PVC APANTALLADO

TENSION	600 Volts						
TIPO	B						
CONSTRUCCION GENERAL	Conductores de cobre aislados individualmente con polietileno resistente al calor. Sobre los cables una banda de polietileno y sobre esta la pantalla continua. Encamisado de PVC.						
AISLAMIENTO	El aislamiento es de polietileno y el espesor de aislamiento es: <table><thead><tr><th><u>CONDUCTOR CALIBRE AWG</u></th><th><u>ESPESOR (Mils)</u></th></tr></thead><tbody><tr><td>20 - 14</td><td>25</td></tr><tr><td>13 - 8</td><td>30</td></tr></tbody></table> El aislamiento soporta la aplicación de 7500 V con una frecuencia entre 60-3000 Hz.	<u>CONDUCTOR CALIBRE AWG</u>	<u>ESPESOR (Mils)</u>	20 - 14	25	13 - 8	30
<u>CONDUCTOR CALIBRE AWG</u>	<u>ESPESOR (Mils)</u>						
20 - 14	25						
13 - 8	30						
ENSAMBLE DE CONDUCTORES	Se encuentra en: a) Un par b) Multiconductor (hasta 30 pares)						
ENCINTADO	Encintado con cinta resistente a la humedad						
BANDA DE POLIETILENO	La banda de polietileno aplicada sobre los conductores tiene las siguientes propiedades: Resistencia a la tensión 1700 Psi						

Cap. II

Elongación 400 %
Doblado en frío No se fractura

El espesor de la banda será:

<u>DIAMETRO DEL CABLEADO (Pulgadas)</u>	<u>ESPESOR DE LA BANDA (Mils)</u>
0.0 - 0.7	45
0.701 - 1.050	60
1.051 - 1.5	75
1.501 y mayor	90

PANTALLA

El apantallamiento consiste de una cinta de cobre corrugado si se aplica longitudinalmente o si se aplica helicoidalmente, que cubra 15 % de su ancho.

ENCAMISADO

De PVC con una resistencia a la tensión de 1800 Lb/Pulg².

El espesor del encamisado será de:

<u>DIAMETRO DEL CABLE BAJO EL ENCAMISADO (Pulgadas)</u>	<u>ESPESOR DEL ENCAMISADO (Mils)</u>
0.0 - 0.425	45
0.426 - 0.700	60
0.701 - 1.500	80
1.501 - 2.500	110
2.501 y mayor	140

PRUEBAS

Cada conductor deberá soportar la aplicación de:

- Un voltaje sinusoidal de 2500 V y 60 Hz, por un minuto.

Cap. II

- b) Un voltaje de DC de 10 veces el voltaje nominal del conductor por un tiempo de 5 segundos.

USOS

Por las propiedades de la banda este cable se usa cuando ha de instalarse y operar en condiciones muy severas.

INSTALACION

Puede ser instalado en ductos, conduits, charolas, atrincherado o directamente enterrado.

Cap. II

CABLE CON AISLAMIENTO DE POLIETILENO, BANDA DE POLIETILENO, ENCAMISADO DE POLIETILENO Y APANTALLADO

TENSION	600 Volts						
TIPO	B						
INSTALACION	Ductos, conduits, charolas o directamente enterrado.						
USOS	La alta resistencia de su banda le permite ser instalados en condiciones severas de operación.						
CONSTRUCCION GENERAL	Conductores de cobre aislados individualmente con polietileno resistente al calor sobre los cables una banda de polietileno. Pantalla de cobre y encamisado de polietileno.						
AISLAMIENTO	El aislamiento es de polietileno y el espesor de aislamiento es: <table><thead><tr><th><u>CONDUCTOR CALIBRE AWG</u></th><th><u>ESPESOR (Mils)</u></th></tr></thead><tbody><tr><td>20 - 14</td><td>25</td></tr><tr><td>13 - 8</td><td>30</td></tr></tbody></table> El aislamiento soporta la aplicación de 7500 V con una frecuencia entre 60-3000 Hz.	<u>CONDUCTOR CALIBRE AWG</u>	<u>ESPESOR (Mils)</u>	20 - 14	25	13 - 8	30
<u>CONDUCTOR CALIBRE AWG</u>	<u>ESPESOR (Mils)</u>						
20 - 14	25						
13 - 8	30						
ENSAMBLE	Se encuentra en: a) Un par b) Multiconductor (hasta 30 pares)						

Cap. II

ENCINTADO

Encintado con cinta resistente a la humedad.

BAHDA DE POLIETILENO

La banda de polietileno aplicada sobre los conductores tiene las siguientes propiedades:

Resistencia a la tensión 1700 Psi
 Elongación 400 %
 Doblado en frío No crack

El espesor de la banda será:

<u>DIAMETRO DEL CABLEADO (Pulgadas)</u>	<u>ESPESOR DE LA BANDA (Mils)</u>
0.0 - 0.7	45
0.701 - 1.050	60
1.051 - 1.5	75
1.501 y mayor	90

PANTALLA

El apantallamiento consiste de una cinta de cobre corrugado si se aplica longitudinalmente o si se aplica helicoidalmente, cubra 15 % de su ancho.

ENCAMISADO

De PVC con una resistencia a la tensión de 1800 Lb/Plg².

El espesor del encamisado será de:

<u>DIAMETRO DEL CABLE BAJO EL ENCAMISADO (Pulgadas)</u>	<u>ESPESOR DEL ENCAMISADO (Mils)</u>
0.0 - 0.425	45
0.426 - 0.700	60
0.701 - 1.500	80
1.501 - 2500	110
2.501 y mayor	140

Cap. II

PRUEBAS

Cada conductor deberá soportar la aplicación de:

- a) Un voltaje sinusoidal de 2500 V y 60 Hz, por un minuto.
- b) Un voltaje de DC de 10 veces el voltaje nominal del conductor por un tiempo de 5 segundos.

Cap. II

CABLE CON AISLAMIENTO DE POLIETILENO, ENCAMISADO DE PVC Y APANTALLADO

TENSION 300 Volts

TIPO A

INSTALACION En ductos, conduits, charolas, atrincherado o directamente enterrado.

USOS Cable de comunicación, monitoreo, señales en general.

AISLAMIENTO Aislamiento de polietileno. El espesor del aislamiento es de:

<u>CONDUCTOR CALIBRE AWG</u>	<u>ESPESOR DEL AISLA- MIENTO (Mils)</u>
22 - 19	15
18 - 16	20

El aislamiento soporta la aplicación de 400 V a una frecuencia de 60-3000 Hz.

ENSAMBLE Existen cables de:

- a) Un par
- b) Multi-par (de incluso más de 25 pares)

APANTALLADO (PANTALLA) El apantallamiento consiste de una cinta de cobre corrugado si se aplica longitudinalmente o si se aplica helicoidalmente, que cubra 15% de su ancho.

ENCAMISADO De PVC con una resistencia a la tensión de 1800 Lb/Plg².

Cap. II

El espesor del encamisado será de:

<u>DIAMETRO DEL CABLE BAJO EL ENCAMISADO (Pulgadas)</u>	<u>ESPESOR DEL ENCAMISADO (Mils)</u>
0.0 - 0.425	45
0.426 - 0.700	60
0.701 - 1.500	80
1.501 - 2.500	110
2.501 y mayor	140

PRUEBAS

Resiste las siguientes pruebas:

- Aplicación de un voltaje de 1000 V y 60 Hz. por un minuto.
- Aplicación de un voltaje de DC de 10 veces el voltaje nominal del cable por espacio de 5 segundos.
- Debe cumplir con la resistencia de aislamiento especificada a continuación:

<u>CALIBRE CONDUCTOR AWG</u>	<u>ESPESOR AISLAMIENTO (Mils)</u>	<u>RESISTENCIA AISLAMIENTO 60°C M0/1000 ft</u>
16	20	12000
18	20	15000
19	15	13000
20	15	14000
22	15	17000

Los voltajes de prueba de DC no deben ser menores de 200 V ni mayores de 500 V.

Cap. II

CABLE CON AISLAMIENTO DE POLIETILENO, BANDA DE POLIETILENO, ENCAMISADO DE PVC Y APANTALLADO

TENSION 300 Volts

TIPO A

CONSTRUCCION GENERAL Cables de cobre aislados individualmente con polietileno resistente al calor, sobre los cables una banda de polietileno y sobre ésta una cubierta metálica continua. Encamisado de PVC.

AISLAMIENTO Aislamiento de polietileno. El espesor del aislamiento es de:

<u>CONDUCTOR CALIBRE AWG</u>	<u>ESPESOR DEL AISLA- MIENTO (Mils)</u>
22 - 19	15
18 - 16	20

El aislamiento soporta la aplicación de 400 V a una frecuencia de 60-3000 Hz.

ENSAMBLE Se encuentra en:
a) Un par
b) Multiconductor (hasta 30 pares)

ERCINTADO Encintado con cinta resistente a la humedad.

BANDA DE POLIETILENO La banda de polietileno aplicada sobre los conductores tiene las siguientes propiedades:

Resistencia a la tensión	1700 Psi
Elongación	400 %
Doblado en frío	No Crack

Cap. II

El espesor de la banda será:

<u>DIAMETRO DEL CABLEADO (Pulgadas)</u>	<u>ESPESOR DE LA BANDA (Mils)</u>
0.0 - 0.7	45
0.701 - 1.050	60
1.051 - 1.5	75
1.501 y mayor	90

PANTALLA

El apantallamiento consiste de una cinta de cobre corrugado si se aplica longitudinalmente o si se aplica helicoidalmente, que cubra 15 % de su ancho.

PRUEBAS

Resiste las siguientes pruebas:

- Aplicación de un voltaje de 1000 V y 60 Hz. por un minuto.
- Aplicación de un voltaje de DC de 10 veces el voltaje nominal del cable por espacio de 5 segundos.
- Debe cumplir con la resistencia de aislamiento especificada a continuación:

<u>CALIBRE CONDUCTOR AWG</u>	<u>ESPESOR AISLAMIENTO (Mils)</u>	<u>RESISTENCIA AISLAMIENTO 600°C MO/1000 ft</u>
16	20	12000
18	20	15000
19	15	13000
20	15	14000
22	15	17000

Los voltajes de prueba de DC no deben ser menores de 200 V ni mayores de 500 V.

INSTALACION

En charolas, conduits o ductos.

Cap. II

CABLE CON AISLAMIENTO DE POLIETILENO. ENCAMISADO DE POLIETILENO, BANDA DE POLIETILENO Y APANTALLADO

TENSION 300 Volts

TIPO A

CONSTRUCCION GENERAL Conductores de cobre aislados individualmente con polietileno resistente al calor. Sobre los conductores una banda de polietileno y sobre ésta una cubierta metálica continúa. Encamisado de polietileno.

AISLAMIENTO Aislamiento de polietileno. El espesor del aislamiento es de:

<u>CONDUCTOR CALIBRE AWG</u>	<u>ESPOSOR DEL AISLA- MIENTO (Mils)</u>
22 - 19	15
18 - 16	20

El aislamiento soporta la aplicación de 400 V a una frecuencia de 60-3000 Hz.

ENSAIBLE Se encuentra en:

- a) Un par
- b) Multiconductor (hasta 30 pares)

BANDA DE POLIETILENO La banda de polietileno aplicada sobre los conductores tiene las siguientes propiedades:

Resistencia a la tensión	1700 Psi
Elongación	400 %
Doblado en frío	No Crack

Cap. II

El espesor de la banda será:

<u>DIAMETRO DEL CABLEADO (Pulgadas)</u>	<u>ESPESOR DE LA BANDA (Mils)</u>
0.0 - 0.7	45
0.701 - 1.050	60
1.051 - 1.5	75
1.501 y mayor	90

PANTALLA

El apantallamiento consiste de una cinta de cobre corrugado si se aplica longitudinalmente o si se aplica helicoidalmente, que cubra 15 % de su ancho.

PRUEBAS

Resiste las siguientes pruebas:

- Aplicación de un voltaje de 1000 V y 60 Hz. por un minuto.
- Aplicación de un voltaje de DC de 10 veces el voltaje nominal del cable por espacio de 5 segundos.
- Debe cumplir con la resistencia de aislamiento especificada a continuación:

<u>CALIBRE CONDUCTOR AWG</u>	<u>ESPESOR AISLAMIENTO (Mils)</u>	<u>RESISTENCIA AISLAMIENTO 60°C MO/1000 ft</u>
16	20	12000
18	20	15000
19	15	13000
20	15	14000
22	15	17000

Los voltajes de prueba de DC no deben ser menores de 200 V ni mayores de 500 V.

INSTALACION

En charolas, conduits, ductos, atrinchera-
do o directamente enterrado.

CAPITULO III

INSTALACION DEL
CABLE DE CONTROL
Y ATAQUE DE ROE-
DORES

TIPOS DE INSTALACION DEL CABLE DE CONTROL

Los tipos de instalaciones que se les pueden dar a los cables control son los mismos que se les da a los cables de energía en general y son los siguientes:

- a) instalación en tubo conduit
- b) instalación en charolas
- c) instalación en trincheras
- d) instalación directamente enterrada.

El tipo de instalación elegido depende no solo de las condiciones topográficas del lugar, sino también y fundamentalmente del nivel de inmunidad que nos proporcione ante la interferencia electromagnética, que es en sí el factor más importante a considerar en la operación de circuitos de control, como se verá en el capítulo 4 .

Para las instalaciones de cables control en tubo conduit se requiere conocer los tamaños nominales de ductos o tubos existentes, así como sus capacidades normalizadas en cuanto al diámetro y área requeridos para albergar un número dado de cables control. Para datos específicos del manejo e instalación de los medios de canalización, consultar los manuales apropiados. (Consultar el anexo C)

En lo concerniente a lo que es la instalación en charolas, trincheras o directamente enterradas no se requieren especificaciones precisas de separación entre cables ni de profundidad de instalación, como en el caso de los cables de energía. Las características propias de los elementos, acceso-

Cap. III

rios, etcetera, para la instalación de estos cables se pueden consultar en los manuales apropiados.

LOCALIZACION FISICA

Lo que resulta realmente importante en una instalación de circuitos de control es la topología del mismo, o bien la localización física de los cables respecto al sistema de potencia a proteger o controlar.

Se considera como circuito de potencia al sistema formado por barras y aparatos de alta tensión, circuitos primarios de transformadores de instrumento y todos los equipos que trabajan a alto voltaje, tales como apartarayos, gaps, etc. También se debe incluir la red de tierras y todos los equipos que se ponen a tierra.

En los circuitos de control se incluyen los secundarios de los Tcs, Tps y TCPs, todas las alimentaciones de c.d., el control con c.d., plantas de emergencia de c.a. y los circuitos de los relevadores de protección, supervisión, alarmas y comunicación. Estos circuitos operan a potenciales de algunos cientos de volts.

Ambos sistemas de alambrado se localizan muy cerca unos de otros. En sistemas grandes los cables de control, por lo general, son de longitudes largas, con objeto de conectar los diversos aparatos.

Si estos cables siguen una trayectoria paralela abajo de barras de alta tensión existirá un gran acoplamiento de los campos eléctrico y magnético producidos por las barras y equipo primario. Esta disposición deberá evitarse hasta donde sea posible.

Cap. III

Cuando los cables de control deban pasar por debajo de las barras de alta tensión, estos deberán seguir una trayectoria en ángulo recto con respecto a la barra o bahía del equipo primario, ver figura 1 .

Cuando por alguna razón se requiere la trayectoria de los cables de control paralela a las barras, en una distancia apreciable, estos deberán de separarse de las barras lo más posible para disminuir el acoplamiento. Es recomendable usar una separación igual a la longitud de la trayectoria en paralelo.

Cables de potencia (arriba de 1000 V) de alta tensión y cables secundarios deberán tener diferentes trincheras o charolas.

CONCEPTO RADIAL DE UNA INSTALACION DE CABLES CONTROL

Para instalaciones de cables control se recomienda usar el concepto radial, o sea, que los conductores de ida y retorno de un circuito se deben de llevar en un mismo cable control.

Los lazos en los circuitos deben evitarse, ya que cuando se tienen circuitos con conductores en cables diferentes, el acoplamiento inductivo del lazo formado por los cables dará una tensión de modo transversal considerable, como un ejemplo la figura 2 muestra la idea general del concepto radial y la figura 3 muestra un ejemplo en particular.

RUTA DEL CABLE DE CONTROL CERCANA A CONEXIONES A TIERRA O RED DE TIERRA

La localización física relativa de un cable de control con

TRINCHERAS PARA CABLE DE CONTROL

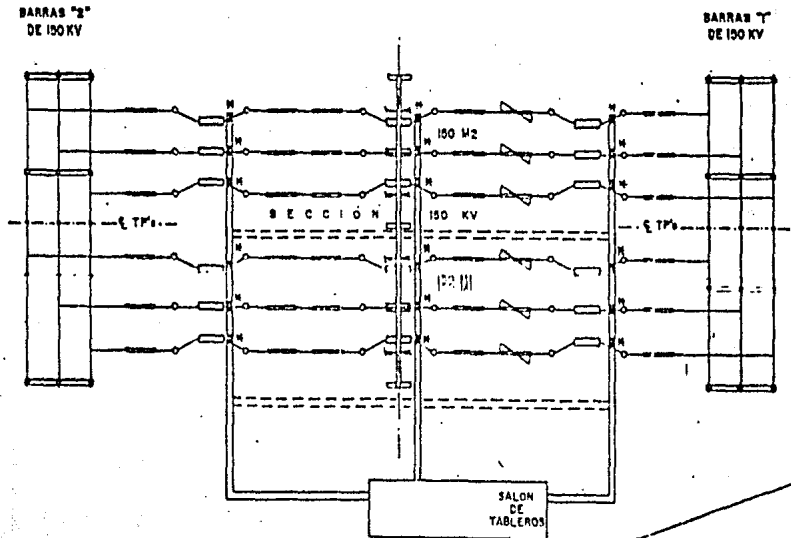





FIGURA 1

-  RUTA CORRECTA
-  RUTA INCORRECTA
-  COLOCACION DE CAB. AUX.
DE INTERRUPTOR

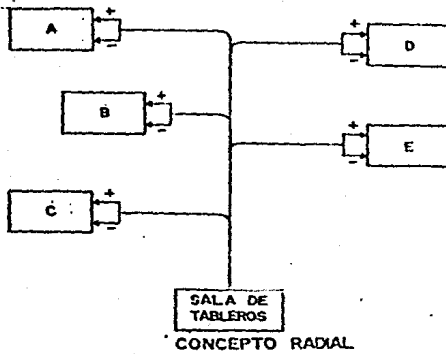
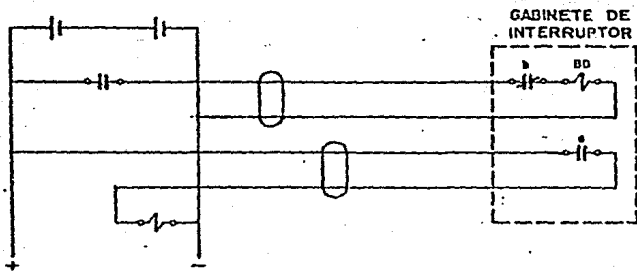


FIGURA 2



LOS CONDUCTORES ENCERRADOS EN UN CIRCULO DEBEN ESTAR EN UN SOLO CABLE

FIGURA 3

EJEMPLO DE UN CIRCUITO DE C.D.

Cap. III

los conductores de potencia y de tierra, pueden provocar que fluyan corrientes transitorias de alta frecuencia determinadas por el grado de acoplamiento, por lo tanto se inducen voltajes en los propios circuitos de control. La puesta o conexión a tierra de los aparatos de alta tensión, generalmente conduce corrientes transitorias de alta frecuencia muy intensas a la red de tierras del sistema. Los cables de control conectados a los mismos equipos primarios pueden tener acoplamientos de campos magnéticos en esta región. Esto se ilustra en la figura 4, sin embargo existe diferencia con la figura 5, en esta, el cable de control tiene una ruta muy cercana al conductor de tierra de tal manera que existe un pequeño espacio entre ellos. Esto provoca que se reduzca en gran medida los eslabonamientos de flujo magnético comunes entre el cable de control y el de tierra. Este es un camino efectivo para minimizar la común interferencia electromagnética.

Localizando los cables de control paralelos y a una distancia corta de los conductores del sistema de tierras, se reduce la inductancia mutua y por consiguiente la distorsión de la tensión, o de otra forma de acuerdo a la experiencia, localizando los conductores del sistema de tierras cerca de las trincheras de los cables de control, se puede reducir a la décima parte la tensión inducida.

Se recomienda que toda trinchera de cable control con una longitud del orden de 20 metros, se acompañe de un conductor robusto de tierra cercano a la trinchera, pero no dentro de la trinchera ya que se provocarían daños térmicos a los cables.

Cap. III

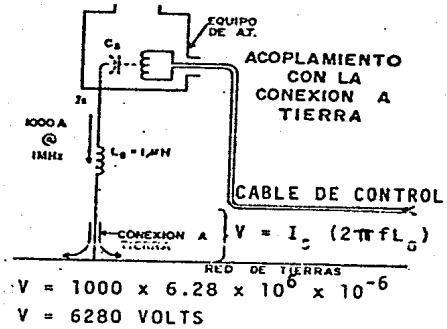
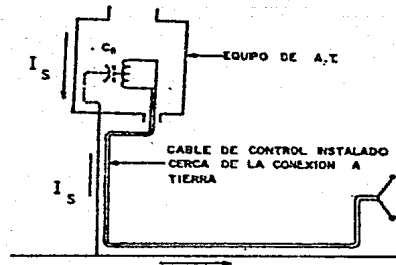


FIGURA 4



REDUCCION DEL ACOPLAMIENTO

FIGURA 5

Cap. III

ATERRIZAMIENTO

El diseño del sistema de tierras, los métodos de puesta a tierra de los equipos, y el blindaje de los circuitos de control tienen gran influencia para reducir los voltajes transitorios en los equipos de protección.

La red de tierras, aún cuando se diseñe con muy baja resistencia, no se puede considerar como una superficie equipotencial. Puede ocurrir una diferencia de potencial importante en la red de tierras y esto depende de varios factores como son: resistencia de la malla, resistividad del terreno y frecuencia del transitorio.

Ya que es impráctico eliminar diferencias de potencial en la red de tierras, sus efectos se deben neutralizar. La neutralización puede mejorarse acompañando conductores de baja resistencia en la proximidad de los circuitos de control afectados. Tales conductores conducirán corrientes proporcionales a las diferencias de potencial de la red de tierras e inducirán una voltaje opuesto en los cables de control, efectuando así la neutralización.

Los siguientes son métodos de neutralización y aterrizamiento los cuales han demostrado ser efectivos:

1.- Se deben instalar cables de tierra en las trincheras colocados a los lados y en la parte superior. Esto coloca a los cables de tierra entre la fuente del transitorio y los cables de control. Estos cables de tierra deben tener conductividad para conducir las corrientes de falla sin daño y tener resistencia mecánica adecuada.

2.- Se debe instalar un conductor de tierra alrededor de

Cap. III

Las cajas de registro de los diferentes equipos, conectado por lo menos en dos puntos a la red de tierras. Esto es con el fin de proporcionar un medio conveniente para aterrizar el blindaje de los cables de control.

3.- Donde se usen ductos, se deben de incluir un mínimo de dos cables de tierra en la parte superior de los ductos.

4.- Para cables de control directamente enterrados, se deben enterrar varios conductores como blindaje con cada cable tendido. Por conductividad equivalente son más efectivos varios conductores de blindaje pequeño que un solo conductor de gran capacidad.

5.- Los secundarios de los transformadores de instrumento, únicamente se deben de conectar a tierra en un punto. La conexión a tierra debe ser en el tablero donde se localicen los relevadores teniendo las siguientes ventajas:

- a) Se reduce la elevación de potencial en las cercanías de los bornes del relevador.
- b) El riesgo al personal de un choque eléctrico en el salón de tableros se reduce.
- c) Todas las conexiones a tierra se localizan en un solo lugar, facilitando aspectos de verificación y pruebas.

6.- Los conductores que funcionan como blindaje son efectivos tanto para cables con pantalla como sin pantalla. Y para aumentar su efectividad deben estar lo más cerca posible de los cables de control, particularmente en donde se emplean cables de control sin pantalla.

Cap. III

BLINDAJE METALICO EN LOS CABLES DE CONTROL

Las pantallas metálicas de los cables de control pueden reducir voltajes transitorios inducidos. Cuando se utiliza la pantalla en cable control se recomienda conectar a tierra la pantalla en ambos extremos. Se debe poner cuidado en mantener la pantalla intacta ya que de lo contrario, una pantalla rota o desprendida, puede reducir grandemente su eficiencia. Si solo se conecta a tierra un extremo de la pantalla, se puede presentar en un extremo no aterrizado un fuerte transitorio de pantalla a tierra y de conductor a tierra.

El aterrizaje de la pantalla en ambos extremos permite fluir corriente en la pantalla. Esta corriente de pantalla tenderá a cancelar el flujo creado por la corriente de inducción. El efecto neto de la pantalla de la línea es reducir el nivel de ruido. Mientras más baja sea la impedancia del blindaje, más grande es la cantidad de voltaje transitorio cancelado, debido al gran flujo de corriente.

En una subestación de interrupción donde puede haber grandes corrientes de falla a tierra, se presenta un problema cuando el blindaje se pone a tierra a distancias muy largas. La diferencia de potencial a la frecuencia del sistema entre las dos localizaciones de tierra durante una falla, puede causar suficiente corriente para fluir en el blindaje y dañar el cable. Por lo tanto es recomendable instalar un conductor robusto, por ejemplo 4/00 AWG o mayor, paralelo a lo largo del cable de control en la misma ruta y conectándolo a tierra en los mismos puntos donde el blindaje del cable esta aterrizado. Lo anterior protege el blindaje ya que reduce el flujo de corriente en la pantalla.

Cap. III

Para circuitos de bajo nivel de señal de voltaje, el blindaje no debe ser parte de la señal del circuito, así mismo nunca se debe aceptar el uso de una línea común de retorno para una señal de bajo voltaje y un circuito de potencia.

AGRUPAMIENTO

Todas las alimentaciones y conductores de retorno deben estar en su cable común para evitar posibles inducciones electro-magnéticas debido al establecimiento de flujos magnéticos muy fuertes.

Se deben agrupar cables que conecten a equipos que tengan sensibilidades comparables, por lo que cables de instrumentación de bajo nivel deben estar separados físicamente de los de potencia de bajo voltaje por una distancia máxima práctica.

Cuando es necesario emplear cables en paralelo, se debe usar un diseño como el de la figura 6 .

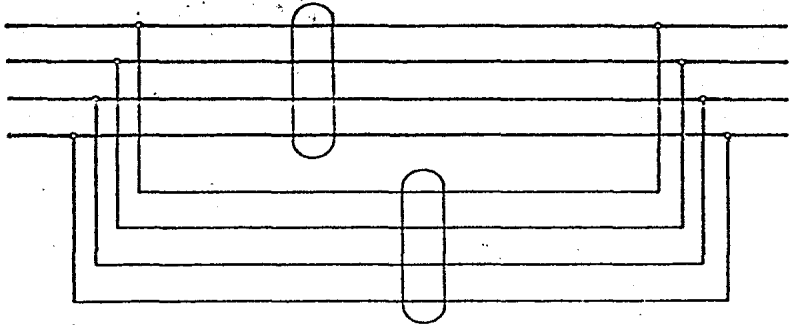
Se debe evitar la mezcla de circuitos de medición de corriente y potencial en un solo cable, debido a que el acoplamiento inductivo aumenta entre pares de un mismo cable.

Se debe evitar, según el nivel de operación, la puesta a tierra de conductores sobrantes en un cable de control. Los circuitos de control separados que tienen conductores en un mismo cable, pueden experimentar acoplamientos magnéticos y capacitivos considerables. La solución es separar los cables por tipos. Por ejemplo:

a) Circuitos de corriente directa y circuitos secundarios de corriente alterna no deben estar en un mismo cable.

Cap. III

3 Ø + TIERRA



ESTA FIGURA INDICA
UN CABLE COMUN

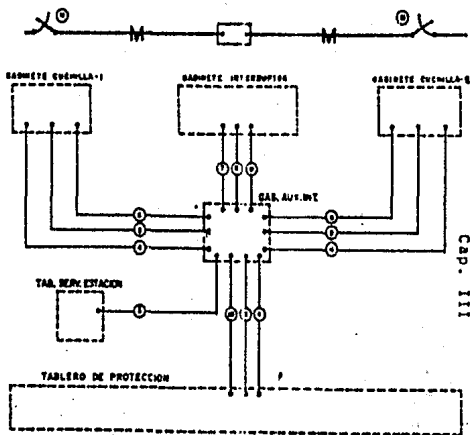
FIGURA 6
CIRCUITOS DE CABLES PARALELOS EN UN TC. O EN UN TP.

Cap. III

b) El servicio de estación de c.a. no debe estar en el mismo cable con ningún otro.

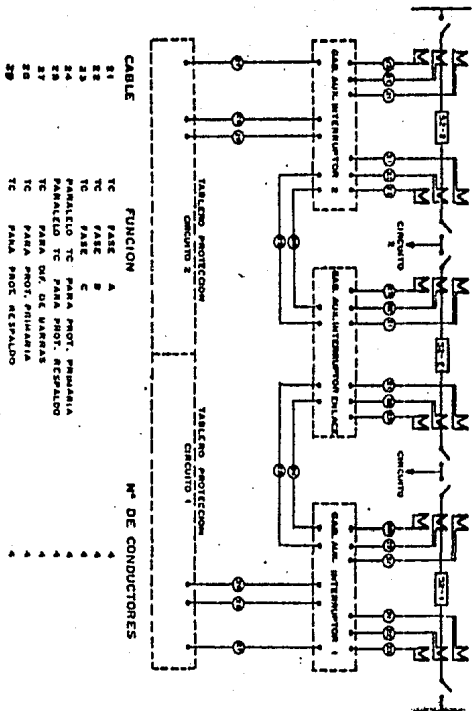
Cuando es necesario instalar cables no similares que corran en paralelo por pequeña que sea la distancia, estos deben separarse tanto como sea posible, si esto no es posible, alguna clase de blindaje metálico debe instalarse entre ellos.

Las siguientes figuras muestran un posible agrupamiento para una bahía de interruptor y medio que puede ser de 115, 230 ó 400KV. En estos se muestran los diferentes agrupamientos, como por ejemplo el control de un interruptor y sus cuchillas asociadas, incluyendo las alimentaciones de c.d. y c.a., alarmas y estados de los elementos.



CAP. III

CABLE	FUNCION	Nº DE CONDUCTORES
1.-	CONTROL INTERRUPTOR Y CUCHILLAS	10
2.-	ALIMENTACION C.D. AL INT. Y CUCHIL.	8
3.-	ALIMENTACION C.A. AL INT. Y CUCHIL.	4
4.-	CONTROL Y SERIALIZACION CUCHILLA	6
5.-	ALIMENTACION C.D. A LA CUCHILLA	4
6.-	ALIMENTACION C.A. A LA CUCHILLA	4
7.-	ALIMENTACION C.D. AL INTERRUPTOR	10
8.-	ALIMENTACION C.A. AL INTERRUPTOR	6
9.-	CONTROL Y SERIALIZACION INTERRUPTOR	6
10.-	SERIALIZACION Y ALARMAS DE INT. Y CUCHILLAS (CABLE TELEFONICO DE 30 PARES)	20



CABLE	FUNCION	PASE	Nº DE CONDUCTORES
21	TC	A	4
22	TC	B	4
23	TC	C	4
24	PARALELO TC	PARA PROT. PRIMARIA	4
25	PARALELO TC	PARA PROT. RESPALDO	4
26	TC	PARA DIR. DE BARRAS	4
27	TC	PARA PROT. PRIMARIA	4
28	TC	PARA PROT. RESPALDO	4
29	TC	PARA PROT. RESPALDO	4

ATAQUE DE ROEDORES

Uno de los principales problemas de los cables instalados en ductos, trincheras o directamente enterrados es el ataque de roedores. Para proteger a los cables contra estos ataques se les puede proporcionar una protección extra que puede ser:

Mecánica

Química

La protección mecánica consiste en una cubierta extra al cable la cual puede ser metálica o sintética. La protección metálica consiste en aplicarle una armadura al cable que puede ser de diferentes metales como, acero, aluminio, o bronce.

Esta armadura normalmente se recubre con una chaqueta que puede ser de PVC para protegerla contra la corrosión que es el principal problema de las armaduras.

Una vez que los roedores han perforado la chaqueta del cable se inicia la corrosión de la armadura, lo que facilita al roedor acabar con ella, por lo que hay que tomar en cuenta la velocidad promedio de la corrosión en los diferentes metales.

<u>Metal</u>	<u>Velocidad promedio mm/año</u>
Aluminio	0.005
Bronce	0.076 a 0.0102
Cobre	0.051
Bronce Fosforado	0.051
Acero Inoxidable	0.010 a 0.025
Acero	0.127

Cap. III

La protección química consiste en recubrir la chaqueta exterior con alguna sustancia que sea repelente a los roedores y que su efecto sea duradero bajo diferentes terrenos y temperaturas. Por lo anterior se ve que esta protección es difícil de lograr ya que los repelentes utilizados se evaporan en poco tiempo. En general podemos decir que cualquier protección contra roedores nunca se puede considerar 100 % segura. Sin embargo la experiencia ha demostrado que los roedores no atacan al cable cuando éste es de 2 pulgadas o más.

C A P I T U L O I V

I N T E R F E R E N C I A
E L E C T R O M A G N E T I C A

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

El uso creciente de sistemas electrónicos de estado sólido, control y medición en sistemas eléctricos de potencia ha hecho necesario el estudio de la presencia de interferencia electromagnética (IEM) y su efecto en los sistemas citados.

Esta interferencia electromagnética transitoria se ha identificado tanto en circuitos de potencia en c.a. en alto voltaje, como en tensiones auxiliares de bajo voltaje de c.a. y c.d. y circuitos de control, provocando sobretensiones transitorias en las terminales de los elementos afectados.

En dispositivos semiconductores la interferencia electromagnética puede dar como resultado una operación falsa al responder a la señal distorsionada, en casos extremos esta señal puede dañar definitivamente al dispositivo. Otro factor adicional es la interferencia debida a radios portátiles para comunicación.

Para fines prácticos la interferencia electromagnética debe suprimirse desde su origen, esto es, que el diseño de los circuitos de control debe ser el adecuado para disminuir el grado de acoplamiento electromagnético, y por ello, las sobretensiones.

FUENTES DE INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA

Dentro de las fuentes mas comunes e importantes de interferencia electromagnética se considerarán las siguientes:

Cap. IV

- 1) Transitorios en circuitos de c.a. en alta tensión.
- 2) Transitorios en bajo voltaje de c.a. y c.d. (auxiliares)
- 3) Transitorios en equipos electrónicos de potencia
- 4) Transitorios por efectos de radio frecuencia.

1) Transitorios en circuitos de c.a. en alta tensión.

Es bien conocido que casi cualquier operación de conmutación en subestaciones de alta tensión como disparo y cierre de interruptores, operación de cuchillas desconectadoras y operación de gaps o apartarrays, producen un cambio súbito en la distribución de la corriente local, la cual penetra en el área entera. Este campo induce corrientes y voltajes transitorios en todos los circuitos y objetos conductores cercanos. Esta fuente de transitorio, casi siempre contiene componentes de corriente y de voltaje con un fuerte contenido de oscilaciones de alta frecuencia, tal que la interferencia inducida en los circuitos de control cercanos se caracteriza por un contenido similar de altas frecuencias. El resultado de las pruebas de campo indican que el rango de frecuencias es de 100 KHz a 5 MHz. En cables de control no protegidos, se han registrado voltajes transitorios de varios KV pico. Otras pruebas de campo han medido corrientes transitorias de alta frecuencia que se aproximan a los 1000 amperes fluyendo de la terminal de puesta a tierra de los equipos de alta tensión al sistema de la red de tierras.

Un ejemplo de cómo este tipo de interferencia se genera, se muestra en las figuras 1 y 2. La figura 1 muestra un arreglo de barras de subestación conteniendo un interruptor y una cuchilla entre dos transformadores de potencial capacitivos.

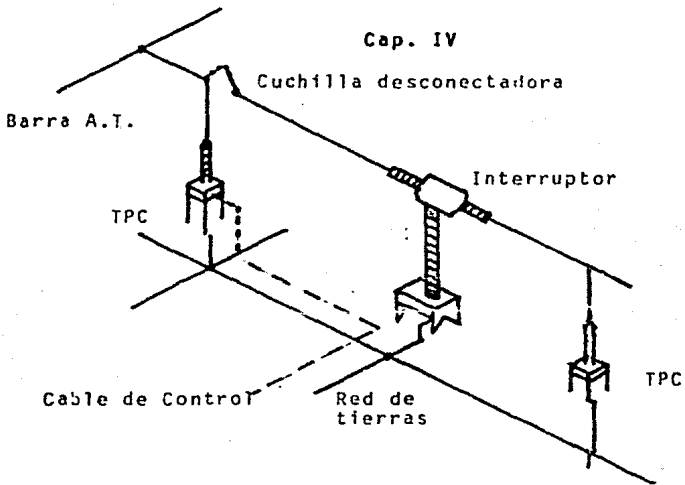
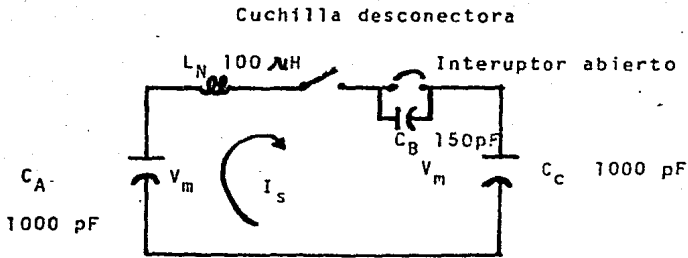


FIGURA 1 FUENTE DE TRANSITORIO EN ALTA TENSION



$$\frac{1}{C_N} = \frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_B} + \frac{1}{C_C} \quad C_N = 115 \text{ pF}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_N C_N}} = 1.5 \text{ MHz}$$

$$I_{m\max} = \frac{2 V_m}{\sqrt{\frac{L_N}{C_N}}} = 375 \text{ A}$$

FIGURA 2 CIRCUITO EQUIVALENTE

Cap. IV

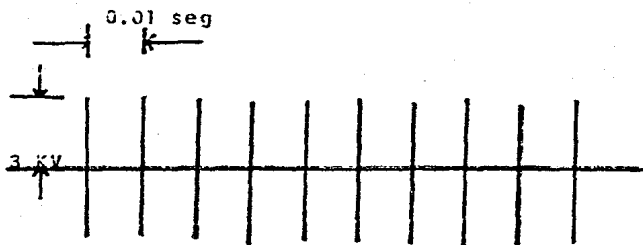
vos. La figura 2 muestra el circuito equivalente. Se forma un circuito cerrado por el retorno de la red a tierras a través de los transformadores de potencial capacitivos (TPC's). La capacitancia de gradiente de los interruptores es pequeña, 150 pF, la inductancia del circuito también es pequeña, 100 μ HY, la cual es típica; por lo tanto la frecuencia resonante del circuito es alta. Para los valores típicos mostrados, es del orden de 1.5 MHz. Sin embargo, la cuchilla sufre un flámeo o reencendido de arco y circularán en el circuito corrientes de alta frecuencia.

Para una subestación de 500 KV la corriente sería del orden de 875 amperes como se ilustra. Esta corriente es acompañada por un campo electromagnético transitorio, el cual inducirá altos voltajes en los circuitos cercanos. El resultado del fenómeno anterior, es la producción de una serie muy larga de perturbaciones decrecientes durante el tiempo que se efectúa el flámeo, una perturbación cada vez que los contactos de la cuchilla flamean. El tiempo entre cada perturbación es menor de medio ciclo por lo que la cantidad total es de 120 o más por cada fase y de 360 o más en las tres fases: como se indica en la figura 3 .

La energización de bancos de capacitores pueden causar muy severos transitorios y especialmente cuando ya un banco está conectado a la barra y los reactores de amortiguamiento no están instalados.

Córtos circuitos y fallas a tierra están asociados con un abatimiento súbito de las tensiones en las fases falladas. Este decrecimiento de la tensión es un transitorio con signo negativo y componente de alta frecuencia junto con la compo-

TREN DE PERTURBACIONES



DETALLE

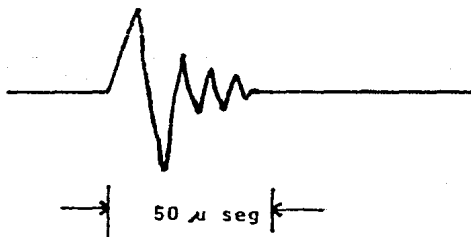


FIGURA 3 FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE TRANSITORIO

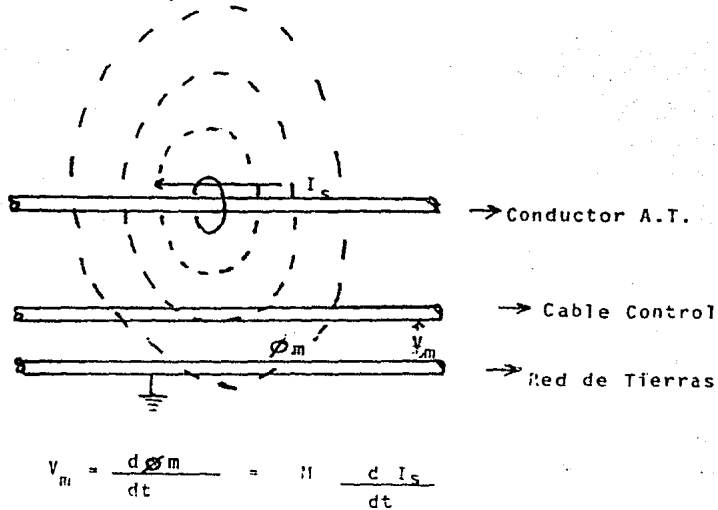
Cap. IV

mente fundamental. La magnitud del transitorio de tensión es siempre menor que el valor pico de la tensión de operación. El tiempo de crecimiento puede ser aproximadamente de un microsegundo lo cual representa una frecuencia de aproximadamente un Megahertz. Cortocircuitos y fallas a tierra en sistemas sólidamente aterrizados causan altas corrientes de falla de frecuencia fundamental. Fallas a tierra en sistemas aterrizados de alta impedancia están asociados con transitorios de corriente de alta frecuencia que pueden alcanzar varios kiloamperes y con un contenido de frecuencia de algunos kilohertz a algunos Megahertz.

Las corrientes transitorias que circulan en los conductores primarios, en una trayectoria vertical a tierra (corriente de fuga) en los TPC's, son acompañados por un campo magnético transitorio.

Esto inducirá un voltaje en cualquier circuito que sea eslabonado por este flújo. Este modo magnético de acoplamiento se ilustra en la figura 4 para barra con conductor aéreo y un cable de control, y por la figura 5 por la región cercana a la base de un TPC.

Igualmente el voltaje transitorio en la barra aérea causa circulación de corrientes capacitivas que fluyen en cualquier conductor cercano, incluyendo los cables de control. Este acoplamiento de campo eléctrico se ilustra en la figura 6. Tanto el acoplamiento de campo eléctrico como magnético están siempre presentes y la interferencia producida es la suma de dos efectos. Su importancia relativa depende de varios factores tales como geometría física del arreglo de la subestación, contenido de frecuencia transitoria, magnitudes



M = Inductancia mutua

FIGURA 4 ACOPLAMIENTO MAGNETICO DESDE LA BARRA.

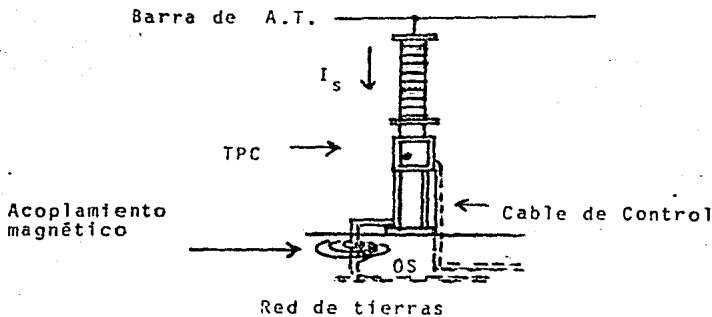


FIGURA 5 ACOPLAMIENTO MAGNETICO EN LA CERCANIA DE UN TPC

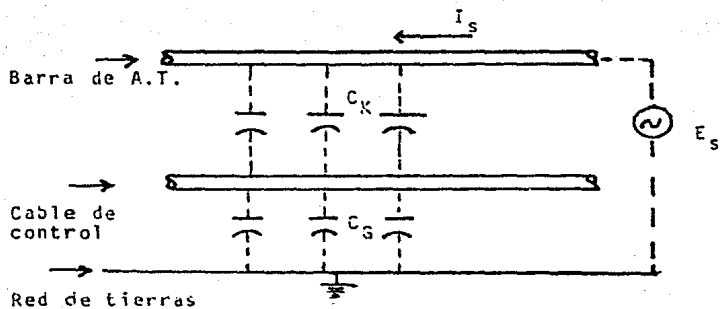


FIGURA 6 ACOPLAMIENTO DE CAMPO ELECTRICO DESDE BARRAS

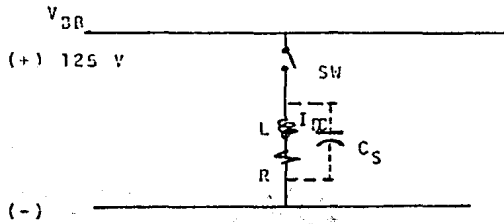
Cap. IV

de corrientes y voltaje transitorio, la presencia o ausencia de cables blindados, y arreglos de las puestas a tierra.

2) Transitorios en bajo voltaje de c.a. y c.d. (auxiliares).

Probablemente el transitorio más severo generado en el alambrado de bajo voltaje en la subestación, es el que se produce cuando un dispositivo tal como una bobina de un relevador auxiliar es desenergizada. Bajo condiciones lineales esto puede producir altas tensiones transitorias de extremadamente corta duración, las cuales se transmiten directamente a través de los sistemas de alambrado de bajo voltaje. Este fenómeno se conoce como transitorio rápido debido a su elevación con respecto al tiempo y corta duración.

El transitorio rápido se genera por el reencendido del switch que interrumpe la corriente en un dispositivo, como por ejemplo una bobina de relevador. Cuando se interrumpe la corriente y los contactos flamean ó reencienden el arco, el colapso del campo magnético en la bobina, genera oscilaciones de alto voltaje junto con la capacitancia de fuga de la bobina del relevador y su alambrado, como se muestra en la figura 7. Si el switch es perfecto, o sea que el arco no reencienda, el voltaje intentará elevarse a grandes magnitudes, posiblemente sobre 10 KV. Sin embargo, los contactos del switch debido a su cercanía no pueden soportar tal voltaje, por lo que la figura 8 muestra la situación real. El voltaje de reencendido del switch se incrementa con el tiempo conforme se separan los contactos. Muchos reencendidos ocurren hasta la interrupción final. Cada vez a un voltaje mayor en cada reencendido la capacitancia de fuga cargada a un voltaje mayor es súbitamente reconectada al alambrado del circuito de control,



$L = 50 \mu H$
 $R = 2000 \Omega$
 $C_S = 1000 \text{ pF}$
 $V_S = -I_{DC} \sqrt{\frac{L}{C_D}}$

$V_S = -14 \text{ KV máx}$
 $f = 700 \text{ Hz}$

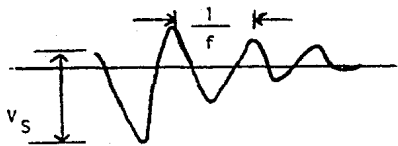


FIGURA 7 SWITCHEO DE UNA BORINA DE RELEVADOR

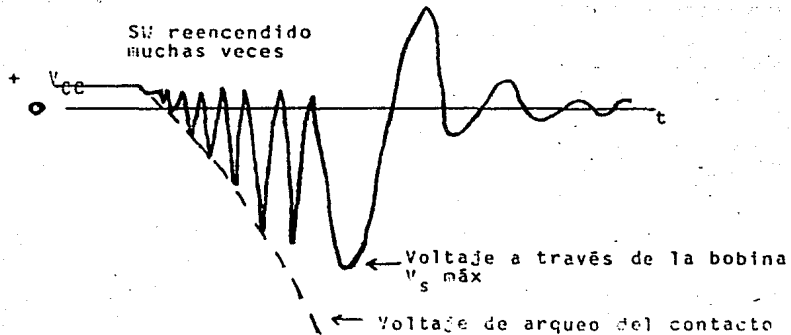


FIGURA 8 FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE EN LA BOBINA CON REENCENDIDO DEL SW

Cap. IV

descargándose muy rápidamente. Esto produce un pulso extremadamente rápido, con una corta duración la cual se propaga a lo largo del sistema de alambrado de bajo voltaje.

La energía descargada en el alambrado de control por el transitorio rápido, se puede estimar a partir de el voltaje pico y la capacitancia de fuga.

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

Suponiendo: $C = 500 \times 10^{-12}$ Farads.

y $V = 4000$ volts.

la energía es de 4 milijoules.

Este es un aumento relativamente pequeño de energía, sin embargo, es disipada en un tiempo extremadamente corto, tal que la relación de tiempo a flujo de energía o la disipación de potencia para un tiempo corto puede ser muy alta. Si, para el ejemplo dado, la energía es disipada en menos de 50 nanosegundos, la potencia promedio es:

$$P = E/t = 0.04/50 \times 10^{-9} = 80 \text{ KW.}$$

La experiencia de campo y las pruebas de laboratorio han demostrado que con este aumento de energía aplicada, la mayoría de los dispositivos semiconductores aún para el intervalo de unos pocos nanosegundos, pueden causar daño al dispositivo. En el caso de rectificadores de silicón, el resultado será un incremento notable en la corriente inversa de fuga y su falla más tarde.

Otra característica de los transitorios rápidos, es su muy rápida elevación con el tiempo (velocidad). La velocidad inicial de cambio de voltaje puede exceder 1000 billones de volt sobre segundo. Este valor extremo de dv/dt contribuye

Cap. IV

al máximo acoplamiento en los sistemas electrónicos a través de pequeñas capacitancias de fuga. Basta una capacitancia de acoplamiento de un pico farad para que aparezca una interferencia de corriente de 0.1 Amper en los circuitos afectados. La trayectoria de la capacitancia de fuga a través de los circuitos magnéticos aislados, bobinas, filtros, alambrado, etc., son especialmente vulnerables.

3) Interferencia en equipos electrónicos de potencia.

Otra fuente de inducción electromagnética presente en los circuitos de control de c.d., en los sistemas eléctricos de potencia e instalaciones industriales, es causado por los equipos electrónicos de potencia tales como inversores y cargadores de baterías de estado sólido. Durante su intervalo de conmutación estos equipos pueden imponer transitorios de baja frecuencia sobre los sistemas, lo cual puede afectar otros equipos electrónicos no protegidos. La velocidad de repetición depende del equipo que esté produciendo la interferencia. Para inversores, esta puede ser tan alta como varios KHz. Este tipo de interferencia es difícil de controlar por medio de filtros en el equipo afectado. Filtros localizados en las entradas de los inversores de c.d. son más efectivos.

4) Transitorios por efectos de radio frecuencia.

El campo electromagnético en el medio que rodea a las antenas de pequeños transmisores de radios portátiles, pueden ser lo suficientemente fuertes para inducir señales eléctricas indeseables en muchos equipos electrónicos. La experiencia ha mostrado que algunos dispositivos a base de semiconductores son bastante sensitivos a este tipo de interferencia. En particular, los circuitos integrados bipolares lineales, son

Cap. IV

más bien detectores sensitivos para las frecuencias usadas para tales comunicaciones, a menos que usen técnicas especiales en el diseño y aplicación de los circuitos para reducir la sensibilidad. Dispositivos digitales parecen ser algo menos sensitivos. Se han reportado varios incidentes donde se han empleado transmisores portátiles de mano de 5 W operando a 450 MHz, los cuales han causado operaciones falsas de los relevadores de protección de estado sólido.

Pruebas de laboratorio han mostrado que es factible y práctico diseñar relevadores de protección de estado sólido para operar en campos de radio frecuencia de alrededor de 15 volt/m. Este es un valor típico de la intensidad de campo máximo a un metro de distancia desde un transmisor de radio portátil de 5 W.

ACOPLAMIENTO ELECTROMAGNETICO EN RELEVADORES

Los transitorios primarios acoplados a los circuitos del relevador dan como resultado sobretensiones en modo común y modo transversal. Las sobretensiones de modo común se presentan en el circuito entre el conductor y tierra. Las sobretensiones de modo transversal se presentan en el circuito entre conductores; ver figura 9. La tensión de modo común aplica esfuerzos al aislamiento a tierra a varios equipos en los circuitos. La tensión de modo transversal se agrega a la señal en el circuito y se puede caracterizar como ruido en la señal. Tensiones de modo común se transforman a tensiones de modo transversal si el circuito está desbalanceado con respecto a tierra.

El acoplamiento del transitorio primario al circuito del relevador toma lugar por acoplamiento inductivo, capacitivo y conductivo; ver figura 9.

Cap. IV

La corriente transitoria primaria I_t está inductivamente acoplada a los circuitos del relevador por la inductancia mutua M_k . La inductancia mutua que causa la tensión transversal U_t es por el trenzado de los conductores en el cable, reduciendo a un valor que hace a la tensión transversal despreciable en circuitos normales de relevadores.

En la mayoría de los cables para circuitos de protección el trenzado de los diferentes pares de conductores, uno contra el otro, es insignificante. Transitorios de corriente en un par de conductores está inductivamente acoplado a otro par de conductores en el cable, causando tensiones de modo transversal.

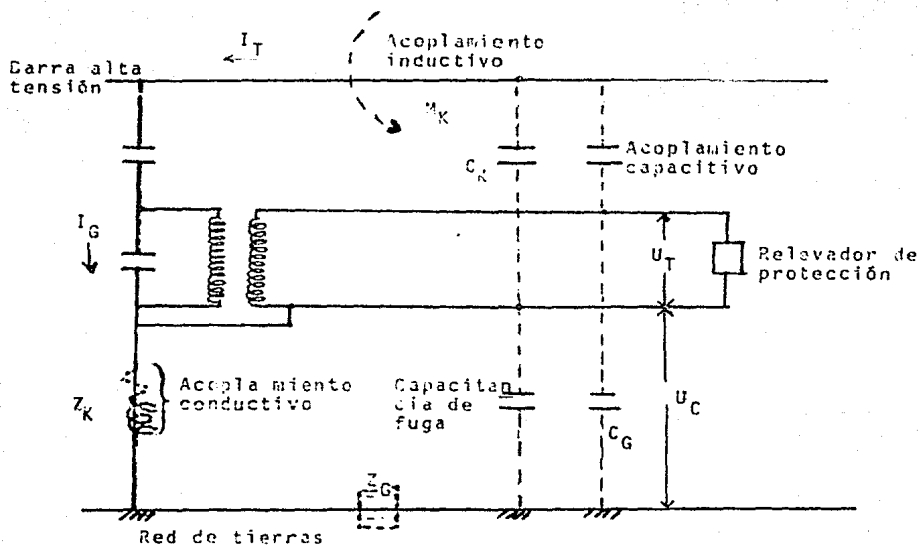
La inductancia mutua entre los conductores de alta tensión y el circuito formado por la red de tierras de la subestación y un cable, es relativamente alta. Esta inductancia mutua se puede reducir localizando el cable cerca de la red de tierras.

Unos cables blindados (aterrizando la pantalla en ambos extremos) la inductancia mutua a los conductores del cable puede ser fuertemente reducida.

El acoplamiento inductivo entre tierra y el cable causa una tensión de modo común U_c ; ver figura 9.

Las tensiones de modo transversal y común acopladas capacitivamente desde los conductores de alta tensión a los circuitos de los relevadores, son bajas y pueden ser despreciadas en circuitos de relevadores normales, debido al pequeño acoplamiento capacitivo C_k y a la capacitancia de fuga relativamente alta C_G ; ver figura 9.

En transformadores de corriente el acoplamiento capacitivo



U_T = Voltaje de modo transversal

U_C = Voltaje de modo común

FIGURA 3 MECANISMO DE ACOPAMIENTO

Cap. IV

entre los devanados de alta tensión y los devanados secundarios es de tal orden, que es necesario poner a tierra el devanado secundario para evitar tensiones destructivas de modo común.

La sobretensión transitoria acoplada conductivamente, es causada por las corrientes a tierra e incrementos de potencial en la red del sistema de tierra en el punto de inyección de corriente, ver figura 9 . Para controlar la tensión, la impedancia de acoplamiento Z_k tiene que ser pequeña.

El transitorio de corriente de tierra de alta frecuencia I_g , es acoplado desde los conductores de alta tensión por medio de la capacitancia de fuga en los aparatos de alta tensión.

Transformadores de instrumento y especialmente transformadores de potencial capacitivos tienen en su mayoría una gran capacitancia a tierra y se debe realizar el acoplamiento conductivo. Las tensiones de modo común de alta frecuencia se pueden reducir en el equipo de protección empleando cables de control blindados con la pantalla aterrizada en ambos extremos.

EPECTRO DE FRECUENCIA DE LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA

Una comparación del espectro de la interferencia electromagnética con respecto a las señales de entrada para los relevadores de protección, se muestra en la figura 10. También se muestra la banda de frecuencia aproximada en que operan los equipos de radio portátiles para uso industrial. La figura 10 indica el espectro total de frecuencia de la interferencia electromagnética, transitorios y radio, los cuales tienen un rango de frecuencia desde 100 KHz hasta 500 MHz en contraste, el ancho de banda de la frecuencia requerida por las formas

Cap. IV

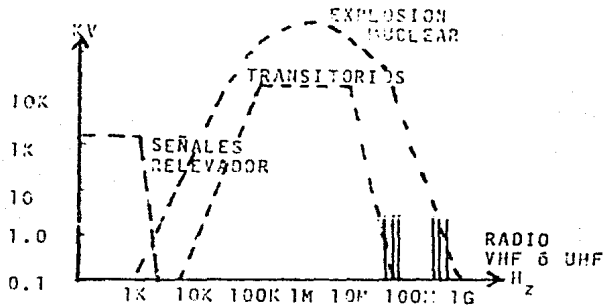


FIGURA 10 ESPECTRO DE FRECUENCIA DE LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA

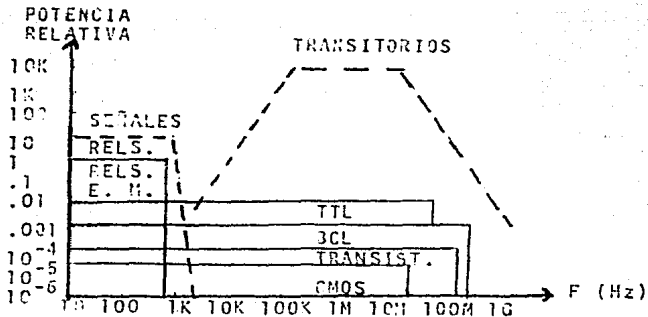


FIGURA 11 RESPUESTA DE RELEVADORES Y DISPOSITIVOS SEMI-CONDUCTORES

Cap. IV

de onda transitorias y de estado estable de las señales de entrada de los relevadores de protección, está dentro del rango de unos cuantos Hz hasta menos de 10 KHz.

Por lo tanto, la banda de frecuencia de la interferencia electromagnética presente en las subestaciones es **mucho** más grande.

La comparación se muestra también en la figura 11, la cual es un valor estimado del contenido de frecuencia y contenido relativo de energía tanto de las señales de información del relevador como la interferencia electromagnética; también se muestra la energía estimada y banda de respuesta de varias familias de dispositivos semiconductores comunmente usados en la protección de estado sólido y equipos de control.

CONTROL DE LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA

POR MEDIO DE FILTROS

Los relevadores de protección obtienen la información de las condiciones en los sistemas de potencia por medio de señales de corriente y voltaje proporcionados por TC's y TP's ó TPC's. Otras entradas de estado son proporcionadas por contactos de interfaz. Como se vió en el espectro de frecuencia, la banda de frecuencia requerida para proporcionar la información básica para los propósitos de protección, no es grande sino de unos cuantos KHz. Los relevadores electromagnéticos han proporcionado adecuada protección, desde este punto de vista, ya que sus características de operación son de baja respuesta con respecto a la banda de frecuencia.

Los dispositivos semiconductores que forman parte del ensamble

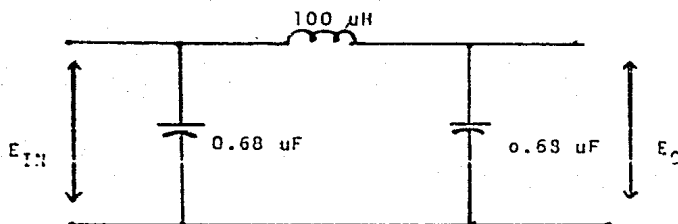


FIGURA 12 A FILTRO TIPICO CONTRA TRANSITORIOS

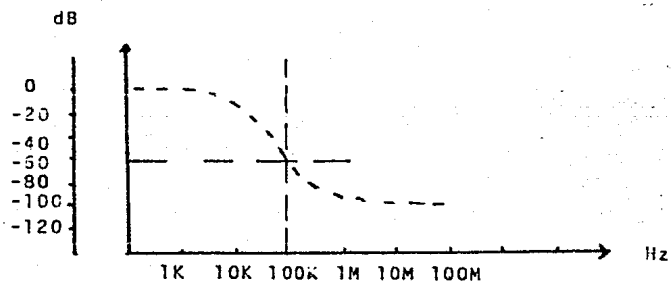


FIGURA 12 B RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL FILTRO PASO BAJAS

Cap. IV

de los sistemas de protección, son sensitivos a la banda de frecuencia ancha. Ellos pueden realmente responder a la presencia de interferencia electromagnética aún con muy pequeñas magnitudes. Como se vió en el espectro de frecuencia, la interferencia electromagnética es más fuerte a medida que las frecuencias son más altas que aquellas requeridas para propósitos de protección, es decir, hay una diferencia significativa en contenido de frecuencia y ésto es importante, porque proporciona bases excelentes para discriminación entre interferencias electromagnéticas no deseadas y señales de entrada deseadas por el uso de técnicas de filtrado. Se usan filtros paso bajas para este propósito y se llaman filtros contra transitorios o contra interferencias electromagnéticas y se colocan en las entradas y salidas de los relevadores de estado sólido. Un diágrama de un filtro típico como se muestra en la figura 12A y en la figura 12B ésta su respuesta en frecuencia. Este filtro desecha frecuencias arriba de 100 KHz y con muy poca atenuación.

PROTECCION CONTRA EL TRANSITORIO RAPIDO

Idealmente, es mejor proteger los equipos contra el transitorio rápido para prevenir la generación de éste. En muchos casos, esto se puede complementar conectando un varistor de óxido de metal u otros medios de supervisión a través de la bobina generadora. Esto previene la generación del voltaje suficiente para causar que los contactos reenciendan e inician el transitorio rápido; el varistor debe estar protegido para disipar la energía almacenada en la bobina. Otros medios de supresión incluyen un resistor, con un diódo invertido en serie, en paralelo con la bobina. En este caso el diódo debe

Cap. IV

estar protegido contra transitorios rápidos de otras fuentes. Cuando se aplica supresión en la fuente, el diseñador debe considerar el posible incremento en el tiempo de reposición del relevador problema. Aun cuando una fuente de transitorio rápido particular se extinguió, hay otras cercanas que pueden no ser posible suprimirlas.

En situaciones donde no es práctico prevenir la generación de transitorios rápidos, los dispositivos afectados como diodos semiconductores, rectificadores, etc., pueden protegerse contra daño conectándoles pequeños capacitores de disco de cerámica de aproximadamente 0.01 a 0.05 micro farads, a través del componente. Es importante conservar las terminales de conexión tan cortas como sea posible, de preferencia menores que una pulgada. Los capacitores protectores permiten que la corriente del transitorio rápido, no fluya a través del diodo. La duración de corto tiempo del transitorio produce únicamente unos cuantos volts a través del diodo como un resultado de la carga integrada en el capacitor.

LOS CABLES CONTROL Y LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA

Para reducir las tensiones inducidas de modo transversal es benéfico utilizar cables con conductores trenzados.

Cables blindados con la pantalla aterrizada en ambos extremos son medios efectivos para reducir las interferencias electromagnéticas transitorias en los circuitos de control. El blindaje no debe ser parte de la señal del circuito.

La figura 13 muestra el efecto de la pantalla de los cables y como se comporta la puesta a tierra de la pantalla para tensiones inducidas de diferente frecuencia. De las figuras se puede ver que con pantalla aterrizada en un extremo la tensión transversal U_t se reduce pero no la tensión de modo común.

Cap. IV

Con la pantalla aterrizada en ambos extremos, tanto la tensión de modo común como de modo transversal se reduce a altas frecuencias.

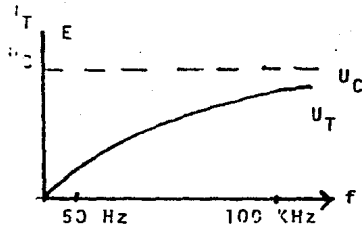
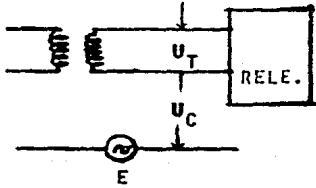
A baja frecuencia la tensión transversal es hasta cierto punto incrementada comparada con el cable sin pantalla.

En la vecindad de los conductores de alta tensión las distorsiones más serias son los transitorios de alta frecuencia acoplados inductiva y conductivamente. Por lo tanto, cuando se usan cables con pantalla en las subestaciones se debe aterrizar en ambos extremos.

Una pantalla aterrizada en ambos extremos es un conductor paralelo al sistema de tierras y lleva una porción de la corriente de falla para fallas a tierra. La conexión de la pantalla tiene que dimensionarse para esta corriente que puede ser aproximadamente de 370 A/mm^2 cuando un conductor de tierra paralelo está llevando 200 A/mm^2 . Estos valores son sólo indicativos de la magnitud de la corriente, mas no una recomendación para el diseño.

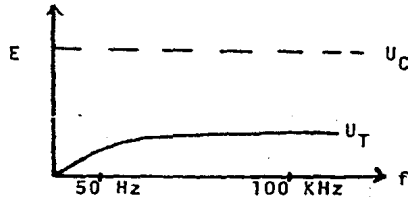
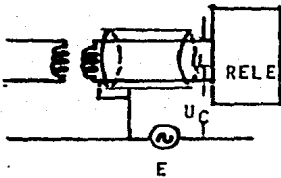
Además, la capacitancia de fuga a tierra, relativamente alta, tanto de los TP's como los TC's producen tensiones de alta frecuencia de varios KV a través de las conexiones del transformador a la red del sistema de tierras. Esta tensión somete a esfuerzos al aislamiento de los devanados secundarios que están aterrizados en otro punto de la red del sistema de tierras. Empleando cable de control blindado con la pantalla aterrizada en ambos extremos entre la caja de registro y los transformadores de medición de cada fase, estos últimos quedan protegidos contra flameos internos.

CABLE SIN PANTALLA



E = Potencial a tierra o voltaje inducido

CABLE BLINDADO ATERORIZADO EN UN EXTREMO



CABLE BLINDADO ATERORIZADO EN AMBOS EXTREMOS

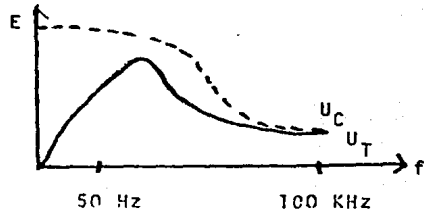
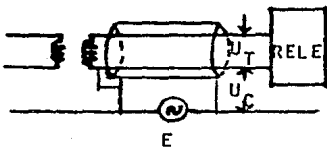


FIGURA 13 CABLES BLINDADOS

CAPITULO V

FIBRA OPTICA

GENERALIDADES

La industria de la fibra óptica se está moviendo rápidamente hacia la investigación y desarrolla en gran escala así como sus aplicaciones. El campo de la fibra óptica esta creciedo a un ritmo mucho mayor que el previsto por las investigaciones de mercado realizadas. Un periodo de 6 meses es un periodo de tiempo muy grande en el desarrollo de la fibra óptica.

Atendiendo a los diferentes medios de transmisión de información tales como alambre, cable coaxial, microondas, guías de onda y satélites. La fibra óptica por sus multiples aplicaciones resulta ser el medio ideal. Sus ventajas y desventajas se muestran en las Tablas 1 y 2. Mientras que las potencialidad de los otras medios de transmisión de información han sido prácticamente agotados, la de la fibra óptica aún no ha sido alcanzada.

CUALIDADES	VENTAJAS
Bajas pérdidas	Menos estaciones repetidoras
Amplios anchos de banda	Bajo costo por canal, capacidad expansión, grandes cantidades de información
Tamaño reducido	Ahorra espacio, poco peso
Flexibilidad	Facilita la instalación
Inmunidad a IEM	Confiabilidad
Resistencia a la radiación	Confiabilidad
Opera a altas temperat	Versatilidad
Dieléctrico	Aislamiento eléctrico, no interferencia de 'crosstalk'

TABLA 1

Cap. V

- 1) Conexiones (Confiabilidad, alto costo, no estándar)
- 2) Rápida evolución de su tecnología
- 3) Alto costo
- 4) Capacitación requerida
- 5) Estandarización (En fibras y conectores)
- 6) Confiabilidad de componentes
- 7) Disponibilidad de componentes (conectores)
- 8) Instrumentación de prueba
- 9) Accesorios
- 10) Requerimientos de potencia
- 11) Requerimientos de manejo

TABLA 2 : Desventajas de la Fibra Óptica

El campo de aplicación de la fibra óptica es bastante amplio, la siguiente tabla nos permite una apreciación general de sus aplicaciones, sus funciones y las ventajas de la fibra óptica sobre los medios convencionales.

APLICACIONES	FUNCIONES	VENTAJAS
Teléfono	Troncales entre ciudades y entre oficinas y circuitos locales.	Amplio ancho de banda
Computación	Sistemas dispersos y cableado dentro del mismo sistema.	Inmunidad a la IEM, razón de transferencia ecualizada
Procesos de Control e Instrumentación	Interconexión a través de computadora para procesos de control e Instrumentación.	Inmunidad a IEM
Cadenas TV	Telecable, circuitos en edificios, comunicación específica.	No interferencia, más espacio entre est. amplificadoras, transmisión más sencilla

TABLA 3 : Aplicaciones de Guías de Onda Ópticas

Cap. V

ANATOMIA DE LA INDUSTRIA DE LA FIBRA OPTICA

<u>LARGO RANGO</u>	<u>RANGO MEDIO</u>	<u>RANGO CORTO</u>	<u>MUY CORTO RANGO</u>
Mayor 5 Km	0.2 a 5 Km	10 a 220 m	Menor 10 m
Centrales telefónicas	Control Industrial	Circuitos locales.	Instrumentación
transmisiones a larga distancia.	Interconexiones de las est. de tierra de satélites.	Aplicaciones de Control. Aviones	Transductores
grandes troncales de TV	Ligas de entrada para microondas.	Trenes	Medicina
Cables submarinos	Barcos		Automóviles
	Subestaciones		

TABLA 4

A pesar del rápido desarrollo de la fibra óptica no se han desarrollado sistemas basados en la fibra óptica como medio de transmisión en gran escala, es decir, sistemas que utilicen toda la potencialidad de la fibra óptica.

La siguiente gráfica nos muestra el desarrollo histórico de las transmisiones de información por medio de sistemas funcionales y la tendencia a futuro con los sistemas de fibra óptica.

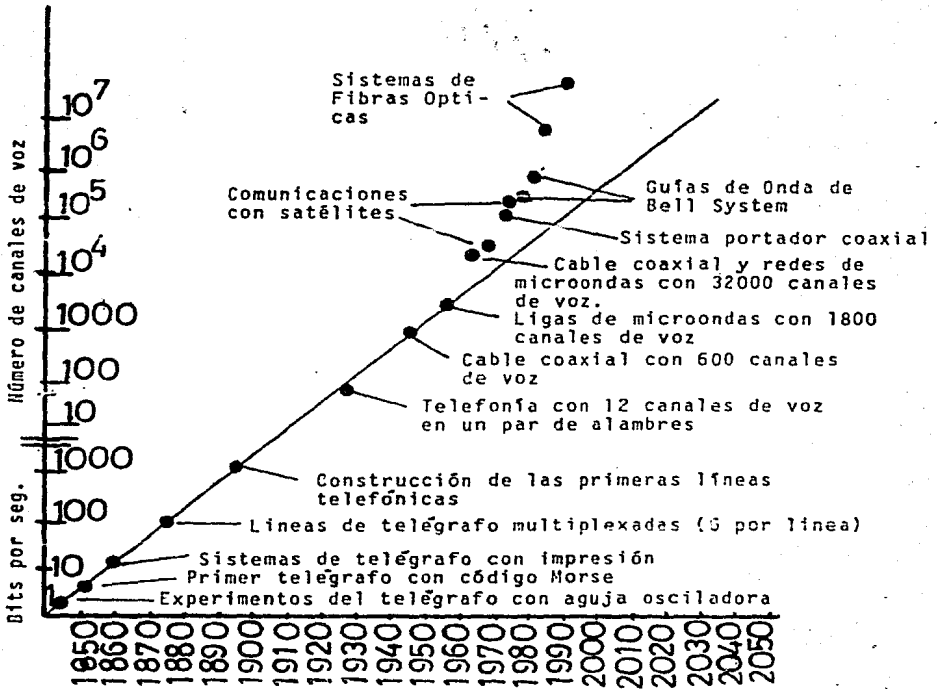


FIGURA 1
DESARROLLO HISTORICO DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISION DE
INFORMACION.

Los sistemas de comunicación por fibra óptica ofrecen grandes ventajas debido a su gran ligereza, alta capacidad de transmisión e inmunidad a la interferencia electromagnética lo que permite operar bajo condiciones en las cuales los cables metálicos presentan grandes problemas de ruido, diafonía y saturación de los ductos disponibles para las líneas.

La tecnología de fibras ópticas maneja actualmente en forma comercial fibras multimodales de índice gradual que trabajan con una longitud de onda de emisión de $0.85 \mu\text{m}$, presentando una atenuación de 2 a 3 dB/km, aunque su tendencia es operar con fibras multimodales (de índice gradual) y monomodales (de índice escalonado) que operen en el margen de 1.3 a $1.6 \mu\text{m}$; éstas últimas empiezan a comercializarse, a pesar de que su uso se encuentra restringido a laboratorios o enlaces experimentales debido a la falta de un completo desarrollo en los dispositivos de emisión para estas longitudes de onda.

Dependiendo de la longitud de onda de operación también se definen los espacios entre repetidores ópticos; así, para $0.85 \mu\text{m}$ se admite una separación máxima entre 10 y 12 km, mientras que para $1.3 \mu\text{m}$ se pueden lograr distancias hasta de 50 km.

CRITERIOS DE DISEÑO DEL CABLE OPTICO

A continuación se revisan algunos de los fundamentos en el criterio de diseño.

. protección física:

La estructura del cable debe proteger a la fibra de daños durante la fabricación, instalación y uso. Los requeri-

Cap. V

mientos de curvatura, impacto y aplastamiento deben ser satisfechas por las propiedades de la sección transversal del cable. Miembros o elementos de refuerzo son necesarios para evitar exceder la capacidad de tirantez de la fibra. El diseño de la tensión del cable debe responder a la tensión estática igualmente durante cortos periodos de carga (durante la instalación) y en largos periodos en la manufactura así como los esfuerzos residuales que se inducen en la instalación.

- . Mantenimiento de las propiedades de transmisión de la fibra.

El objetivo del diseño es mantener la atenuación inherente de la fibra durante la fabricación así como también durante una gran cantidad de condiciones ambientales y la instalación en sí. Las microcurvaturas que añaden pérdidas pueden resultar de cargas laterales en la fibra (efecto de superficie rugosa) o de cargas axiales (cargas de compresión pueden pandear la fibra). Cargas de compresión pueden ocurrir durante la fabricación cuando se contrae el extrufo durante el enfriamiento, o por contracción térmica del cable cuando se expone a temperaturas bajas. Estos efectos pueden en parte ser mitigados rodeando las fibras con capas protectoras apropiadas (revestimientos, tubos, cintas, etc.) y controlando la cantidad de acoplamiento mecánico entre las fibras y el cable como un todo.

Muchos diseñadores usan acoplamientos bastante holgados entre la fibra y la estructura del cable. Sin embargo, el material y el grado de holgura son importantes; por ejemplo, una fibra puede pandearse dentro de un accesorio de holgura cuando el

accesorio o tubo se contrae debido a los cambios de temperatura, causando altas pérdidas por microcurvatura. Esto puede ocurrir si el material no es escogido apropiadamente, o si el claro entre la fibra y el tubo es inapropiado. Puesto que el coeficiente de expansión térmica lineal de los polímeros es mayor comparado con el del vidrio, accesorios de recubrimiento ajustados pueden también inducir pérdidas por microcurvatura cuando el producto EA del revestimiento (módulo elástico multiplicado por el área transversal) es comparable al de la fibra.

. Cantidad de fibras.

El número de fibras en un cable afectará:

1. La estrategia de empaque de las fibras.
2. Procedimientos de manipuleo de las fibras en el campo.
3. El método de empalme usado para el cable.

Puesto que los empalmes de fibra óptica son más difíciles que los empalmes de pares metálicos, hay más interacción en el diseño empalme-cable en los cables ópticos.

Cuando sólo se requieren unas pocas fibras, técnicas de empaque y empalmes individuales son atractivas. El manipuleo de fibras individuales en el campo requiere cuidado, y el tiempo de empalme por fibra es relativamente alto; sin embargo este proceso es viable cuando la cantidad de fibras es baja.

Cuando el número de fibras se incrementa, la complejidad del manejo, empalmes y organización individual de la fibra en el campo se incrementa rápidamente. Grupos de fibras en paquete

y/o técnicas de empalme en masa parecen atractivas para cantidades de fibra aproximadamente arriba de 20. Por tanto, el cable debe ser compatible con una o ambas opciones.

ESTRUCTURA DEL CABLE

A continuación se revisan algunas de las estructuras básicas del cable óptico.

. Elementos reforzadores de tensión.

Se requieren estos elementos para llevar la mayor parte de la carga de tensión. El material y la cantidad de refuerzos son diseñados para proporcionar suficiente dureza dentro del pequeño límite de elongación de la fibra. Los materiales más comunes son fibras de refuerzo plásticas, fiber glass, (marca registrada de Dupont) y acero, en orden ascendente de módulo de tensión.

Los elementos de esfuerzo también pueden afectar el proceso de manufactura. Cuando el plástico extruido es usado con elementos de refuerzo de acero, el acero puede impedir al plástico comprimir a las fibras al enfriarse. El hilado mediante fiberglass o Kevlar puede pandearse bajo la carga de compresión generada por la extrusión, de aquí que ellos no puedan impedir la compresión axial de las fibras. Esto puede causar la inclusión de pérdidas por micro curvaturas durante la fabricación o subsecuentemente, cuando el cable se exponga al frío. El pandeo de los elementos de esfuerzo del cable también reducen la tensión lo cual disminuye la rapidez de la tensión por carga del cable. Estos problemas pueden ser eliminados mediante una selección apropiada de los materiales y parámetros de fabricación.

Los refuerzos de tensión pueden estar localizados convenientemente en el centro del cable (fig. 2a) para formar un elemento de refuerzo central o en las capas de envoltura externas (fig. 2c) para formar un elemento de refuerzo externo. Los elementos de refuerzo al centro son ideales para el diseño de cables trenzados donde las fibras ópticas son trenzadas alrededor del elemento de refuerzo durante la fabricación. Los elementos de refuerzo externo permiten la colocación compacta de las fibras en la región del núcleo del cable. Ofrecen así, gran protección contra la abrasión y a las fuerzas de corte y son duros al curvarse, más que un diseño equivalente de refuerzo central.

. Estructuras del núcleo.

La figura 2 ilustra tres diferentes tipos de estructuras de cable óptico: en capas, en paquete, y cinta. Todos han sido usados satisfactoriamente en forma comercial, además ha sido probada su baja inclusión de pérdidas durante el cableado.

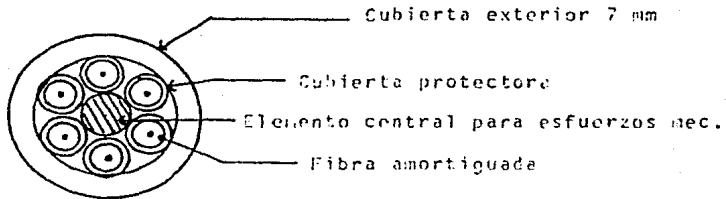
El diseño en capas es eficiente para cantidades de fibras abajo de 20. Los cables típicos tienen un elemento central de esfuerzo. Una capa de seis o de ocho fibras, y un diámetro de cerca de 7 mm. Conductores de cobre pueden ser entremezclados con las fibras ópticas y el concepto puede ser extendido a dos capas al incrementar la cantidad de fibras. Estos diseños son compatibles con las técnicas de empalme de las fibras simples.

Los diseños de paquete son extensiones de los diseños por capas y son también diseños trenzados. Las fibras reciben una capa amortiguadora de un milímetro de diámetro externo. Entonces, son empaquetadas de dos a ocho fibras como una uni-

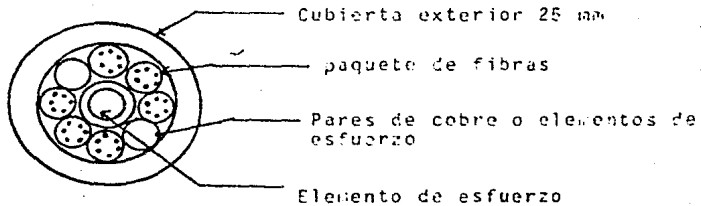
Cap. V

dad. Estas unidades son usualmente trenzadas alrededor del miembro central de esfuerzo y pueden combinarse con otras unidades conteniendo conductores de cobre o miembros de esfuerzo. Cables con un rango típico de 40 fibras de 15 a 25 mm de diámetro. Este diseño es adecuado para un amplio rango de cantidad de fibras pero tiende a no ser eficiente en cuanto a espacio. Estos cables son usualmente empalmados sobre una base simple de fibras.

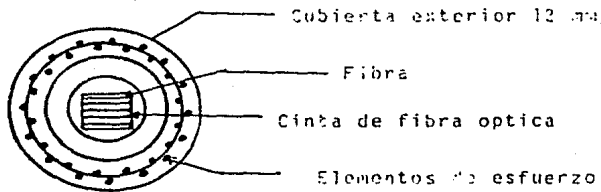
En el diseño en paquete de cintas, revisten a las fibras con un diámetro de cerca de 0.25 mm entre líneas del orden de 6 a 12 fibras con una cinta protectora en la parte superior e inferior. Esas cintas pueden ser colocadas en el núcleo del cable. Un recubrimiento con miembros de esfuerzo externo completan la estructura del cable. Como un ejemplo, un cable conteniendo 144 fibras tiene un diámetro de casi 12 mm. La estructura de la cinta puede ser espaciada eficientemente y es adecuada para un amplio margen de cantidad de fibras. Es compatible o con fibra simple o con técnicas de empalme en masa y puede ser conectado de fábrica. Ver Figura 3



a) Diseño en Capas



b) Diseño en Paquete



c) Diseño Con Cintas

FIGURA 2

Tipos de diseño en cables de fibras ópticas

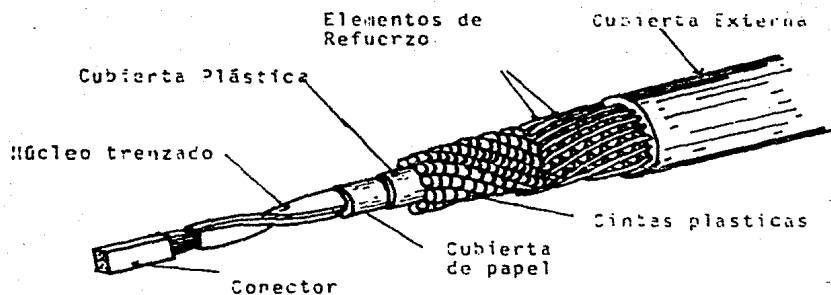


FIGURA 3
Cable Óptico que contiene 144 fibras

CONDUCCION DE LA LUZ POR MEDIO DE UNA FIBRA OPTICA

La luz es guiada a lo largo de una fibra óptica debido a la reflexión interna total. Esto ocurre cuando la luz, en un medio transparente, choca con la frontera de un material de bajo índice de refracción. Si la luz choca con la frontera con un ángulo suficientemente pequeño es totalmente reflejada hacia el material que tiene un alto índice de refracción, de otra manera pasa a través de la frontera. En una fibra óptica el núcleo es el que tiene mayor índice y es generalmente de sección circular y se encuentra rodeada por un revestimiento de bajo índice. Para ser contenida en el núcleo, la luz debe golpear la frontera del revestimiento al menos con el ángulo crítico para la reflexión interna total. El ángulo crítico, en radianes, está dado por:

$$\theta_c = (2(n_1 - n_2) / n_1)^{1/2}$$

donde: n_1 y n_2 son los índices del núcleo y del revestimiento respectivamente.

En una fibra óptica, la diferencia entre el n_1 y n_2 es pequeña (alrededor de 0.01) haciendo que el ángulo crítico sea de aproximadamente 0.012 radianes (6.6 grados).

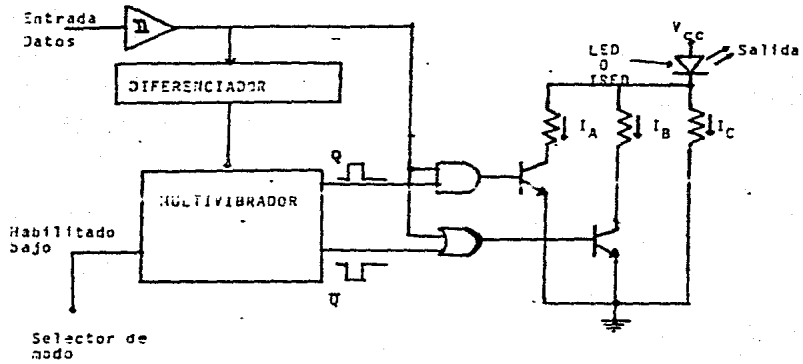
La manera en que la luz viaja a través de una fibra óptica también depende del tamaño del núcleo y la naturaleza de la frontera núcleo-revestimiento. Si el núcleo es de pocos micrómetros de diámetro, bajo ciertas condiciones todos los rayos de luz viajarán esencialmente en la misma trayectoria o modo a través de la fibra, de tal manera que la luz a la entrada y a lo largo de la fibra permanecerá coherente. Mantener la co-

herencia es importante porque esto permite la comparación interferométrica de las trayectorias tomadas por dos rayos de luz, esta es una técnica de medición usada por muchos sensores de fibra, tales como los sensores de voltaje y corriente en las líneas de alta tensión, etc. de los que se hablará más adelante. Las fibras de modo simple no mantienen la polarización de la luz de entrada, pero puede mantenerse la polarización de la fibra por medio de esfuerzos mecánicos en el núcleo durante su manufactura. Aunque el grado de aislamiento de polarización que se ha conseguido en las fibras actuales no satisface los requerimientos para el sensado, se han hecho progresos en esta dirección. Las fibras multimodo tienen núcleos mucho más grandes, y los rayos de luz pueden viajar en muchas trayectorias diferentes. Si la frontera entre el núcleo y el revestimiento es abrupta, las fibras son llamadas "STEP-INDEX"; si es gradual "GRADED INDEX" las distinciones son importantes en comunicaciones pero no en sensado.

DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE FIBRA OPTICA

A continuación se explica de manera general los elementos que conforman un sistema de fibra óptica en cuanto a transmisor y receptor se refiere.

La figura 4 muestra simbólicamente el arreglo lógico de un transmisor, formas de onda para señales de corriente I_A e I_B y las formas de onda resultantes del flujo de salida.



Con selector de modo alto, Q = alta

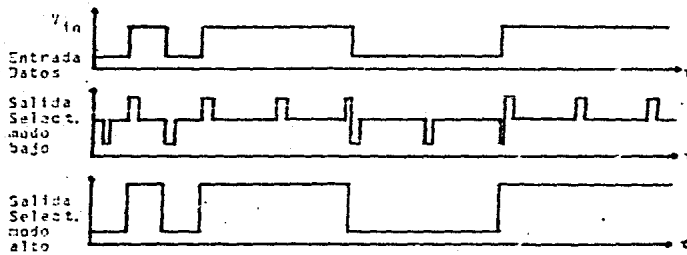


FIGURA 4
Diagrama de Bloques y Formas de Onda de un Transmisor

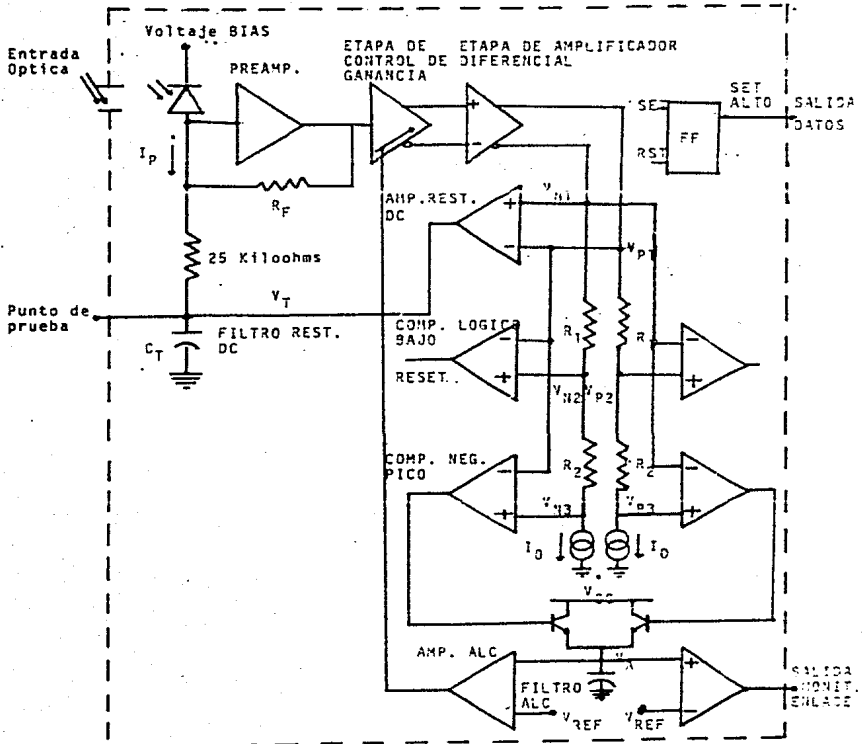


FIGURA 5 Diagrama del Receptor

Cap. V

DIAGRAMA DE BLOQUES Y FORMAS DE ONDA DE UN TRANSMISOR. El sistema requiere de 5 V y tierra y dos niveles de entrada TTL: entrada de datos y selección de modo. Seleccionando el modo alto se inhabilita al multivibrador obteniéndose a la salida de este un nivel alto en Q y un bajo en \bar{Q} de tal manera que el flujo de salida es una réplica digital de la señal de entrada. Este modo requiere de una codificación externa de los datos de la señal de entrada para una operación adecuada del receptor. Con el modo seleccionado en bajo el multivibrador es habilitado y el flujo de salida del led es codificado a pulsos bipolares (PBP). Esto hace al sistema transparente sin restricciones en los formatos de datos, permitiendo las transmisiones de NRZ, RZ o cualquier otro código tal como PWM.

RECEPTOR

La figura 5 muestra un diagrama de bloques simplificado del receptor, éste requiere solamente de 5 V y tierra, y tiene 3 salidas: salida de datos y monitor de enlace que son de bajo nivel de potencia, niveles Schottky TTL; mientras que la otra salida que es el punto de prueba tiene alta impedancia. Los voltajes del punto de prueba varían linealmente con respecto al flujo de entrada. Un nivel alto a la salida del monitor de enlace indica que las excursiones de voltaje a la salida del amplificador son lo suficientemente grandes para activar el nivel automático de control (ALC) y son por consiguiente adecuados para operar los comparadores lógicos. Una excursión de flujo positiva produce una excursión de voltaje positiva y activa el flip-flop R-S y hace alta su salida de datos hasta que una excursión negativa cambie el estado del flip-flop.

EQUIPO DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE FIBRA OPTICA

El desarrollo de la fibra óptica y su equipo de soporte en sí ha tomado caminos diversos y no ha obedecido a un esfuerzo común por parte de las compañías que aunque presentan problemas comunes en la operación de sus sistemas de control, comunicaciones, supervisión, telemetría, entre otros, no se ha llegado a la estandarización del equipo usado en los sistemas, aunque estos realicen las mismas operaciones.

A continuación se mencionan algunos de los dispositivos que si bien no son los más importantes, es en ellos donde se han tenido gran parte de la problemática a la que nos hemos referido.

EMPALME: un empalme es usado para unir dos fibras permanentemente en un sistema cuya extensión es mayor que la longitud de los cables de fibra disponibles, y donde las limitaciones prácticas restringen la longitud del cable que puede ser instalado.

Las técnicas básicas usadas en el empalme individual de fibras multimodo son la fusión y la adhesión dentro de un elemento de alineamiento.



FIGURA 6 : Las fibras ópticas ofrecen infinidad de posibilidades por su flexibilidad y ligereza. En la foto superior, un técnico empalma dos fibras para hacer una conexión en forma de "Y".

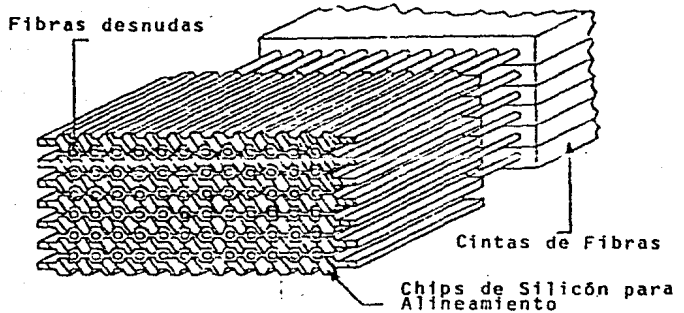


FIGURA 7

ADHESION: Se muestra el empalme simultáneo de un arreglo de fibras multimodo en un cable tipo cinta que contiene 12 arreglos de 12 fibras cada uno. Con el material de encapsado removido las fibras están interniveladas entre los espacios ajustadas con epoxy.

El final del arreglo es pulido. Dos de tales arreglos son entonces unidos mediante un material que nivelará los índices en la interfase y serán alineados con ayuda de las ranuras.

CONECTORES: un conector, por definición, es un dispositivo desmontable y es usado donde es necesario o conveniente facilitar la desconexión y reconexión de la fibra.

A continuación se ilustran dos diseños de conectores que tienen en promedio una pérdida de menos de 1 dB cuando se unen.

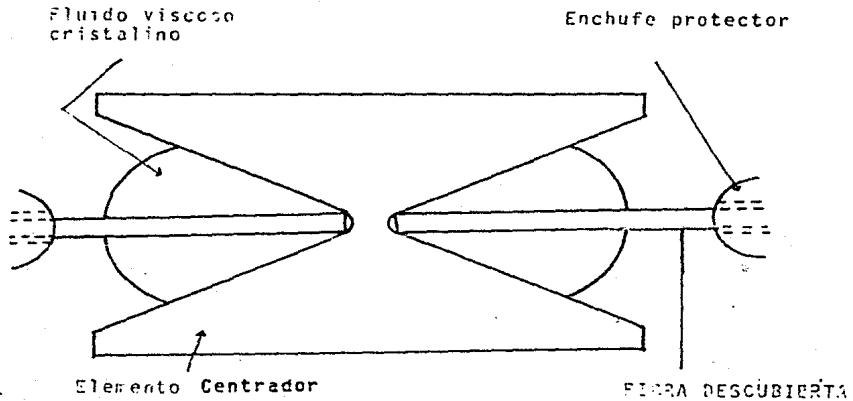


FIGURA 8

Las fibras se colocan dentro de las cavidades del elemento centrador. Luego se rellenan con un compuesto óptico, alineando y fijando así a las fibras.

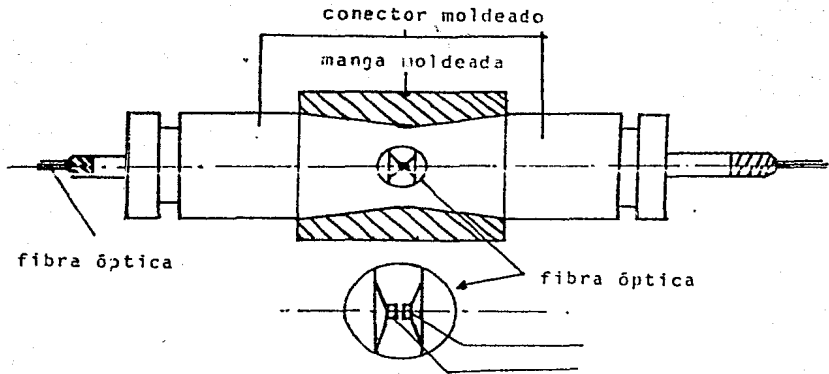


FIGURA 9 Se muestra el arreglo básico de un conector de clavija moldeada, se modela una sobre cada fibra y luego se alinean por medio de un elemento moldeado en forma de manga.

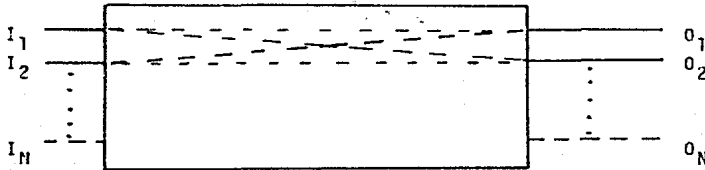
ACOPLADORES: Los empalmes y conectores son dispositivos bi-puertos, esto es, la señal entra por un puerto y sale por otro y no de otra manera.

Cap. V

Hay funciones en un sistema en que se requiere que la señal de entrada se bifurque o entronque de diversas maneras haciendo necesario dispositivos multipuertos que dividan o combinen las trayectorias de transmisión, a estos dispositivos multipuertos se les llama acopladores.

La siguiente figura muestra las muchas funciones que realizan los acopladores.

Cap. V

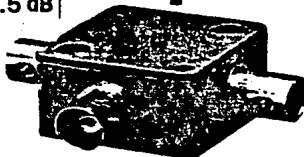


TIPO	PUERTO DE ENTRADA	PUERTO DE SALIDA	CARACTERISTICAS
Derivación-	I_1	O_1 O_2	A través de los canales de salida.
Separador	I_1	O_1 O_2	Igual potencia en ambas salidas.
Combinador	I_1 I_2	O_1	
Acoplador Direccional	I_1 I_2	O_1 O_2 O_1	A través de los canales de salida. La entrada local I_2 a la salida O_2 es indeseable.

FIGURA 10 A ALGUNOS TIPOS DE ACOPLADORES

directional couplers

19.5 dB



0.1 to 2000 MHz

FIGURA 10 B : ACOPLADOR DIRECCIONAL COMERCIAL

Cap. V

Los conectores para sistema de computación y control de corta longitud que usan fibras de núcleo grande y de índice abrupto (STEP/INDEX) pueden diferir en diseño y funcionamiento de aquellos que han sido desarrollados para sistemas de telecomunicaciones a grandes distancias

Los progresos a futuro tenderán hacia la estandarización de los componentes y tipos de fibra.

APLICACIONES DEL CABLE OPTICO

Las aplicaciones del cable de fibra óptica en los sistemas de comunicación se dividen en tres grandes grupos: instalación subterránea o en ductos, instalación aérea, e instalación submarina.

La instalación aérea, en éste caso, merece una descripción más detallada por sus características especiales. El cable unido a mensajero tiene la ventaja de permitir un adecuado tensionado del cable óptico de acuerdo a las condiciones de carga o de "deslizamiento", y a las deformaciones plásticas, ambas del orden de 0.1 % (fig. 11). El problema más importante es asegurar la igualdad de elongaciones para el cable mensajero y el cable óptico a fin de evitar tensiones excesivas o concentradas en los puntos de amarre, lo que implica que para líneas en operación se diseñe el cable a la medida. Otro aspecto a tomar en cuenta es la incidencia de descargas atmosféricas sobre el cable lo que puede dañar al cable óptico si no posee un amarre dieléctrico seccional, o si la protección del cable óptico no es adecuada.

El cable autosoportado presenta el problema de agregarse a los cables de la línea instalados, lo que puede causar

Cap. V

sobrecargas mecánicas sobre todo en algunos tramos sobre las torres; sin embargo, se ha desarrollado un diseño de tipo dieléctrico que puede disminuir estos problemas, aunque para los claros que normalmente se requieren en las líneas de alta tensión no se ha obtenido buenos resultados, sobre todo por los efectos de golpeo y vibraciones por influencia del viento.

El diseño de cable interconstruido tiene la ventaja de poder cumplir las funciones de un cable de potencia (conductor de fase o cable de guarda) y las de un cable de telecomunicación, ya que el cable óptico se encuentra contenido propiamente dentro del cable de potencia, y así evitar modificar las torres para la instalación de un cable adicional. Además, las características mecánicas del cable conductor y del elemento de refuerzo central permiten a la fibra óptica cierta holgura en el margen de elongación; en forma experimental se han instalado algunos tramos de cable de guarda óptico, empleando estructuras de fibras libres en tubos y estructuras cilíndricas ranuradas.

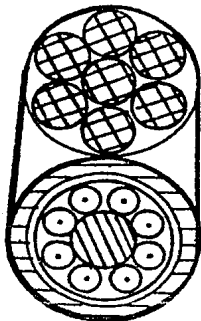


FIGURA 11 CABLE OPTICO UNIDO A MENSAJERO

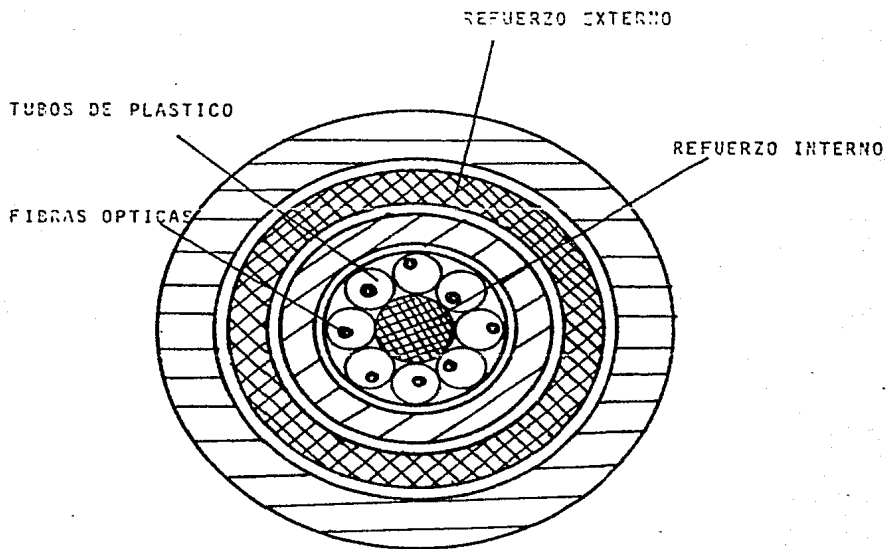
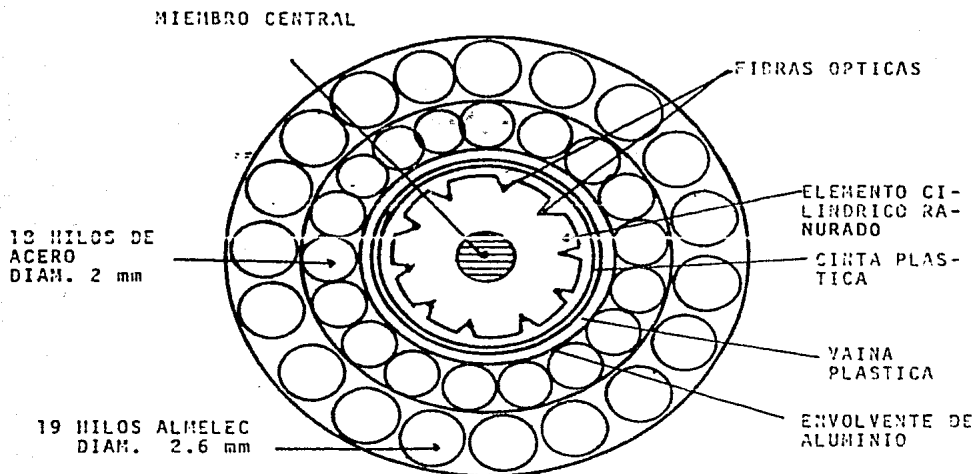


FIG. 12 CABLE AUTOSOPORTADO



CABLE OPTICO INTERCONSTRUIDO EN EL CABLE DE GUARDA

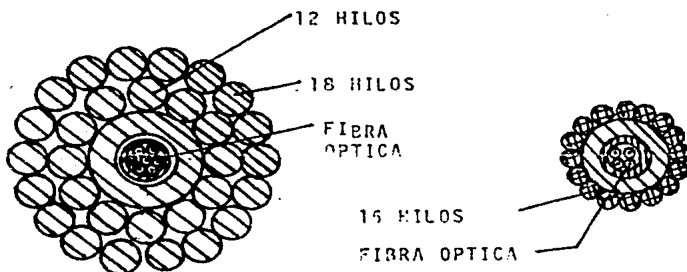


FIGURA 13

ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS DE DESARROLLO

En general, el mercado de cables ópticos está diversificado por el gran número de aplicaciones disponibles, aunque se puede hablar de tres aplicaciones principales: un mercado orientado a satisfacer las demandas de enlace de computadoras, terminales de video a corta distancia con requerimientos bajos de ancho de banda, (entre 20 y 200 MHz.km) y valores de atenuación relativamente altos (6 y 7 dB/km); en este tipo de aplicaciones, las características del diámetro del núcleo y revestimiento presentan una relación 100/140 μm , siendo de tipo multimodo con índice graduado y semigraduado; en algunos casos particulares se aplican fibras multimodo de índice escalonado con una relación 200/300 μm presentando atenuaciones de 8 a 10 dB/km y anchos de banda menores de 10 MHz.km. Esta aplicación ha tenido gran aceptación sobretodo en medios donde las necesidades son de protección de la calidad de la transmisión, más que de alta velocidad y capacidad.

La segunda parte del mercado se ha enfocado al sector telecomunicaciones, donde la participación de las empresas telefónicas ha sido preponderante para el desarrollo de la mayoría de los tipos de cables ópticos disponibles; dicha demanda ha surgido como una necesidad de medios de comunicación con mayores posibilidades de expansión, no solo en cuanto a volúmenes de información o velocidades de transmisión sino también en lo que respecta a medios alternativos de comunicación como son transmisión de datos, para enlaces interurbanos entre computadoras, o la transmisión de canales de video, todo ello en la misma línea óptica, a través de los diferentes métodos de multicanalización disponibles. Para este tipo de aplicación, la fibra óptica trabaja con una relación de diá-

Cap. V

metros núcleo revestimiento de $50/125 \mu\text{m}$, pudiendo operar bajo dos ventanas, de acuerdo a la longitud de onda de emisión del dispositivo; claro es que entre mayor sea la longitud de onda de emisión a la que responde la fibra, mayor será el costo de ella por metro; en este caso, las dos longitudes de onda de emisión disponibles en el mercado son $0.85 \mu\text{m}$ y $1.3 \mu\text{m}$. En forma alternativa se están fabricando fibras ópticas que respondan en ambas ventanas de emisión con valores de atenuación de 2.4 dB/km para $0.85 \mu\text{m}$ y 1.0 dB/km para $1.3 \mu\text{m}$, con un ancho de banda mínimo de 800 MHz.km .

La variedad de estructuras disponibles para comunicación ha requerido al usuario la especificación de sus necesidades de aplicación; en general se puede decir que las estructuras densas se utilizan para aplicaciones con pocos requerimientos de esfuerzos sobre el cable, aunque para instalaciones subterráneas es recomendable proveer al diseño del cable de una protección metálica que evite la acción de roedores, y de capas plásticas que lo aislen de la influencia de la humedad. Sin embargo, para aplicaciones de instalación subterránea crítica, o para instalaciones aéreas, se recomienda el uso de estructuras de fibra óptica libres, que permiten un margen de elongación para las fibras, antes de que aparezcan microcurvaturas sobre ella. En este aspecto, es aconsejable que dicho margen de elongación sea mayor al 1% , a fin de que las fibras estén protegidas mecánicamente ante esfuerzos de elongación no mayores al 0.2% .

El tercer mercado disponible es de tipo potencial, y está orientado al desarrollo de fibra óptica monomodales de índice escalonado, con características de núcleo muy reducidas (4 a $12 \mu\text{m}$) y diámetro del revestimiento normalizado ($125 \mu\text{m}$);

dichas fibras tienen rangos de atenuación de 1 y 4 dB/km, dependiendo de la longitud de onda de emisión. Su aplicación actual es para enlaces experimentales de altas velocidades (cientos de Mb/s) y para sensores diferentes fenómenos con alta resolución y rápida respuesta. Este tipo de fibra óptica no ha podido comercializarse debido a la falta de un desarrollo óptimo de los dispositivos de emisión, de los conectores ópticos, y de los procedimientos de empalme requeridos, de acuerdo a las características de dicha fibra. A pesar de esto, se está resolviendo este problema con la experimentación de sistemas de fibra óptica como se verá más adelante.

PROBLEMAS Y NECESIDADES DE LA INDUSTRIA ELECTRICA DE POTENCIA

A continuación mencionaremos algunos problemas que motivaron el desarrollo de sistemas mediante la fibra óptica y que son comunes a las compañías que han instalado sistemas experimentales usando fibra óptica: (Entre otras compañías se encuentran compañías japonesas, canadienses y norteamericanas que han desarrollado sistemas experimentales).

1) Como un sistema de potencia y sus instalaciones se tornan enormemente complicadas, la transmisión de información para sistemas de protección, supervisión y control resultan extremadamente importantes. Tal información ha sido transmitida convencionalmente por microondas, en combinación con varias líneas de potencia y cables de comunicación para mantener la confiabilidad y la calidad en altos niveles.

En grandes ciudades la instalación de líneas de más de 200 KV ha hecho más dificultoso mantener la alta calidad y confiabilidad en los sistemas de comunicación por microondas debido a la interferencia electromagnética, además del bloqueo de las ondas de radio causada por los edificios altos ha sido siempre un factor importante.

Cap. V

En subestaciones japonesas de 500 KV o 275 KV se vió la necesidad de resolver los problemas que involucran el cable de control y que tienen que ver con la supervisión, protección y control de sistemas de potencia más avanzados, tal como aquellos problemas mencionados en capítulos anteriores. Bajo este enfoque las comunicaciones por fibra óptica, ofrecen excelentes características, tales como: no-inductividad, alta propiedad de aislamiento y gran capacidad de transmisión de datos; puede decirse que es el sistema más adecuado para las compañías eléctricas de potencia que demandan alta confiabilidad.

Las necesidades de un sistema de comunicación por fibra óptica para las compañías eléctricas de potencia están tabuladas en la tabla siguiente:

Tabla No. 5 NECESIDAD DE UN SISTEMA DE FIBRA OPTICA EN CIAS. DE POTENCIA

NECESIDADES FUTURAS PARA SISTEMAS DE TRANSMISION DE DATOS.	PROBLEMAS EXISTENTES EN LOS SISTEMAS TRADICIONALES.	SOLUCIONES	DIFICULTAD DE LA SOLUCION	NECESIDADES DE FIBRA OPTICA EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACION.
Alta confiabilidad y alta calidad en la transmisión de datos.	1) Cable coaxial o sistemas portadores:			Debidos a cuellos de botella técnicos no resueltos que pueden ser completamente solucionados mediante una completa explotación de las características de la fibra óptica en los sistemas de comunicación
Gran capacidad de transmisión de datos	Fallas en la transmisión e interrupciones debidas a la interferencia electromagnética	Uso de cables de aluminio apantallados	Hay un límite en la solución.	
	Destrucción de circuitos debido a una anomalía sobretensión	Diseño de sistemas por duplicado usando una ruta alternativa	Igual que la anterior	No Inductiva Alta propiedad de aislamiento Sistemas de gran capacidad de transmisión de datos
	Incremento en conduits subterráneos para la instalación de cables	Instalación de un dispositivo de seguridad	Igual a la anterior	• Decremento en los ductos subterráneos.
		Refuerzo de los sistemas de detección de error	Igual a la anterior	
	2) Sistemas de comunicación por microonda. Fallas en la comunicación debido a las altas construcciones	Incremento en la altura de las torres	Igual a la anterior	

Cap. V

2) La utilización de subestaciones eléctricas de alto voltaje presenta algunos problemas únicos en los circuitos de comunicaciones. Los circuitos requeridos para:

Alarmas

Telemetría

Switcheo de protección

Servicio telefónico

Normalmente, los circuitos están provistos de pares de alambre de cobre operando a frecuencias de voz y unidos a las líneas telefónicas locales o al sistema privado de microondas de la compañía.

Interferencias de voltaje pueden ser inducidas en los alambres de cobre desde las líneas de alto voltaje. Los problemas aparecen durante condiciones de falla a tierra o sobretensiones por conmutación y las comunicaciones son más críticas durante los transitorios, pues los voltajes inducidos pueden alcanzar niveles peligrosos o dañinos. Conforme los voltajes y corrientes se incrementan, las dificultades de comunicación también se incrementan.

La solución clásica al problema han sido los transformadores de aislamiento con rangos de voltajes de hasta 30 KV para cada canal de información. Transformadores de neutralización y acopladores ópticos (no sistemas de fibra óptica) están también en uso. Las cualidades de aislamiento de fibra óptica está siendo explotadas como una alternativa a los sistemas de alambres de cobre.

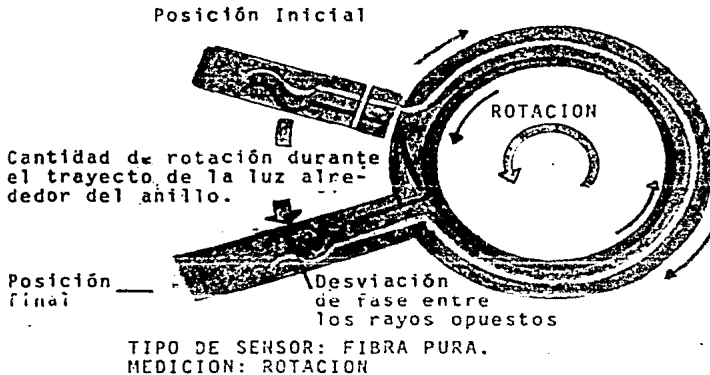
Cap. V

3) La industria eléctrica de potencia esta buscando tanto sensores de fibra pura como sensores ópticos remotos para múltiples aplicaciones donde los campos electromagnéticos son lo suficientemente fuertes para destruir instrumentos electrónicos. Un ejemplo es el monitoreo de corriente y voltaje en las líneas de alta tensión, ambas para medir la potencia total entregada y observar las fallas que pudieran sacar al sistema de operación. Los monitores convencionales tienen respuestas en el rango de milisegundos y precisiones de alrededor de 0.3 % que dan un error considerable en líneas de 500 KV y miles de amperios además de ser muy caros.

Los sensores por fibra, se espera que tengan una respuesta a los transitorios de un nano segundo y una precisión de hasta 0.1 %. Estas ventajas los hacen atractivos para equipos en la industria. Los sensores de fibra pura pueden medir corrientes por observancia del efecto Faraday, y se han hecho pruebas de la aplicación de éstos en líneas de 500 KV en British Columbia y las metas son medir corrientes por encima de 5000 amperios en condiciones normales de operación y de quizá 100 000 amperios durante los transitorios. Esperándose una respuesta de alrededor de 0.5 microsegundos, que es más rápido que el equipo convencional pero menos que los sensores ópticos remotos.

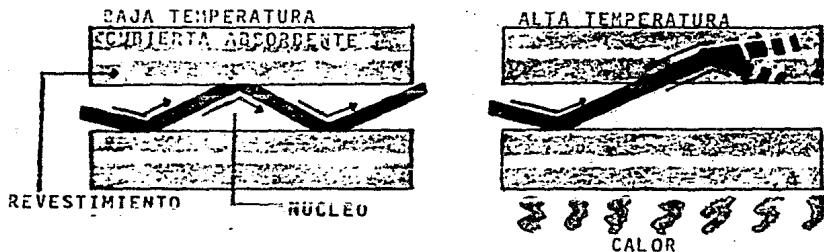
Las siguientes 9 figuras ilustran la aplicación de la fibra óptica en la medición de parámetros de interés.

Cap. V



Para sensar rotación, la luz láser es dividida en dos rayos que viajan en direcciones opuestas en una fibra de modo simple arrollada alrededor de un cilindro. Cuando el anillo de fibra gira, el rayo de luz que va en la misma dirección de la rotación tiene que viajar más que una revolución completa para alcanzar su punto de partida, el cual se ha movido conforme la luz viajó alrededor del anillo, (movimiento mostrado de manera exagerada). De manera similar, el rayo que viaja en sentido contrario a la rotación del anillo alcanza su punto de partida antes de una vuelta completa. Debido a que la velocidad de la luz es constante, la diferencia en la longitud de fase aparece como una desviación de fase, que puede ser detectada mediante la interferencia de los dos rayos. La desviación de fase es tan pequeña que no puede ser detectada a menos que se tengan muchos arrollamientos de fibra alrededor del cilindro para multiplicar la distancia viajada por la luz cuando el anillo de fibras gira.

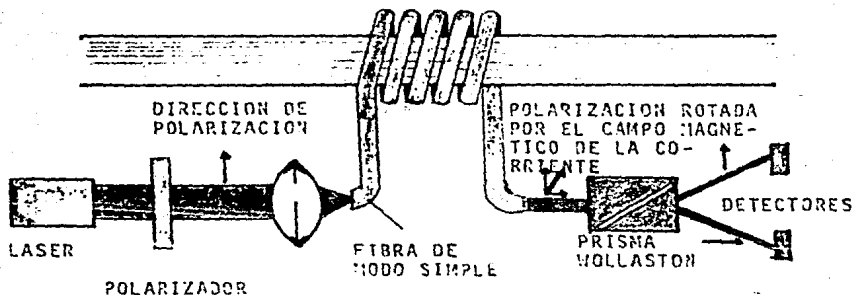
FIGURA 14



TIPO DE SENSOR : FIBRA PURA
 MEDICION: TEMPERATURA

La temperatura induce cambios en el índice de refracción convirtiéndolo a las fibras en termómetros sensibles. A causa de que el núcleo y el revestimiento difieren en composición, sus índices de refracción cambian a diferentes velocidades en respuesta a un cambio en la temperatura. En la fibra mostrada, una alza en la temperatura reduce la diferencia en el índice entre el núcleo y el revestimiento, así que más luz se filtra dentro de revestimiento, causando atenuación en la fibra que varía con la temperatura

FIGURA 15

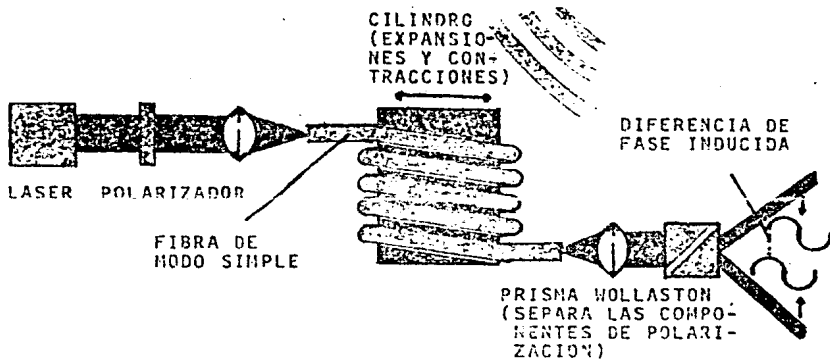


TIPO DE SENSOR : FIBRA PURA
 MEDICION: CORRIENTE ELECTRICA

Una fibra enrollada alrededor de un conductor eléctrico puede servir como un medidor de corriente. La luz láser es linealmente polarizada y luego enfocada dentro de una fibra de modo simple. El campo magnético inducido por la corriente en el conductor rota la polarización de la luz en una cantidad proporcional al campo. Para medir esta rotación, la luz emergente de la fibra es dividida en sus dos componentes ortogonales polarizadas; la intensidad relativa de los dos rayos indica la magnitud de campo magnético y en consecuencia la corriente

FIGURA 16

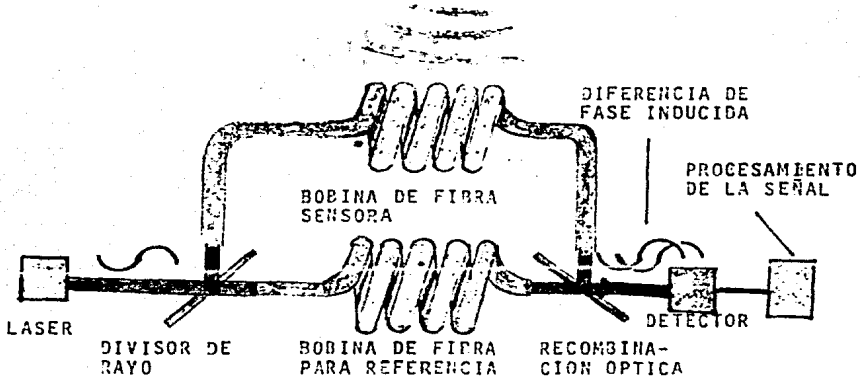
Cap. V



TIPO DE SENSOR : FIBRA PURA
 MEDICION : SONIDO : BIRREFRINGENCIA INDUCIDA

Los efectos de polarización hacen posible un sensor acústico interferométrico en el cuál los dos "brazos" del interferómetro son combinados en una fibra de modo simple. La fibra es fuertemente enrollada alrededor de un cilindro de diámetro pequeño que se expande y contrae en respuesta a las ondas de presión acústicas. El esfuerzo resultante sobre la fibra induce una birrefringencia, esto es, provoca que la fibra transmita luz polarizada de una manera más rápida en una dirección que la luz polarizada a ángulos rectos. Debido a esto las dos componentes de polarización difieren en fase cuando emergen de la fibra, y pueden ser separadas y hacer que interfieran una con la otra como si la luz proviniera de dos fibras diferentes. El mismo diseño puede ser utilizado como un sensor de campo magnético haciendo el cilindro de un material magnetoestrictivo que cambie de forma en presencia de un campo magnético.

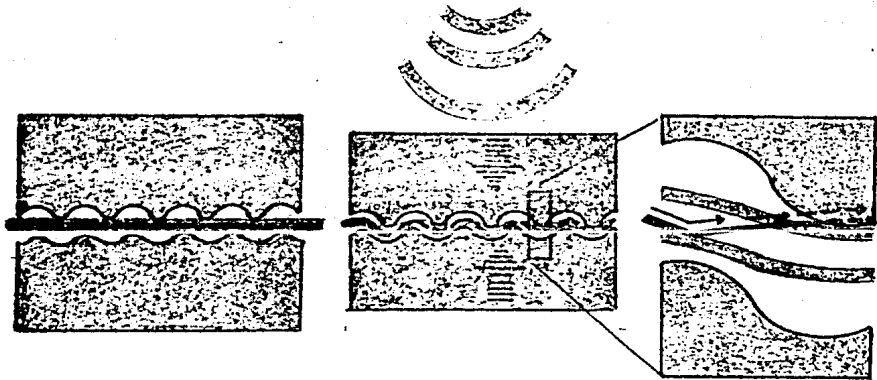
FIGURA 17



TIPO DE SENSOR : FIBRA PURA
 MEDICION: SONIDO ; INTERFEROMETRO

Un sensor interferométrico puede detectar cualquier cosa que afecte la fase de la luz en una fibra, pero la aplicación más común es para la detección del sonido. Parte de la luz de un láser es enviado a través de una fibra sensora, la otra parte a través de una fibra de referencia conservada en condiciones ambientales estables. Un disturbio tal como la presión acústica distorsiona la fibra sensora, cambiando su longitud óptica efectiva y alterando la fase relativa de la luz en las dos fibras. Esta desviación de fase se hace evidente en el patron de interferencia producido cuando los rayos son recombinados.

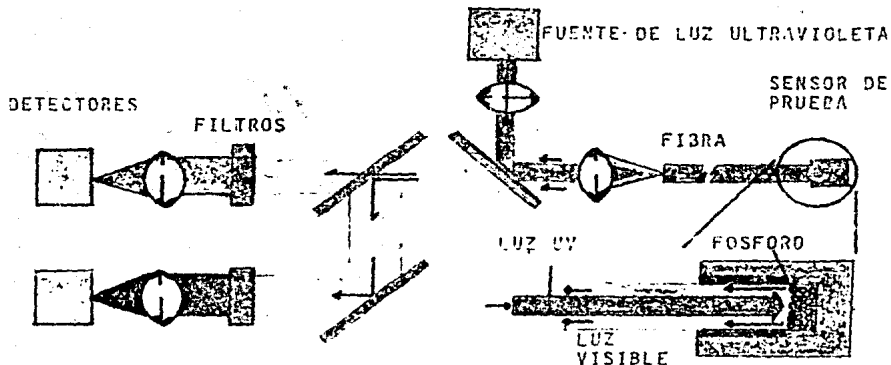
FIGURA 13



TIPO DE SENSOR : FIBRA PURA
 MEDICION : SONIDO ; MICRODOBLES

Las ondas de sonido también pueden ser detectadas mediante el uso de la presión acústica que produce ondulaciones o "microdobles" en la fibra. La fibra es colocada entre dos placas corrugadas que están ajustadas para ejercer poca o ninguna presión sobre la fibra cuando no hay sonido. Las ondas acústicas presionan las placas juntándolas creando pequeñas curvaturas en la fibra (centro). Esas microcurvaturas permiten que algo de la luz escape del núcleo causando que choque con la frontera del revestimiento con un ángulo más grande que el límite superior para el guiado de onda (derecha). De aquí que la intensidad de la luz a la salida de la fibra decrezca debido a los incrementos de la presión acústica.

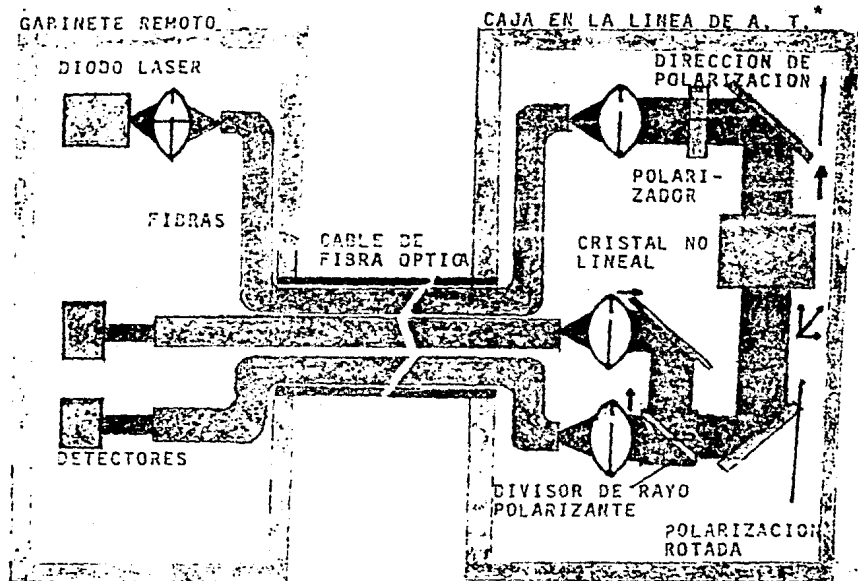
FIGURA 19



TIPO : SENSOR OPTICO REMOTO
 MEDICION: TEMPERATURA

El termómetro de fibra óptica de Luxtron se basa en la dependencia de la emisión espectral del fósforo de acuerdo a la temperatura. La luz ultravioleta excita al fósforo causándole fosforescencia. Emite más brillantemente en dos longitudes de onda - una en el amarillo-verde, la otra en el rojo-naranja- y la razón de intensidades de las dos longitudes de onda varía con la temperatura.

FIGURA 20

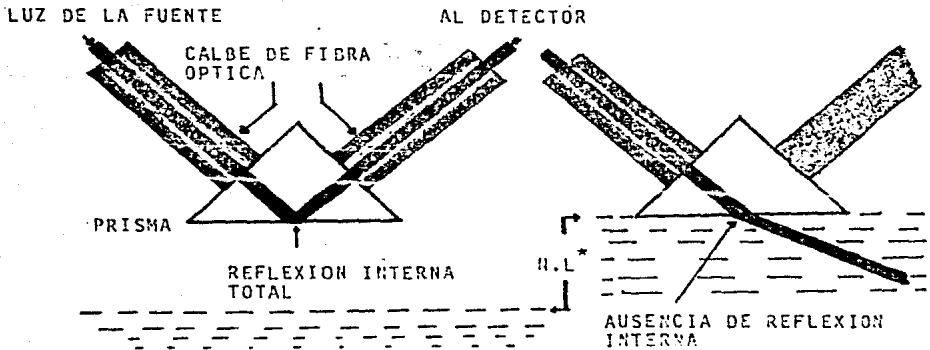


TIPO: SENSOR OPTICO REMOTO
 MEDICION: VOLTAJE

Las mediciones de voltaje se basan en el efecto Pockels -rotación de la polarización de un rayo de luz cuando éste viaja a través de un cierto cristal en presencia de un campo eléctrico. La luz láser es transmitida a través de una fibra óptica hacia la línea de alto voltaje. El rayo es pasado a través de un polarizador y luego a través de un cristal de niobato de litio que rota la polarización del rayo en una cantidad proporcional al campo eléctrico. La rotación es medida mediante la separación del rayo cuando abandona el cristal en sus dos componentes polarizadas ortogonalmente y midiendo sus intensidades, el resultado indica la intensidad del campo eléctrico y en consecuencia el voltaje en la línea de alta tensión. La corriente eléctrica puede ser medida reemplazando el niobato de litio por un material sensible al campo magnético.

FIGURA 21

* A.T. = Alta tensión



TIPO: SENSOR OPTICO REMOTO
 MEDICION: NIVEL DE LIQUIDOS

Mientras que el prisma en el sensor de nivel está rodeado por una sustancia de bajo índice de refracción tal como el aire, la luz traída a través de una fibra es totalmente reflejada en la base del prisma y dirigida hacia arriba a través de una segunda fibra hacia un detector. Cuando un líquido con un índice de refracción mayor que el del aire alcanza la base del prisma las condiciones para una reflexión interna total son anuladas y la luz es refractada en el líquido. El detector, sensa la ausencia de la luz de retorno y manda una señal de paro de llenado del tanque

FIGURA 22

N.L.* = Nivel del líquido

SISTEMAS EXPERIMENTALES EN OPERACION BASADOS EN FIBRA OPTICA

A continuación, de manera concreta se exponen algunos sistemas experimentales que se encuentran actualmente en operación, de los que se dan resultados y conclusiones.

A fin de hacer frente al crecimiento y complejidad de los sistemas de potencia, las compañías de potencia japonesas concibieron la idea de introducir sistemas de comunicación mediante fibra óptica para dar y ejercer supervisión y control en sus sistemas de potencia. Las compañías Tokyo Electric Power y la Kansai Electric Power concluyeron en marzo de 1978 una investigación conjunta cuyos trabajos se encuentran resumidos en la tabla 6.

Los resultados a que se llegaron fueron:

1) PERDIDAS DE TRANSMISION DEL CABLE DE FIBRA OPTICA: Las pérdidas de transmisión del cable de fibra óptica, que eran originalmente de 15 a 20 dB/Km, fueron reducidas a menos de 4 dB/Km haciendo posible la producción en masa. Ahora, es posible la transmisión de datos a más de 10 Km en TDM a 6.3 Mbit/s y a más de 5 Km en FDM con 600 canales sin repetidores.

2) VIDA DE OPERACION DE DIODO LASER: Las pruebas de campo confirmaron que el promedio de vida del diodo láser es de aproximadamente 10 000 horas.

TABLA 6 SITUACION DE LAS COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA EN LAS COMPAÑIAS ELECTRICAS DE POTENCIA

COMPAÑIA	SITIO DEL EXPERIMENTO	TIPO DE INVESTIGACION		TERMINO DEL EXPERIMENTO	CABLE DE FIBRA OPTICA				SEÑAL
		APLICACION	USO		DIAMETRO (µm)	ACCESO CLUTE-STRIPPED	NO. DE NUCLEOS	PERDIDAS dB/Km	
TOKIO	Sinjuku (s/s)	A,B	a	5/76-9/77	2.9	Sub.	4	6.5,13	DPH-LM 6.3 Mb/s
TOKIO	Tokata (s/s)	A,B	a	5/76-9/77	3.0	Sub.	4	8	Binar-1a PH-11 6.3 Mb/s
TOKIO	Kanrei (s/s)	A,B	a	5/76-9/77	2.9	Sub.	4	9	POH-11 6.3 Mb/s
TOKIO	Shin Shinano s/s Kiba Tokio (s/s)	A,B	b	7/77-3/78	0.5	Aereo Sub.	6	10	DM 54 Kb/s
TOKIO	SHIN KOKA (s/s) Shin Tokorozawa s/s	A,B	b	7/77-3/78	0.6	Sub.	6	9	DM 54 Kb/s
OSAKA	Hikariyama Radio Relaying Station	B,D	y	9/77-3/78	0.3	Aereo	4	10	PH-DM
KANAGAWA	Technical Laboratory	E A,B,C	n	4/75-2/77	0.2	Aereo Sub.	11	8,3	DM
KANSAI	Oficina Central al centro Nakanashiwa Osaka Kita (of.) a Shin Sasegaki s/s	C	c	5/76-3/78	3.5	Sub.	4	0	POH-11 6.3 Mb/s
KANSAI	Centro de control de la línea de Osaka (s/s) Inagawa	B	a	2/76-10/77	1.5	Aereo	4	5	Binar-10 PH-11 6 Mb/s
KANSAI	Shi Takano (s/s) a Ikoma (s/s)	A,B	a	4/75-3/78	0.3	Sub.	4	5,0	422 Kb/s PH-11 32 Mb/s
KANSAI	Isew (s/s) a Itoya (s/s)	A,B	a	4/75-3/78	1.0	Sub.	1	1,9	PH-11 6.3 Mb/s

CAD. V

3) ESFUERZOS MECANICOS DEL CABLE DE FIBRA OPTICA:

Como resultado del exitoso trabajo de instalación de los cables de fibra óptica se encontró que éstos pueden instalarse en conduits enterrados de manera similar a los cables de comunicación convencionales. Se confirmó también que pueden desarrollar sus funciones sin problemas cuando se encuentran montados en postes de distribución aéreos mostrando características estables de transmisión.

4) PROCESOS DE EMPALME: Inicialmente las fibras ópticas fueron empalmadas por procesos tipo manga (sleeve process), pero cambios posteriores fueron observados en las pérdidas de las uniones. Después, este método fue cambiado por el proceso de fusión térmica que fue desarrollado durante el período de investigación, los defectos del proceso tipo manga fueron corregidos exitosamente.

5) CONFIABILIDAD DE LA TRANSMISION: Las razones de error en los datos transmitidos fueron 10^{-11} a 10^{-12} con un margen de nivel de recepción de 6 dB. Estas razones exceden a los de los sistemas de comunicación por microondas.

También a fin de obtener datos para la instalación práctica del sistema, tales como niveles de funcionamiento bajo las difíciles condiciones ambientales cuando el sistema esta localizado junto a una planta de potencia, comportamiento contra rayos, esfuerzos mecánicos y cambios en las características de transmisión en regiones frías, etc., una serie de experimentos mostrados en la siguiente tabla fueron programados para continuar con las investigaciones mencionadas.

TABLA

7

EXPERIMENTOS BAJO CONDICIONES SEVERAS

COMPAÑIA	SITIO DEL EXPERIMENTO	TIPO DE INVESTIGACION		TERMINO DEL EXPERIMENTO	CABLE DE FIBRA OPTICA			SERIAL
		APLICACION	PLANTA		LONGITUD	TIPO DE CABLE	No. DE NUCLEOS	
Hokkaido	Niinami Hayakita (p/s)	A,B	b	4/00-9/01	0.5	subt.	4	FIB-III 1.5 Mb/s
Hokuriku	Laboratorio técnico	B	a	11/79-12/80	0.7	Aereo subt.	4	FI 1.5 Mb/s
Kyushu	Thermal (p/s)	C	b,h	10/81-3/83	0.1	Aereo	2	IB -
Development	Mihoro (p/s)	A,B,D	a,e	3/82-3/81	2.0	Aereo	4	FIB-III COOCanales

- A : Para protección de sistemas
 B : Para supervisión y control
 C : Para enlace de computadoras
 D : Para comunicaciones en general
 E : Para medición y supervisión
 a : Entre plantas generadoras
 b : Dentro de la planta
 c : Entre centros distribuidores de carga y la planta
 d : Entre centros distribuidores de carga
 e : Entre oficina central y sucursales

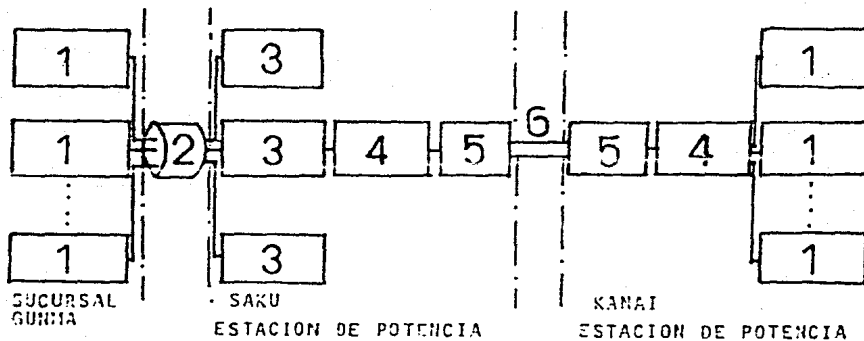
- F : Entre oficina central y la planta
 g : Estación de radio
 h : Lugares varios
 T/C : Centro distribuidor de carga
 P/C : Estación de Potencia
 S/S : Subestación
 C/C : Centro de control
 S/S : Estación de conmutación

Cap. V

Las instalaciones de manera comercial empezaron en marzo de 1978 fué empezada por la Tokyo Electric Power Company y la Kyushu Electric Power Company que fueron seguidas por otras compañías. En la siguiente tabla se muestra un resumen de las instalaciones que hasta ahora se han hecho. Hay 9 sistemas instalados por 6 compañías de potencia. Estas están en operación normal sin ningún problema demostrando su alta confiabilidad. Los records de comportamiento muestran resultados esperados. Actualmente, la longitud total de los cables de fibra óptica instalados es de 35.4 km.

Cap. V

La configuración e instalación de un sistema de supervisión y control instalado entre la estación de potencia Kanai y la estación Saku de la Tokyo Electric Power Company se muestra en la siguiente figura :



- 1 EQUIPO DE DATOS PCM 24 CANALES
- 2 CABLE COAXIAL 11.2 Km
- 3 REPETIDOR PCM
- 4 EQUIPO MULTIPLEXOR PCM 6.3 Mb/s
- 5 EQUIPO TERMINAL OPTICO
- 6 CABLE DE FIBRA OPTICA 7.5 Km

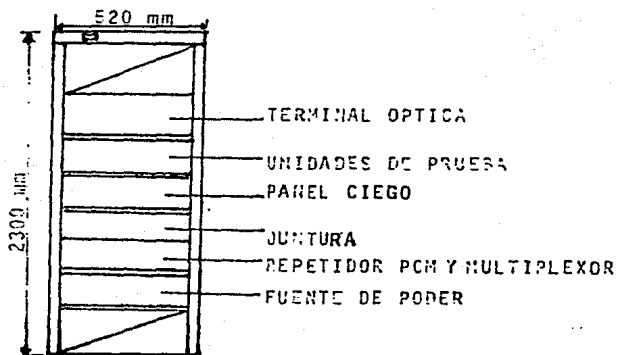


FIGURA 23

Cap. V

Como resultado, los nuevos sistemas se están abriendo camino rápidamente en los sistemas de potencia reemplazando los cables coaxiales y los cables de comunicación; el nuevo sistema es lo suficientemente inmune a la inducción electromagnética y elevaciones de potencial respecto a tierra. El sistema es altamente valorado donde son requeridas alta confiabilidad y alta calidad, como en un sistema de protección supervisión y control.

Doce sistemas de 6 compañías han incrementado el total de cable de fibra óptica instalado a 58 Km.

CONCLUSIONES:

Las compañías de potencia están instalando progresivamente sistemas de comunicación mediante fibra óptica para sistema de protección, supervisión y control de sistemas de potencia y mediciones mientras que al mismo tiempo mejoran su comportamiento, métodos de instalación y mantenimiento.

A fin de expandir el campo de aplicación de estos sistemas de comunicación, es deseable un avance tecnológico en los siguientes puntos:

1) EXTENSION DE VIDA DEL DIODO LASER: Aunque ya se ha logrado que la vida sea más de 10 000 horas, se requiere que sea mayor.

2) ENTRENAMIENTO A PERSONAL PARA LA INSTALACION Y MANTENIMIENTO DE LA FIBRA OPTICA: Se requiere dar entrenamiento tanto de instalación como técnicas de empalme y de mantenimiento incluso a los trabajadores de campo a fin de que se realicen rápido. También es necesario desarrollar tecnología para la localización de fallas a lo largo de la fibra sin importar su longitud.

Cap. V

3) ESTANDARIZACION: Se requiere la estandarización de fibras y equipo de soporte. A fin de expandir más el uso de sistemas de comunicación por fibra óptica, es necesario estandarizar la estructura y dimensiones de las fibras ópticas y los conectores como en el caso del cable coaxial y los cables de comunicación.

SISTEMA EXPERIMENTAL MEDIANTE FIBRA OPTICA INSTALADO POR ITT TELECOMMUNICATIONS EN LA ESTACION DE POTENCIA ARROW HEAD OF MINNESOTA EN FEBRERO Y MARZO DE 1978.

La interferencia en la estación de potencia era muy alta debida a sus 250 KV a pesar de su red de tierras y el aislamiento del cuarto de SCR's. El servicio de las comunicaciones era proporcionado por pares de alambres de cobre de una estación de microondas al edificio principal - una distancia de 1200 pies - . Los alambres estaban en ductos por debajo del sistema de tierras pero aún tenían transitorios de 180 V de pico durante el switcheo.

Características del sistema:

El sistema de transmisión de fibra óptica de 1.5 Mb/s instalado en esta estación fue diseñado como una extensión del sistema PCM de 24 canales ya existente.

El cable óptico usado en este sistema debía satisfacer las siguientes especificaciones:

TABLA 9 ESPECIFICACIONES DEL CABLE

Número de Fibras	3
Núcleo de la fibra	Índice gradual
Diámetro del núcleo	55 μm
Apertura Numérica	.25 min
Diámetro del recubrimiento	123 μm
Diámetro de la fibra protegida	1 mm +0.0 -0.1
Radio mínimo de doblez	10 cm
Esfuerzo de tensión	150 Kg
Atenuación	10 dB/Km. máx. @ .85 μm
Dispersión	3 ns/ Km. máx.

ADENAS SE ESPECIFICO QUE: La concentricidad, uniformidad de diámetro, la circularidad del núcleo y del revestimiento fueran tales que si las fibras eran cortadas, pulidas y empalmadas, las pérdidas no debían exceder 1 dB.

Las fibras debían ser codificadas con colores para su fácil identificación.

Las fibras debían ser probadas continuamente a un nivel de elongación del 1 % antes del cableado.

Fueron permitidos elementos de cable no metálicos.

El cable fué doblado en frío una vez con un radio de 50 mm con 5 Kg de tensión a -20° C.

IMPACTO: Una carga de 2 Kg con un diámetro de 12.5 mm lo golpeó desde una altura de 100 mm 200 veces.

CONDICIONES AMBIENTALES: El cable debía cumplir con todos los requerimientos sobre el rango de temperatura de -15 a 60 grados centígrados y la atenuación no debía exceder más de 1.5 dB/Km a -40° C.

Se sabía que el cable iba a ser instalado en una trinchera sin protección, y, entonces, las personas caminarían sobre él, esta consideración jugó un papel importante en la selección de elementos de refuerzo y el espesor de la cubierta.

El cable esta compuesto de un núcleo de fibras ópticas en su parte central con un recubrimiento delgado de poliuretano,

Cap. V

hilos de refuerzo fueron acomodados helicoidalmente alrededor de la cubierta del núcleo. Los elementos de refuerzo y la cubierta externa de poliuretano le dan las características de manejo necesarias para la instalación y operación del cable.

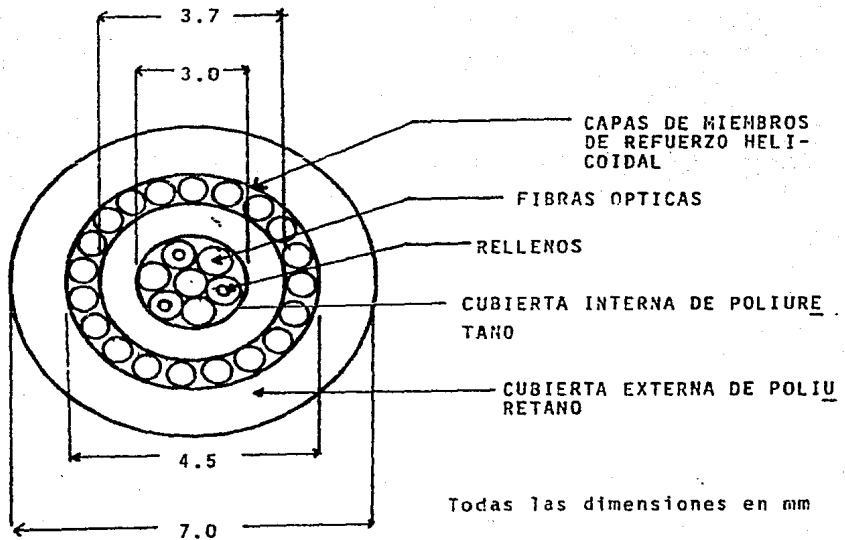


FIGURA 24 DISEÑO DEL CABLE DE FIBRA OPTICA

Cap. V

Las experiencias anteriores indicaron que la cubierta exterior de la cubierta de refuerzo debería ser capaz de soportar los 150 Kg a que se somete durante su instalación, se eligió usar poliuretano no sólo por su resistencia a la abrasión y a rasgarse sino también por su contribución a disminuir la atenuación y dispersión debido al proceso de cableado.

La instalación del cable se hizo sin la ayuda de ningún dispositivo mecánico y se estima que la máxima fuerza aplicada fué de a lo más 100 libras, aunque nunca se midió durante el proceso de instalación. Las condiciones de instalación fueron bastante severas puesto que partes del ducto tenían hielo y hubo de procederse con vapor a fin de que éste quedara libre para la instalación del cable de fibra óptica, inmediatamente empezaron a hacerse las conexiones y la instalación completa, incluyendo las conexiones, se llevó a cabo en 26 horas.

CONCLUSIONES: El sistema instalado llena los requerimientos de un gran número de subestaciones de potencia. La instalación demuestra que el cable puede coexistir con otros cables y no se requiere de ningún equipo especial para su instalación. Los conectores JEWLED FERRULE pueden ser instalados en campo sin mayor dificultad. El sistema está operando ahora llevando señales de switcheo de protección, de telemetría y de teléfono como parte del sistema de comunicaciones y no como parte experimental del mismo.

——— SISTEMA EXPERIMENTAL RESULTANTE DE UNA INVESTIGACION HECHA CON COMPAÑIAS DE ELECTRICIDAD CANADIENSES A FIN DE EVALUAR LAS NECESIDADES Y APLICACIONES DE LA FIBRA OPTICA.

De la consulta hecha, se desprenden los siguientes puntos re-

Cap. V

presentando las necesidades más importantes de la mayoría de las compañías canadienses:

- 1) Detección de estados y comandos simples para líneas de alta tensión.
- 2) Mediciones a través de una barrera de potencial.
- 3) Interconexión de microprocesadores en una subestación o central eléctrica.
- 4) Comunicación entre las subestaciones.

Las fibra óptica pueden ser una solución para algunos problemas de transmisión de información para el interior o entre subestaciones y centrales eléctricas. De todas las aplicaciones que se sugieran, es posible realizar la mayor parte de ellas con los 6 tipos de ligaduras que a continuación se mencionan:

LIGADURA DE ALTA TENSION LENTA

Esta ligadura consiste de una fibra óptica (cable) especial capaz de resistir las presiones dieléctricas impuestas por el acomplamiento de una línea de alta tensión y muy alta tensión (1.2 MV). La distancia es corta (20 m) y banda de paso requerida de 10 KHz. Una aplicación típica de esta ligadura es la detección de posición de un seccionador. En los seccionadores actuales, la indicación de posición se obtiene indirectamente por la posición de un mecanismo de comando. Un mecanismo de comando defectuoso da una gran probabilidad de indicación errónea, lo que impide en la práctica el telecomando o la automatización de los seccionadores. Se propone utilizar la fibra óptica para encontrar la indicación de la posición de los seccionadores directamente en los contactos del seccionador.

Cap. V

Los problemas a resolver son:

- a) Su operación en un medio ambiente adverso (contaminado, húmedo).
- b) Realizar un ensamble mecánico confiable cerca de los contactos.
- c) Incluir fibras ópticas en una sección del aislante.
- d) Realizar la interconexión de la fibra entre las secciones de la columna aislante.

LIGADURA DE ALTA TENSION RAPIDA

Como la precedente, debe utilizar un cable óptico capaz de soportar grandes diferencias de potencial, el largo requerido es menor de 100 metros pero debe transmitir información hasta de 1 Mbit/s. Una aplicación sería un captador digital de corriente; un captador de este tipo aislado por fibra óptica podría reemplazar ventajosamente los transformadores de corriente, las ventajas serían una reducción del costo y la eliminación de problemas de saturación, otras más serían la medición de la componente de directa y una considerable reducción del peso y del espacio. Los principales problemas a resolver son;

- a) Obtener una gran confiabilidad.
- b) La alimentación del captador.

LINEA ANALOGICA DE USO GENERAL

No necesita cable especial. La distancia a recorrer es hasta de 500 metros aproximadamente. En esta aplicación la banda de paso requerida va desde 4 KHz hasta 1 MHz. Sin embargo para la mayoría de las aplicaciones sería suficiente una banda de paso de 100 KHz.

Cap. V

LINEA DIGITAL DE USO GENERAL

Esta línea no necesita cable óptico que soporte grandes diferencias de potencial. La distancia a cubrir es de menos de 500 metros. Una tasa de transmisión de 100 Kbits/s sería suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Un ejemplo típico sería la línea entre los microordenadores de una central. Cuando tales equipos son utilizados en una subestación o central para la protección o el control es probable que la conexión entre ellos sea una línea óptica. En efecto la tasa de transfrancia de información requerida por ejemplo para la transmisión en forma digital de corrientes y tensiones son muy elevadas. De ahí que los métodos convencionales para proteger las entradas de sobretensión y de ruidos no sean utilizables.

LINEA ANALOGICA DE COMUNICACION

Esta línea sería utilizada para transportar señales multiplexadas en frecuencia (FDM) en distancias de 500 m a 10 KM. Este tipo de línea es requerido actualmente porque la mayoría de las compañías utilizan FDM en su red de comunicación, la aplicación sería la conexión entre una subestación y una estación de microondas. Se trata de una línea óptica analógica multiplexada en frecuencia que puede transportar un SUPERGRUPO de FDM entre el equipo multiplexado de una subestación y la estación de microondas. La banda de paso requerida es de aproximadamente 500 KHz.

LINEA DIGITAL DE COMUNICACION

Es una línea digital de nivel T1 (1.54 Mbit/s) o T2 (6.27 Mbit/s) que puede cubrir de 10 a 15 Km. Corresponde a una necesidad casi general de mejores conexiones entre subestaciones cercanas. Eventualmente una línea de gran distancia (100

Cap. V

Km o más) podría ser utilizada si pudiera ser competitiva con las microondas.

La necesidad de usar fibra óptica responde también al hecho de que las comunicaciones entre subestaciones alejadas se realizan generalmente por microondas y por OPLT (ondas portadas sobre líneas de transporte). En ciertos casos las líneas son arrendadas a las compañías telefónicas. Las comunicaciones entre subestaciones cercanas pueden hacerse de la misma manera, sin embargo estas están generalmente en medios urbanos, la microonda está prácticamente excluida por causa de los problemas de transmisión (edificios) y la dificultad de obtener las frecuencias. Se utilizan generalmente cables multipares para transmitir la voz, la teleprotección, telemando y la telemetría de una subestación a otra. La distancia a cubrir es generalmente menor de 15 km y una capacidad de 24 canales de voz es suficiente. Una falla a tierra de una de éstas subestaciones puede elevar grandemente el potencial a tierra. Esto implica que en la ausencia de una protección adecuada pueda circular una corriente capaz de perjudicar al cable. En el caso de los cables enterrados debajo de la línea de transporte, el incremento de potencial a tierra y la inducción dentro del cable (3kV/km) cuando existe una falla exigen técnicas de puesta a tierra, de blindaje del cable y del uso de transformadores de aislamiento o neutralización.

Una conexión por fibras ópticas entre las subestaciones solucionaría los problemas de incremento de potencial y de inducción ofreciendo una gran capacidad a cambio de un reducido espacio. Este último punto es importante en las grandes ciudades donde el espacio disponible para los cables es limitado.

Cap. V

Para las subestaciones alimentadas por cables subterráneos la instalación de cables con fibra óptica dentro de los mismos conductos que los cables de potencia podrán ser considerados. Para las subestaciones unidas por líneas aéreas, el cable óptico podrá ser integrado al hilo de guarda de la línea. Esta solución es particularmente interesante en las regiones agrícolas donde los cables enterrados son los más expuestos a las fracturas por los tractores y animales.

Actualmente las redes de microondas utilizan la banda de 8.2 GHz, la distancia entre las repetidoras es de 60 km. Sin embargo esta banda comienza a congestionarse y la situación se empeora con la proliferación de centrales nucleares cerca de las ciudades donde las comunicaciones por radio son más densas. Se deberá luego pasar a la banda de 15 GHz requiriéndose aproximadamente el doble de repetidoras a causa de que su portadora menor es susceptible a las perturbaciones de la nieve o lluvia. En estas condiciones es posible una ligadura mediante fibra óptica para descongestionar la red de microondas. En este caso también la utilización del hilo de guarda como soporte para la fibra puede ser considerado. Esta solución eliminaría ciertos problemas asociados al trazado de una vía de microondas, la definición del trazado, expropiación y derechos de paso, estructuras de soporte, etc.

SISTEMA DE DEMOSTRACION. OBJETIVO DE LA EXPERIENCIA.

A partir de las necesidades expresadas, esas compañías pusieron en marcha un sistema de demostración. El objetivo primordial de este sistema es demostrar la posibilidad de realizar un cierto número de aplicaciones de las fibra óptica que solucionen problemas de transmisión de información, de medi-

Cap. V

ción, de protección, de comando, al interior y entre las subestaciones. Para hacer esto se escogieron las siguientes ligas operándolas por un período de seis meses:

- 1) Conexión por fibra óptica numérica PCM a 613 Mbits/s de una longitud equivalente a 10 km entre dos subestaciones.
- 2) Una conexión por fibra óptica analógica multiplexada de frecuencia FDM de una longitud de 2 km.
- 3) Una conexión por fibra óptica numérica a 56 kBit/s con un microprocesador en una subestación eléctrica.

INSTALACION DE CABLES DE FIBRA OPTICA

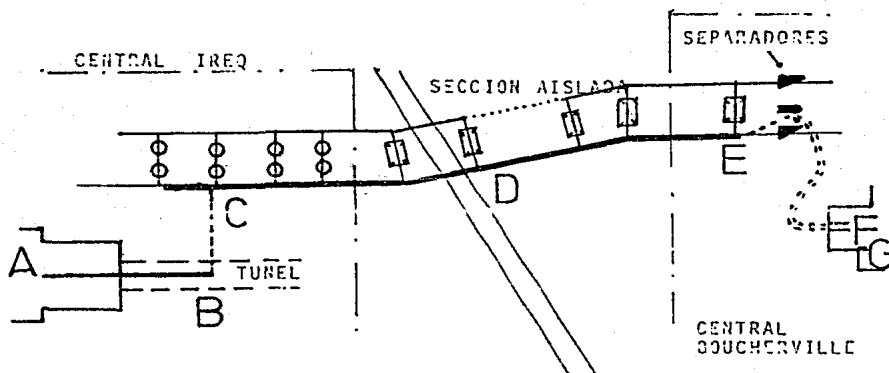
La figura 25 muestra la situación geográfica de las diferentes partes de la línea. La instalación de un cable conteniendo fibra óptica sobre el hilo de guarda (punto C a punto E) ha provocado ciertas cuestiones de orden práctico, en particular la resistencia del cable a un golpe de rayo, y a las maneras de fijación. Sin embargo, pruebas en el laboratorio con tensiones de 460 kV y 34 kA demuestran que los únicos efectos observados fueron una ligera decoloración en la envoltura protectora del cable.

Por lo que se refiere a la instalación física del cable óptico, una solución ideal habría sido emplear un cable de acero conteniendo las fibras, el principal sustituto del hilo de guarda. Un movimiento telúrico cerca sería demasiado costoso en consecuencias para un sistema experimental. Por consiguiente se decidió fijar al cable conteniendo la fibra óptica al hilo de guarda existente. La forma de la juntura debía permitir un deslizamiento entre el cable y el hilo de guarda a fin de evitar los problemas de alargamiento diferentes de

Cap. V

los cables bajo carga y por tiempo caluroso. Cada vez el montaje debería presentar una sección mínima al viento y a la escarcha. El cable se instaló en forma parecida a la de los cables telefónicos. Se ha llevado a una altura conveniente para la puesta en recta y un adecuado mantenimiento del repetidor por personal no especializado en la ascensión de las torres.

Los extremos de la línea han sido dirigidos por debajo de tierra hacia las salas de telecomunicaciones (punto A y F). En la subestación de Boucherville, el cable ha debido ser enterrado en una zanja de 60 cm de profundidad y 15 cm de longitud de acuerdo a los métodos estándar (lecho de arena, protección en madera). Esta parte de la conexión ha sido realizada con cable óptico reforzado. Del lado de la subestación de IREQ, el cable ha sido conducido dentro de los conductos hacia dentro de un túnel de servicio y de allí hacia la sala de las telecomunicaciones donde se encuentra la subestación maestra. Los diferentes partes de los cables (AB, BD, DG, GF) han sido unidas por medio de empalmes soldados por fusión o con la ayuda de conectores. Todos los enlaces se efectuaron sobre el lugar.



- A : PUESTO MAESTRO
- AB : CABLE EN TUNEL
- BC : CABLE EN CONDUIT
- CE : CABLE AEREO SOBRE EL CABLE DE GUARDA
- D : REPETIDOR Y ALIMENTACION PARA EL CABLE DE GUARDA
- EF : CABLE ENTUSADO
- F : EXTREMO DE LA LINEA PRINCIPAL
- FG : LINEA DE 50 kb/s (CABLE SUBTERRANEO)
- G : PUESTO SEGUIDOR (ESCLAVO)

FIGURA 2 5

REPETIDOR Y ALIMENTACION

Un repetidor debe ser instalado próximo a la base de uno de los pilares. Deberá rehacer la señal numérica de nivel T2 de modo que permita la extensión de la línea de otros 10 km. Este será alimentado por una sección aislada de un segundo hilo de guarda. La alimentación la cual en principio ha sido desarrollada por el IREQ, puede suministrar 100 watts a 24 voltios. Una autonomía de 8 horas está asegurada por baterías.

MEDIDAS YA EFECTUADAS

Después de algunos meses de instalado el cable de fibra óptica sobre el hilo de guarda y en el suelo se realizaron algunas medidas de atenuación sobre la línea principal resultando valores de 6 a 7 dB/km esto incluye tres ensambles (5 a 6 dB/km para la fibra). Estos resultados son mantenidos igualmente aún después de condiciones de frío y de escarcha.

CONCLUSIONES

Subvencionando este proyecto de investigación la Asociación Canadiense de Electricidad (ACE) ha permitido inventariar las necesidades presentes y futuras de las compañías canadienses de electricidad en términos de fibra óptica. La experiencia puesta en marcha descubrió los resultados de esta indagación. Esto permite realizar cierto número de aplicaciones tales como en las comunicaciones sobre algunas líneas digitales y analógicas en corta y larga distancia, la interconexión de microordenadores en medios perturbados y la telemetría dentro de semejantes medios. La colaboración entre el CANSTAR y el IREQ hicieron posibles estas experiencias.

Cap. V

Las mediciones que se efectuaron sobre los cables permitieron concluir que las técnicas de instalación y de ensambles son eficaces. Con la futura puesta en marcha de los equipos de comunicación se tendrán resultados más completos.

— SISTEMA MEDIANTE FIBRA OPTICA INSTALADO EN MEXICO PARA ENLAZAR LAS CENTRALES TELEFONICAS VICTORIA Y PERALVILLO

A continuación exponemos los resultados de una instalación mediante fibra óptica para enlazar las centrales Victoria-Peralvillo hecha por una compañía nacional, líder en el ramo de construcción de cables, a petición de Teléfonos de México. Este hecho en sí es un índice del adelanto y aplicación que en México se tiene de esta tecnología.

En el año de 1981, una vez aceptada la propuesta, se inicia la instalación de un enlace entre dos centrales telefónicas, Victoria-Peralvillo. Algunas de las características del cable en cuestión son:

1) La longitud requerida para enlazar las centrales será de 5.7 km y se contemplan los siguientes puntos técnicos:

- El cable contiene 6 fibras ópticas del tipo multimodo de índice graduado para permitir el enlace de 5.7 km sin repetidores.
- 4 son capaces de conducir 480 canales digitales, cada una a una velocidad de 34 Mb/s.
- 2 son capaces de conducir 1920 canales digitales, cada una a una velocidad de 140 Mb/s.
- Una vez protegidas son cableadas alrededor de un hilo de acero que sirve como centro de tracción.
- Las fibras ópticas son protegidas con gelatina de

Cap. V

petróleo previendo cualquier daño si llegara a penetrar agua contaminada existente en los ductos donde se instalará el cable.

- Estas, el hilo de acero y gelatina de petróleo se protegen, con una cubierta de PVC formándose así el cable. Ya formado se le protege con dos cintas de acero aplicadas en forma helicoidal dándole una protección mecánica al ataque de roedores que normalmente viven en los ductos y pozos de registro.
- Finalmente el cable se protege con una cubierta de PVC que ayuda a la protección del mismo durante la instalación, evitando al mínimo la fricción con el ducto.
- Una vez diseñado y construido el cable con fibras ópticas, la atenuación a la señal lumínica no será superior a 4 dB/km.
- Su ancho de banda no será inferior a 100 Mhz/Lt (mega hertz sobre longitud total).
- Los radios de curvatura permitidos sin cambio en las características de las fibras ópticas serán del orden de 40 cm.

2) Una vez diseñado y construido el cable para las condiciones en México, se inició el estudio de herramientas y accesorios requeridos.

Hecha la investigación de la ruta y del ducto donde se instalaría el cable, se acondicionó este con tres tubos de plástico para alojar en uno de ellos el cable de fibras ópticas y dejar dos disponibles para ocuparlos en el futuro.

Esta innovación creó la necesidad de fabricar tapones para sujetar los tubos de plástico en cada pozo de registro, te-

Cap. V

niendo esta compañía patentados diferentes tipos de uso futuro en cables de 6, 18, y 24 fibras ópticas.

3) Para la instalación se usaron técnicas que evitaron al máximo el uso de equipos especiales logrando instalar 1 km/día. Al final se procedió a realizar las pruebas de laboratorio requeridas para verificar que no se produjeran cambios en las características de las fibras ópticas durante la instalación. Las pruebas fueron aceptables y el cable no sufrió daños.

4) Se realizaron los empalmes que unirán los 6 tramos de cable contando con equipo especial de fusión y pruebas para este trabajo. Finalmente se tiene ya unida la longitud de 5.7 km entre las dos centrales telefónicas Victoria-Peralvillo.

Se realizaron las pruebas finales de atenuación, ancho de banda totales y los resultados fueron los esperados y se mejoraron los propuestos.

Como consecuencia de los sismos de Septiembre de 1985, el sistema telefónico de la ciudad de México se vió grandemente afectado, por lo que, a fin de restaurar los servicios telefónicos se crearon las nuevas centrales de larga distancia denominadas "Morales", "Vallejo" y "Estrella" lográndose una capacidad total de tráfico 70 por ciento mayor a la que se tenía antes de la ocurrencia de los sismos. También se ha construído una red de fibras ópticas de 154 Km de extensión y así se ha creado un cinturón que rodea a la ciudad, que adicionalmente cuenta con radios de microondas digitales que conectan a todas las instalaciones como una segunda opción de servicio.

A N E X O

A

INTERNATIONAL MUNICIPAL SIGNAL ASSOCIATION, INC. CABLE SPECIFICATIONS



TITLE

Specification No.

- | | |
|------|--|
| 29-1 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED, HARD DRAWN COPPER TWO CONDUCTOR PARALLEL LINE WIRE |
| 29-2 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED, 40 PER CENT CONDUCTIVITY COPPER COVERED STEEL TWO CONDUCTOR PARALLEL LINE WIRE |
| 29-3 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED, RED POLYVINYL CHLORIDE JACKETED HARD DRAWN COPPER TWO CONDUCTOR PARALLEL LINE WIRE |
| 29-4 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED, RED POLYVINYL CHLORIDE JACKETED, 30 PER CENT CONDUCTIVITY COPPER COVERED STEEL TWO CONDUCTOR PARALLEL LINE WIRE |
| 32 | COPPER COVERED STEEL MESSENGER STRAND, 30 PER CENT OR 40 PER CENT CONDUCTIVITY |
| 39-2 | PAIRED POLYETHYLENE INSULATED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 39-4 | PAIRED POLYETHYLENE INSULATED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED INTEGRAL MESSENGER COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 39-6 | PAIRED POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-BELTED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 40-2 | POLYETHYLENE INSULATED, POLYETHYLENE BELTED, POLYETHYLENE JACKETED COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 40-4 | PAIRED POLYETHYLENE INSULATED, POLYETHYLENE JACKETED INTEGRAL MESSENGER COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 40-6 | PAIRED POLYETHYLENE INSULATED, POLYETHYLENE BELTED, POLYETHYLENE JACKETED COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 50-2 | POLYETHYLENE INSULATED, POLYETHYLENE JACKETED LOOP DETECTOR LEAD-IN CABLE |
| 51-1 | POLYVINYL CHLORIDE INSULATED, NYLON JACKETED LOOP DETECTOR WIRE |
| 51-3 | CROSS-LINKED POLYETHYLENE INSULATION LOOP DETECTOR WIRE |
| 51-5 | POLYVINYL CHLORIDE INSULATED, NYLON JACKETED, LOOSELY ENCASED IN A POLYVINYL CHLORIDE OR A POLYETHYLENE TUBE LOOP DETECTOR WIRE |
| 61 | FIRE ALARM BOX GROUNDING ASSEMBLY |
| 62 | GROUND RODS |

INTERNATIONAL MUNICIPAL SIGNAL ASSOCIATION, INC. CABLE SPECIFICATIONS



TITLE

Specification No.

- | | |
|------|--|
| 29-1 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED, HARD DRAWN COPPER TWO CONDUCTOR PARALLEL LINE WIRE |
| 29-2 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED, 40 PER CENT CONDUCTIVITY COPPER COVERED STEEL TWO CONDUCTOR PARALLEL LINE WIRE |
| 29-3 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED, RED POLYVINYL CHLORIDE JACKETED HARD DRAWN COPPER TWO CONDUCTOR PARALLEL LINE WIRE |
| 29-4 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED, RED POLYVINYL CHLORIDE JACKETED, 30 PER CENT CONDUCTIVITY COPPER COVERED STEEL TWO CONDUCTOR PARALLEL LINE WIRE |
| 32 | COPPER COVERED STEEL MESSENGER STRAND, 30 PER CENT OR 40 PER CENT CONDUCTIVITY |
| 39-2 | PAIRED POLYETHYLENE INSULATED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 39-4 | PAIRED POLYETHYLENE INSULATED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED INTEGRAL MESSENGER COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 39-6 | PAIRED POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-BELTED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 40-2 | POLYETHYLENE INSULATED, POLYETHYLENE BELTED, POLYETHYLENE JACKETED COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 40-4 | PAIRED POLYETHYLENE INSULATED, POLYETHYLENE JACKETED INTEGRAL MESSENGER COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 40-6 | PAIRED POLYETHYLENE INSULATED, POLYETHYLENE BELTED, POLYETHYLENE JACKETED COMMUNICATION CABLE WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 50-2 | POLYETHYLENE INSULATED, POLYETHYLENE JACKETED LOOP DETECTOR LEAD-IN CABLE |
| 51-1 | POLYVINYL CHLORIDE INSULATED, NYLON JACKETED LOOP DETECTOR WIRE |
| 51-3 | CROSS-LINKED POLYETHYLENE INSULATION LOOP DETECTOR WIRE |
| 51-5 | POLYVINYL CHLORIDE INSULATED, NYLON JACKETED, LOOSELY ENCASED IN A POLYVINYL CHLORIDE OR A POLYETHYLENE TUBE LOOP DETECTOR WIRE |
| 61 | FIRE ALARM BOX GROUNDING ASSEMBLY |
| 62 | GROUND RODS |

INTERNATIONAL MUNICIPAL SIGNAL ASSOCIATION, INC.

CABLE SPECIFICATIONS



TITLE

Specification
No.

- | Specification No. | TITLE |
|-------------------|--|
| 5 | RUBBER-INSULATED, NEOPRENE-JACKETED SIGNAL CABLE |
| 19-1 | POLYETHYLENE-INSULATED, POLYVINYL CHLORIDE-JACKETED SIGNAL CABLE |
| 19-2 | PAIRED POLYETHYLENE-INSULATED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED COMMUNICATION CABLE, WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 19-3 | POLYETHYLENE-INSULATED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED INTEGRAL MESSENGER SIGNAL CABLE |
| 19-4 | PAIRED POLYETHYLENE-INSULATED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED INTEGRAL MESSENGER COMMUNICATION CABLE, WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 19-5 | POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-BELTED, COPPER SHIELDED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED SIGNAL CABLE |
| 19-6 | PAIRED POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-BELTED, COPPER SHIELDED, POLYVINYL CHLORIDE JACKETED COMMUNICATION CABLE |
| 20-1 | POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-JACKETED SIGNAL CABLE |
| 20-2 | PAIRED POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-JACKETED COMMUNICATION CABLE, WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 20-3 | POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-JACKETED, INTEGRAL MESSENGER SIGNAL CABLE |
| 20-4 | PAIRED POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-JACKETED, INTEGRAL MESSENGER COMMUNICATION CABLE, WITH ELECTRICAL SHIELDING |
| 20-5 | POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-BELTED, COPPER SHIELDED, POLYETHYLENE-JACKETED SIGNAL CABLE |
| 20-6 | PAIRED POLYETHYLENE-INSULATED, POLYETHYLENE-BELTED, COPPER SHIELDED, POLYETHYLENE-JACKETED COMMUNICATION CABLE |
| 26-2 | NEOPRENE COVERED, HARD DRAWN COPPER LINE WIRE |
| 26-3 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED HARD DRAWN COPPER LINE WIRE |
| 26-4 | POLYVINYL CHLORIDE COVERED HARD DRAWN COPPER LINE WIRE |
| 28-2 | NEOPRENE COVERED, 30 PER CENT OR 40 PER CENT CONDUCTIVITY COPPER COVERED STEEL LINE WIRE |
| 28-3 | HIGH DENSITY POLYETHYLENE COVERED, 30 PER CENT OR 40 PER CENT CONDUCTIVITY COPPER COVERED STEEL LINE WIRE |
| 28-4 | POLYVINYL CHLORIDE COVERED, 30 PER CENT OR 40 PER CENT CONDUCTIVITY COPPER COVERED STEEL LINE WIRE |



1984 I.M.S.A. Cable & Wire Specifications

Index prepared by Clifford of Vermont, Inc., a Sustaining Member of I.M.S.A.



MULTI-CONDUCTOR CABLE SPECIFICATIONS

1984 Spec. No.	Voltage Rating	Application	Type Installation	Conductor Configuration	Distinguishing Design Features*
19-1	600	Signal	Aerial & Duct	Straight	PVC outer jacket
19-2	600	Signal/Communications	Aerial & Duct	Twisted Pairs	Shielded, PVC outer jacket
19-3	600	Signal	Figure "B" Aerial Self-Supporting	Straight	PVC outer jacket
19-4	600	Signal/Communications	Figure "B" Aerial Self-Supporting	Twisted Pairs	Shielded, PVC outer jacket
19-5	600	Signal	Direct Earth Burial	Straight	Shielded, Double jacketed (PVC outer jacket)
19-6	600	Signal/Communications	Direct Earth Burial	Twisted Pairs	Shielded, Double jacketed (PVC outer jacket)
20-1	600	Signal	Aerial & Duct	Straight	Polyethylene outer jacket
20-2	600	Signal/Communications	Aerial & Duct	Twisted Pairs	Shielded, Polyethylene outer jacket
20-3	600	Signal	Figure "B" Aerial Self-Supporting	Straight	Polyethylene outer jacket
20-4	600	Signal/Communications	Figure "B" Aerial Self-Supporting	Twisted Pairs	Shielded, Polyethylene outer jacket
20-5	600	Signal	Direct Earth Burial	Straight	Shielded, Double jacketed (Polyethylene outer jacket)
20-6	600	Signal/Communications	Direct Earth Burial	Twisted Pairs	Shielded, Double jacketed (Polyethylene outer jacket)
39-2	300	Communications	Aerial & Duct	Twisted Pairs	Shielded, PVC outer jacket
39-4	300	Communications	Figure "B" Aerial Self-Supporting	Twisted Pairs	Shielded, PVC outer jacket
39-6	300	Communications	Direct Earth Burial	Twisted Pairs	Shielded, Double jacketed (PVC outer jacket)
40-2	300	Communications	Aerial & Duct	Twisted Pairs	Shielded, Polyethylene outer jacket
40-4	300	Communications	Figure "B" Aerial Self-Supporting	Twisted Pairs	Shielded, Polyethylene outer jacket
40-6	300	Communications	Direct Earth Burial	Twisted Pairs	Shielded, Double jacketed (Polyethylene outer jacket)

*NOTE: The only difference between the #19 and #20 Series compared to the #20 and #30 Series is the jacket compound. PVC (polyvinyl chloride) is soft and pliable. Polyethylene is more rigid. Polyethylene is more resistant to moisture and weather.

TRAFFIC DETECTOR CABLE & WIRE SPECIFICATIONS

1984 Spec. No.	Voltage Rating	Application	Type Installation	Conductor Configuration	Distinguishing Design Features
50-2	600	Lead-In Cable	Aerial & Duct, Direct Earth Burial*	Twisted Pair	Shielded, Black Polyethylene outer jacket
51-1	600	Loop Detector Wire	Saw Cut & Duct	Single	Black PVC insulation with clear Nylon jacket
51-3	600	Loop Detector Wire	Saw Cut & Duct	Single	Black Cross-Linked Polyethylene
51-5	600	Loop Detector Wire (T-Use type)	Saw Cut & Duct	Single	Same as #51-1 but with addition of an overall PVC or Polyethylene tube.

*NOTE: When this single jacketed cable is buried directly in the earth, [A.] it should not be under traffic and [B.] a cushion of sand or clay should be placed around the cable.

TABLE I-A

TABLA 1-B

PROPIEDADES DE LOS AISLAMIENTOS

	Butilo	Poliéstereno cloro-sulfonado.	Etileno Propileno.	Neopreno	Latex Natural	Poliuretano	Silicón.
Resistividad Ohm/cm	10 ¹⁷	10 ¹⁴	10 ¹⁵ - 10 ¹⁷	10 ¹¹	10 ¹⁵ - 10 ¹⁷	10 ¹¹ - 10 ¹⁴	10 ¹¹ a 10 ¹⁷
Rigidez dieléctrica	600	500	900	150 - 600		350 - 525	100 - 653
Constante dieléctrica 1000hz	2.1 - 2.4	7 - 10	3.7 - 3.34	90	2.3 - 3.0	5-8	30-35
Factor de potencia 1000hz	0.0030	0.03-007	0.0066-0.0079	0.03	0.0023 - 0.0030	0.16 - 0.9	0.004-0.010
Resistencia a la tracción kg/cm ²	175-211	175	36	211 - 283	175-211	175 - 283	29:
Elongación %	400-800	700	200 - 400	800 - 988	750 - 850	200 - 600	200 - 800
Densidad.	0.91	1.12 - 1.20	0.86	1.23 - 1.25	0.92 - 0.96	1.05 - 1.16	0.97
Temperatura de fragilidad °C	- 60	- 60	-70	-55	-60	-50 / -65	-65/-125
Máxima temperatura de servicio °C	150	150	180	105	150	85/150	200
Resistencia A:							
Oxidación	B - E	E	E	E	B	E	E
Ozono	E	E	E	E	A-R	E	E
Desgaste	B	E	A-B	B	MB	E	A-B
Abrasión	B	B	B-E	E	E	E	A-B
Radiación	P	A-B	-	P	R	B-E	A-E
Acidos Diluidos	E	E	E	E	A-B	R	E
Acidos concentrados	E	MB	E	B	A-B	P	R
Hidrocarburos alifáticos	P	B	P	B	P	E	P
Hidrocarburos aromáticos	P	R	P	B	P	A-B	P
Hidrocarburos clorados	P	P	P	M	M	A-B	A-B
Aceites y Gasolina	M	B	P	B	M	E	A-B
Aceite animal y vegetal	E	B	B-E	B	P	E	E
Absorción de agua	E	B	E	B	E	B	E
Envejecimiento solar	M	E	E	MB	P	B	E
Envejecimiento por temperatura (212 F)	B	E	E	B	B	B	E
Flama	P	B	R	B	B	B	E
Agua	M	B	M	B	RB	P B	P B

E = Excelente. MB = Muy Buena. B = Buena. M = Regular. P = Mala. M = Mala.

TABLA 1-C

Características	PVC	Poliétileno Baja Densidad	Poliétileno Alta Densidad	Neopreno	Poliétileno Clorosulfonado Hypalon	Plomo
Resistencia a la humedad	B	E	E	B	MB	E
Resistencia a la abrasión	B	B	E	MB	MB	M
Resistencia a golpes	B	B	MB	E	E	M
Flexibilidad	B	B	R	E	E	R
Dobleces en frío	R	E	MB	B	R	-
Propiedades eléctricas	MB	E	E	R	B	-
Resistencia a la interperie	MB	E+	E+	B	E+	MB
Resistencia a la flama	MB	M	M	B	B	B
Resistencia al calor	B	M	R	MB	E	MB
Resistencia a la radiación nuclear	R	B	B	B	MB	E
Resistencia a la oxidación	E	R	R	MB	E	E
Resistencia al ozono	E	E	E	R	E	E
Resistencia al efecto corona	E	B	R	R	B	E
Resistencia al corte por compresión	B	B	B	MB	B	M
Resistencia a ácidos:						
-Sulfúrico al 30%	E	E	E	R	R	E
-Sulfúrico al 3%	E	E	E	R	R	E
-Nítrico al 10%	R	E	E	R	R	M
-Fosfórico al 10%	E	E	E	R	R	B
-Clorhídrico al 10%	B	E	E	R	R	R
Resistencia a álcalis y sales:						
-Hidróxido de sodio al 10%	E	E	E	M	R	B
-Carbonato de sodio al 2%	B	E	E	R	R	B
-Cloruro de sodio al 10%	E	E	E	B	B	B
Resistencia a agentes químicos orgánicos:						
-Acetona	M	B	B	B	B	E
-Tetracloruro de carbono	B	B	B	M	M	E
-Aceites	E	B	B	B	B	E
-Gasolina	B	B	B	B	B	E
-Creosota	R	B	B	M	M	E
Límites de temperatura mínima de operación (C) Max	-55	-60	-60	-30	-30	-
	+75	+75	-75	+90	+105	-
Densidad relativa	1.4	0.9	1.0	1.3	1.2	11.3

Principales aplicaciones:

Uso general, cables para interiores y exteriores cubiertos

Cables a la interperie, cubierta sobre plomo

Idem, pero cuando se requiere mayor resistencia a la abrasión

Cables flexibles, cables para minas

Cables flexibles de alta calidad

Cables con aislamiento de papel impregnado, cables para refinería de petróleo y plantas petroquímicas

E = Excelente

R = Regular

MB = Muy Buena

M = Mala

B = Buena

+ = Sólo en color negro, conteniendo negro de humo

PROPIEDADES DE LAS CUBIERTAS

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION DEL CABLE CONTROL

METODOS DE PRUEBA

Existen varias especificaciones de la industria bajo las cuales son manufacturados los cables de control. Entre esas estan las de I.C.E.A., N.E.M.A., I.M.S.A. y U.L. (Underwriters Laboratories).

A continuación se mencionan las especificaciones sobre cables de control que se indican en la norma oficial Mexicana NOM-J-300: "cables control con aislamientos termoplásticos y termofijos" en la que se especifica lo siguiente:

1.- El conductor debe ser alambre de cobre suave o recocido que cumpla con los requisitos señalados en la norma NOM-J-36, o cable de cobre suave en cableado concéntrico clases B ó C que satisfaga los requisitos establecidos en la norma NOM-J-12 de la cual se anexan las definiciones dadas por ella misma y la tabla correspondiente.

2.- Aislamiento. El aislamiento debe estar constituido por cualquiera de los compuestos extruidos siguientes:

- | | |
|--------------------------|---|
| A.- NORMALES | termoplásticos, (Policloruro de vinilo o polietileno). |
| | termofijos, (polietileno de cadena cruzada o elastomero del etileno propileno). |
| B.- RETARDANTES AL FUEGO | termoplástico, (policloruro de vinilo). |
| | termofijos, (polietileno de cadena cruzada o elastomero del etileno propileno). |

ESPECIFICACIONES PARA "CABLE CONCENTRICO DE COBRE PARA USOS ELECTRICOS" EIE-C-51-63 NOM-J-12

1. DEFINICION Y GENERALIDADES.-

1.1 DEFINICION.- Se entiende por cable concéntrico de cobre al formado por alambres de cobre duro, semiduro o suave, desnudos, cubiertos con estaño, plomo o de plomo liga, para usos eléctricos.

1.2 GENERALIDADES.- Estos conductores estarán contru-
idos por un núcleo central formado por uno o varios alambres, rodeado por una o más capas de alambres dispuestos helicoidalmente. Estos cables se usan desnudos o cubiertos con aislamientos de diferentes clases, para conducción de energía eléctrica.

1.3 CONSTRUCCION.- La construcción normal de los cables concéntricos a que se refiere esta Especificación se indica en la Tabla 1-D.

2. CLASIFICACION Y ESPECIFICACIONES.-

2.1 CLASIFICACION.- Para los propósitos de aplicación de esta Especificación, los conductores aquí referidos se clasificarán como se indica a continuación:

- Clase AA - Conductores desnudos usados generalmente en líneas aéreas.
- Clase A - Conductores que se cubrirán con materiales resistentes a la intemperie, materiales que no propagan la flama y conductores desnudos de mayor flexibilidad que la requerida para los de la Clase AA.
- Clase B - Conductores que van a ser forrados con materiales varios, tales como hule, papel, tela de cambray, etc. y conductores indica-

dos bajo la Clase A pero con una mayor flexibilidad.

Clase C y

Clase D - Conductores de mayor flexibilidad que los requeridos para la Clase B.

----- 0 -----

En cuanto a la cubierta, la norma contempla como materiales a los siguientes:

- 1.- Termoplástico, (policloruro de vinilo).
- 2.- Termofijos, (policloropreno o polietileno clorosulfonado "Hypalon", solo para los aislados con elastómero del etileno propileno).

El espesor promedio del aislamiento debe cumplir con lo establecido en la Tabla I-E de dicha norma (mostrada a continuación), y el espesor mínimo en un punto no deberá ser inferior al 90 % del espesor dado en dicha tabla.

El espesor nominal de la cubierta protectora debe satisfacer lo especificado en la Tabla I-F, y el espesor mínimo en un punto no debe ser inferior al 80 % del espesor nominal especificado.

TABLA I-D

CONSTRUCCION NORMAL DE CABLES CONCENTRICOS DE COBRE

Sección Nominal mm. ²	CLASE AA		CLASE A		CLASE B		CLASE C		CLASE D		Calibre NCM ± AVG
	Diámetro mm.	Núm. de Alambres	Núm. de Alambres	Diámetro mm.	Núm. de Alambres	Diámetro mm.	Núm. de Alambres	Diámetro mm.	Núm. de Alambres	Diámetro mm.	
2830	—	—	169	4.369	217	3.836	271	3.449	271	3.449	5000
2280	—	—	169	4.145	217	3.637	271	3.274	271	3.274	4500
2027	—	—	169	3.907	217	3.449	271	3.086	271	3.086	4000
1773	—	—	127	4.216	169	3.653	217	3.226	271	2.885	3500
1520	—	—	127	3.904	169	3.383	217	2.987	271	2.672	3000
1266	—	—	91	4.209	127	3.564	169	3.088	217	2.723	2500
1013	—	—	91	3.764	127	3.188	169	2.763	217	2.438	2000
962	—	—	91	3.670	127	3.106	169	2.692	217	2.377	1900
912	—	—	91	3.571	127	3.025	169	2.621	217	2.314	1800
887	—	—	91	3.523	127	2.982	169	2.586	217	2.281	1750
862	—	—	91	3.472	127	2.939	169	2.548	217	2.248	1700
810	—	—	71	3.555	127	2.854	169	2.471	217	2.182	1600
760	—	—	61	3.983	91	3.261	127	2.761	169	2.393	1500
709	—	—	61	3.848	91	3.150	127	2.667	169	2.311	1400
658	—	—	61	3.708	91	3.035	127	2.570	169	2.227	1300
633	—	—	61	3.633	91	2.977	127	2.520	169	2.184	1250
608	—	—	61	3.564	91	2.916	127	2.469	169	2.141	1200
557	—	—	61	3.411	91	2.791	127	2.365	169	2.050	1100
506	4.175	37	61	3.251	61	3.251	91	2.662	127	2.253	1000
456	3.962	37	61	3.086	61	3.086	91	2.525	127	2.139	900
405	3.734	37	61	2.908	61	2.908	91	2.382	127	2.017	800
380	3.617	37	61	2.817	61	2.817	91	2.306	127	1.953	750
354.2	3.493	37	61	2.720	61	2.720	91	2.228	127	1.885	700
329.1	3.365	37	61	2.621	61	2.621	91	2.146	127	1.816	650
304.0	3.233	37	37	3.233	61	2.520	91	2.062	127	1.745	600
278.6	3.096	37	37	3.096	61	2.413	91	1.973	127	1.671	550
253.2	4.120	19	37	2.951	37	2.951	61	2.299	91	1.882	500
228.0	3.904	19	37	2.802	37	2.802	61	2.182	91	1.786	450
202.8	3.685	19	19	3.685	37	2.642	61	2.037	91	1.684	400
177.2	4.338	12	19	3.447	37	2.471	61	1.923	91	1.575	350
152.0	4.016	12	19	3.193	37	2.286	61	1.780	91	1.458	300
126.6	3.665	12	19	2.913	37	2.068	61	1.626	91	1.331	250
107.2	4.417	7	7	4.417	19	2.660	37	1.920	61	1.496	4/0
85.0	5.932	7	7	5.932	19	2.388	37	1.709	61	1.351	3/0
67.43	5.503	7	7	5.503	19	2.126	37	1.524	61	1.186	2/0
58.43	3.119	7	7	3.119	19	1.892	37	1.356	61	1.057	1/0
42.41	4.242	3	7	2.776	19	1.687	37	1.209	61	0.940	1
33.62	3.777	3	7	2.474	7	2.474	19	1.501	37	1.077	2
26.67	3.366	3	7	2.202	7	2.202	19	1.336	37	0.958	3
21.15	2.997	3	7	1.961	7	1.961	19	1.191	37	0.833	4
16.76	—	—	—	—	7	1.747	19	1.059	37	0.759	5
13.30	—	—	—	—	7	1.554	19	0.945	37	0.676	6
10.33	—	—	—	—	7	1.384	19	0.841	37	0.602	7
8.37	—	—	—	—	7	1.234	19	0.749	37	0.536	8
6.63	—	—	—	—	7	1.097	19	0.663	37	0.477	9
5.26	—	—	—	—	7	0.978	19	0.594	37	0.424	10
3.31	—	—	—	—	7	0.775	19	0.470	37	0.338	12
2.08	—	—	—	—	7	0.615	19	0.373	37	0.267	14
1.31	—	—	—	—	7	0.488	19	0.297	37	—	16
0.824	—	—	—	—	7	0.386	19	0.234	37	—	18
0.519	—	—	—	—	7	0.307	19	0.185	37	—	20

TABLA No. I-E - Espesor de Aislamiento

600 Volts - Policloruro de vinilo 1000 Volts - Polietileno					
Sección	Espesor m.m.	Prueba de Tensión Volts	Espesor m.m.	Prueba de Tensión C.A. Volts	Calibre AWG
0.65	0.76	1,500	-----	-----	19
0.82	0.76	1,500	-----	-----	18
1.30	0.76	1,500	-----	-----	16
2.08	1.14	3,000	1.14	4,500	14
2.31	1.14	3,000	1.14	4,500	12
5.26	1.14	3,000	1.14	4,500	10
6.63	1.14	3,000	1.14	4,500	9

Polietileno De Cadena Cruzada					
600 Volts			1000 Volts		
0.65	0.64	2,500	-----	-----	19
0.82	0.64	2,500	-----	-----	18
1.31	0.64	2,500	1.14	4,500	16
2.08	0.76	3,000	1.14	4,500	14
2.31	0.76	3,000	1.14	4,500	12
5.26	0.76	3,000	1.14	4,500	10
6.63	0.76	3,000	1.14	4,500	9

Elastómero del Etileno - Propileno					
600 Volts			1000 Volts		
0.65	0.64	2,500	-----	-----	19
0.82	0.64	2,500	-----	-----	18
1.31	0.64	2,500	1.14	4,500	16
2.08	0.76	3,000	1.14	4,500	14
2.31	0.76	3,000	1.14	4,500	12
5.26	0.76	3,000	1.14	4,500	10
6.63	0.76	3,000	1.14	4,500	9

TABLA I-F - Espesor de la Cubierta Protectora

POLICLORURO DE VINILO	POLICLOROPRENO	POLIETILENO CLO-ROSULFONADO (HYPALON)
DIAMETRO CALCULADO BAJO LA CUBIERTA PROTECTORA (mm)		ESPESOR NOMINAL DE LA CUBIERTA (mm)
10.8 y menor		1.14
10.81 - 17.8		1.52
17.9 - 38.1		2.03
38.2 - 63.5		2.79
63.6 y mayor		3.56

Especificaciones Eléctricas

Durante el proceso de fabricación de cada unidad que se forre con polivinilo o polietileno y antes de cualquier proceso de corte o de colocación de una cubierta protectora, el material debe pasar satisfactoriamente en toda su longitud por la prueba de chispa indicada en la sección 5.2.1 alta tensión, con corriente alterna CA, siguiendo el método de prueba descrito en la norma NOM-J-10. La tensión aplicada para esta prueba debe ser de 10,000 volts para espesor de aislamiento de 1.19 mm (3/64").

Alta Tensión con C.A.

La norma establece que si la producción pasó satisfactoriamente la prueba de chispa antes citada, entonces dicho carrete de producto terminado debe soportar una tensión de corriente alterna durante un tiempo de 5 minutos, según el valor especificado en la Tabla 1 de la norma. Esta prueba se debe efectuar en seco.

Si la producción no fue sometida a la prueba de la chispa mencionada, los conductores aislados antes del reunido y después de haber estado sumergidos en agua durante 2 horas, estos deben ser sometidos a la prueba de alta tensión indicada arriba, además el producto terminado también debe someterse a la misma prueba.

La aplicación de tensión de prueba debe hacerse entre cada uno de los conductores y todos los demás conectados a tierra.

Estas pruebas finales se deben efectuar después del último proceso de fabricación.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La resistencia de aislamiento debe medirse inmediatamente después de la prueba final de alta tensión con corriente alterna. Este valor debe ser mayor que el obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$R_a = K \text{ Log } \frac{D}{d}$$

en donde:

R_a: resistencia de aislamiento en megahoms por cada kilómetro.

K : constante propia del material aislante a 15.5°C.

D : diámetro sobre el aislamiento en mm.

d : diámetro bajo el aislamiento en mm.

El valor de la constante K es igual a 150 para el polivinilo, 15,000 para el polietileno y 9,000 para conductores con aislamiento de polietileno y cubierta de polivinilo.

Si la prueba de resistencia de aislamiento se lleva a cabo a

una temperatura diferente a 288.20°K (15.5°C), la lectura obtenida debe corregirse por medio de los factores de corrección indicados en la Tabla 4 de la norma. Además, el conductor amparado por esta norma debe poseer en toda la longitud de su aislamiento la marca o identificación conveniente de la persona o compañía que lo fabrique, la tensión máxima de operación para el cual se garantiza, la designación propia del producto que se trate, la medida o calibre del conductor, y cualquier marca de identificación del fabricante; el color de las letras del marcado debe hacer contraste con el color del aislamiento de manera que puedan leerse todas las designaciones anteriores.

Cada tramo del producto terminado debe llevar en su empaque una etiqueta en la que se especifique lo siguiente:

- nombre o designación del producto
- longitud
- diámetro del conductor central
- marca industrial de fábrica
- leyenda "Hecho en México"
- número de autorización de venta y uso

PANTALLA ELECTROSTATICA

Como se mencionó en la sección "construcción del cable control" existen diversas aplicaciones en la que el cable control requiere de la adición de un elemento más en su construcción; esta es la pantalla metálica o blindaje. Formadas por cintas o malla de cobre sobre la cinta reunidora y su función es la de evitar la inducción de voltajes transitorios en los cables de control originadas por operación de interruptores o sobretensiones en los sistemas de alta tensión cercanos a los

cables control. Si se trata de evitar posibles interferencias entre los circuitos del mismo cable, los conductores se pueden apantallar individualmente, por grupos o pares.

A continuación se exponen las especificaciones a cumplirse por los cables de control con pantalla electrostática, según C.F.E.

A.- GENERALIDADES

Las presentes especificaciones deben aplicarse a la fabricación de cables de control del No 4 al No 12AWG y de 2 a 10 conductores según indique en el pedido correspondiente.

Para la fabricación de cada uno de los conductores debe usarse cable concéntrico de 7 hilos, Clase B, de acuerdo con las normas A.S.T.M. - BB. El aislamiento de estos conductores debe ser polietileno de baja densidad y alto peso molecular, con elevada rigidez dieléctrica que le permita soportar transitorios elevados. La clase de aislamiento de los cables debe ser 1000 volts.

Debe usarse una cinta separadora de material no higroscópico sobre la reunión de los materiales aislados y sobre esta una cinta de cobre traslapada, para el blindaje electrostático.

La fabricación de cada uno de los componentes del cable y el producto terminado debe estar de acuerdo con las normas: C.C.O.N.N.I.E. IC.3-7-1969 E IPCEA -5-402, NEMA WC5.

B.- CARACTERISTICAS MECANICAS Y ELECTRICAS

Las propiedades mecánicas del aislamiento deben

cumplir como mínimo con las normas citadas en el párrafo anterior. El espesor promedio del aislamiento no debe ser menor que el requerido en la tabla siguiente, con un valor mínimo del 90 % del espesor nominal correspondiente.

**ESPESOR DE AISLAMIENTO
1000 VOLTS**

ESPESOR mm	PRUEBAS DE VOLTAJE C.A.	CALIBRE AWG
1.14	4,500	12
1.14	4,500	10
1.14	4,500	8
1.40	7,000	6
1.40	7,000	4

El blindaje electrostático debe formarse con una cinta de cobre con un espesor nominal de 0.12 mm. con una tolerancia de $\pm 15\%$ y traslapada entre un 25 y un 30 %.

Las propiedades mecánicas de la cubierta exterior no deben ser menores que los requeridos por la siguiente tabla, con un valor mínimo de 70 % de los valores indicados en la tabla.

**ESPESOR DE LA CUBIERTA EXTERIOS
SOBRE LA PANTALLA METALICA**

DIAMETRO CALCULADO SOBRE LA PANTALLA mm.	ESPESOR DE LA CUBIERTA mm.
hasta 19.05	1.27
19.08 38.10	1.65
38.13 57.15	2.03
57.18 76.20	2.41
76.23 y mayor	2.79

Las propiedades eléctricas del aislamiento deben mostrarse de acuerdo con lo establecido en las normas C.C.O.N.N.I.E. 10, 3-7-1969.

C.- IDENTIFICACION DE LOS CONDUCTORES

Para efectos de instalación los conductores deben identificarse de acuerdo al código de colores de la Tabla III de las normas C.C.O.N.N.I.E. antes citadas o su equivalente en NOM-J-300 que resulta ser el mismo código que el dado en la sección "CODIGOS".

D.- EMPAQUE

El empaque debe hacerse en carretes de madera de 500 metros de cable \pm 5 % y de tal manera que proteja debidamente al producto. Sobre la longitud total de un pedido se aceptará una tolerancia de \pm 10 %.

E.- METODOS DE PRUEBA

Los metodos de prueba deben estar de acuerdo con lo que establecen las citadas normas C.C.O.N.N.I.E. en el Capitulo 3, Inciso 3.1 a 3.4.

F.- LUGAR DE INSPECCION

Todas las pruebas de inspección se deben realizar en el lugar de manufactura a menos que se especifique otra cosa en el pedido de compra.

El fabricante debe dar al inspector del comprador todas las facilidades razonables, sin embargo, para que compruebe que el material ha sido fabricado de acuerdo con estas especificaciones.

Si el fabricante es extranjero debe, a solicitud del comprador, expedir un certificado protocolizado de calidad que ampare el lote motivo de la transacción comercial, y si el comprador lo juzga necesario pedirá los resultados de las pruebas efectuadas en dicho lote.

G.- MARCADO

El conductor debe poseer en toda la longitud de su aislamiento las marcas o identificaciones convenientes, así como la firma que lo fabrique.

A continuación se hace referencia de las especificaciones generales para los tipos más comunes de cables de control. Estas especificaciones no tienen la intención de ser aplicadas en uso directo, pero pueden ser usadas como guías para el desarrollo de pruebas para aplicaciones que requieran especificaciones de uso particular.

- CONDUCTOR

ESPECIFICACION: A.S.T.M. B-3
A.S.T.M. B-8
A.S.T.M. B-33

- AISLAMIENTO

ESPECIFICACION: A.S.T.M. D-1248-69
I.P.C.E.A. S 19-81 5a EDIC.

- CUBIERTA Y PANTALLA

ESPECIFICACION: I.P.C.E.A. S-61-402
I.P.C.E.A. S 19-81 5a EDIC.

- PROPIEDADES DIVERSAS PARA AISLAMIENTOS Y CUBIERTAS

- . tensión
- . elongación de ruptura
- . envejecimiento acelerado
- . deformación por calor
- . choque térmico
- . dobléz en frío
- . absorción de húmedad

ESPECIFICACION: I.P.C.E.A. S-66-524
I.P.C.E.A. S-61-402
N.E.M.A. WC7
N.E.M.A. WC3
N.E.M.A. WC5

- RESISTENCIA A LA FLAMA

ESPECIFICACION: I.P.C.E.A. S-61-402
N.E.M.A. WC5

ESPECIFICACION 44 de U.L.

- PRUEBAS ELECTRICAS

ESPECIFICACION: I.P.C.E.A. S-61-402
(Parte seis)
I.P.C.E.A. S-19-81 5a EDIC.

A N E X O B

CABLE CONTROL POLIETILENO + PVC 1000 VOLTS



DESCRIPCION:

Multiconductor flexible, formado por cables aislados con polietileno, cinta reunidora y cubierta de policloruro de vinilo (PVC).

APLICACION:

Mediciones eléctricas y control desde un punto remoto (C.A. y C.D.) en circuitos con transitorios elevados.

TENSION MAXIMA DE OPERACION:

1000 Volts.

TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

75°C

PROPIEDADES:

- 1) Flexibles, ligeros y fáciles de instalar.
- 2) Fácil indentificación de conductores.
- 3) Es altamente resistente a la abrasión.
- 4) Tiene una elevada rigidez dieléctrica que le permite soportar transitorios elevados.

ESPECIFICACIONES:

ICEA-S-61-402.

DATOS PARA PEDIDO:

Cable Control Polietileno + PVC, 1000 Volts, número de conductores, calibre y longitud en metros.

REGISTRO:

APROBACION

CARACTERISTICAS GENERALES

Calibre	Sección mm ²	Número de Conductores	Diámetro exterior nominal	Peso kg/km	Capacidad de conducción de corriente (Amperes)	
			mm		En tubo condukt	Al aire libre
12	3.31	2	7 × 11.7°	139	25	25
		3	12.3	201	25	
		4	14.5	285	20	
		5	15.8	329	20	
		6	17.2	389	20	
		7	17.2	421	17	
		9	20.2	557	17	
		12	23.7	738	17	
		19	27.7	1084	17	
10	5.28	2	7.6 × 15°	188	35	35
		3	14.6	298	35	
		4	16	375	28	
		5	17.5	448	28	
		7	19	582	24	
		9	23.3	827	24	
		12	26.2	1015	25	
		19	30.7	1514	24	

Nota: Estos datos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura

* Los cables formados por 2 conductores son de construcción plana, y las dimensiones que aparecen son espesor por ancho

CODIGO DE COLORES

Número de Conductores	Color Básico	Color Hélice	Número de Conductores	Color Básico	Color Hélice
1	Negro		11	Azul	Negro
2	Blanco		12	Negro	Blanco
3	Rojo		13	Rojo	Blanco
4	Verde		14	Verde	Blanco
5	Naranja		15	Azul	Blanco
6	Azul		16	Negro	Rojo
7	Blanco	Negro	17	Blanco	Rojo
8	Rojo	Negro	18	Naranja	Rojo
9	Verde	Negro	19	Azul	Rojo
10	Naranja	Negro			

CABLE CONTROL PVC + PVC, 600 VOLTS



DESCRIPCION:

Cable multiconductor con conductores de cobre suave, cableado concéntrico, aislados con PVC, en colores según código, cinta reunidora y cubierta exterior de PVC.

APLICACION:

Se utilizan para telecomando en equipos de medición, protección y control en general. Puede ser instalado dentro de ductos, conduits, charolas e instalaciones aéreas. Está clasificada como cable control tipo B, según ICEA-S-61-402.

TENSION MAXIMA DE OPERACION:

600 Volts

TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

75°C

PROPIEDADES:

- 1.-Flexibles, ligeros y fáciles de instalar.
- 2.-Fácil identificación de conductores.
- 3.-Alta resistencia a la abrasión.
- 4.-Retardante a la flama (Prueba FR-I-U.L.).

ESPECIFICACIONES:

NOM J 300 (ICEA S-61-402).

DATOS PARA PEDIDO:

Cable control PVC + PVC, 600 Volts, número de conductores, calibre y longitud en metros.

REGISTRO:

APROBACION

TABLA DE CARACTERISTICAS GENERALES

SECCION mm ²	CALIBRE AWG.	NUMERO DE CONDUCTORES	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*) EN TUBO CONDUIT
			mm	Kg./Km.	AMPERES
2.07	14	3	11.3	170	20
		4	12.3	210	18
		5	14.3	275	16
		6	15.5	325	16
		7	15.5	350	14
		9	18.0	450	14
		12	20.3	560	14
3.31	12	2	7.2 x 12	150	25
		3	12.3	220	25
		4	14.3	300	20
		5	15.6	355	20
		6	17	420	20
		7	17	460	17.5
		12	23.3	605	17.5
5.26	10	2	7.5 x 12.7	200	35
		3	14.4	320	35
		4	15.7	400	27

NOTA: Estos datos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura.
*Calculada para una temperatura ambiente de 30°C.

NOTA: Estos números de conductores son los preferentes de manufactura, pero se pueden fabricar de un número mayor, a solicitud del cliente.

CODIGO DE COLORES

No.	Color Básico	Color Hélice
1	Negro	
2	Bianco	
3	Rojo	
4	Verde	
5	Naranja	
6	Azul	
7	Bianco	Negro
8	Rojo	Negro
9	Verde	Negro
10	Naranja	Negro
11	Azul	Negro
12	Negro	Bianco

CABLE CONTROL VULCANEL^{M.R.} ANTILLAMA, 600 V.



DESCRIPCION:

Cable Multiconductor formado por cables de cobre suave es-
tañado, aislamiento de EP-FR, en colores según código, cinta
que actúa como barrera térmica y cubierta exterior de PVC,
resistente a la propagación de incendios

APLICACION:

Está diseñado para una amplia variedad de aplicaciones in-
dustriales. Se puede instalar en ductos, conduits, charolas o
directamente enterrado; en aplicaciones donde se requiera
un alto grado de resistencia a la flama. Son especialmente
adecuados para aplicaciones en plantas generadoras de elec-
tricidad de cualquier tipo.

TENSION MAXIMA DE OPERACION:

600 Volts.

TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

Ambiente seco y húmedo	90°C
Sobrecarga	130°C

PROPIEDADES:

- 1) Excelente resistencia a la humedad.
- 2) Excelentes propiedades eléctricas, térmicas y físicas.
- 3) Resistente a la propagación de incendios(prueba de flama vertical IEEE 383)
- 4) Diámetros de los cables reducidos, lo cual provee más capacidad de instalación.
- 5) La cubierta posee un bajo coeficiente de fricción, lo que facilita el jalado de los cables.

ESPECIFICACIONES:

ANACONDA-AP-63570-00; ICEA-S-19-81.

DATOS PARA PEDIDO:

Cable control VULCANEL ANTILLAMA, 600Volts, número de
conductores, calibre y longitud en metros.

REGISTRO:

APROBACION 

CARACTERISTICAS GENERALES

Sección	Calibre	Número de Conductores	Diámetro Exterior	Peso	Capacidad de conducción de corriente ^o
mm ²	AWG		mm	kg/km	Amperes
2.07	14	2	9.7	125	25
		3	10.2	155	
		4	11.1	190	
		5	12.2	325	
		7	14.0	300	
3.31	12	2	10.6	160	30
		3	11.3	200	
		4	12.4	250	
		5	14.2	325	
		7	15.4	410	
5.26	10	2	11.9	215	40
		3	12.5	310	
		4	14.5	370	
		5	15.7	460	
		7	17.3	580	

NOTA: Estos datos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura.

NOTA: Estos números de conductores son los preferentes de manufactura, pero se pueden fabricar de un número mayor, a solicitud del cliente.

^o Calculada para una temperatura ambiente de 30°C. Para temperaturas ambiente mayores a 50°C, multiplicar por el factor corrección por temperatura mostrada abajo.

CODIGO DE COLORES

Número de Conductores	Color Básico	Color Hólice
1	Negro	
2	Blanco	
3	Rojo	
4	Verde	
5	Naranja	
6	Azul	
7	Blanco	Negro

FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA

Temp. Amb. °C	Factor
31-40	0.91
41-45	0.87
46-50	0.82
51-60	0.71
61-70	0.58

CABLE CONTROL PVC + PVC, ANTILLAMA M.R. 600 VOLTS



DESCRIPCION:

Cable multiconductor formado por conductores de cobre suave aislamiento de PVC en colores según código, rellenos de PVC, cinta reunidora y cubierta exterior de PVC no propagadora de incendios.

APLICACION:

Se utilizan para operación de protecciones de equipo, aparatos eléctricos y control en general. En centrales eléctricas e industrias donde son deseables máximas condiciones de seguridad.

Se puede instalar en ductos, conduits, charolas e instalaciones aéreas. Está clasificado como cable control tipo B, según la norma ICEA S-61-402.

TENSION MAXIMA DE OPERACION:

600 Volts.

TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

75°C.

PROPIEDADES:

- 1) Flexible, ligeros y fáciles de instalar.
- 2) Fácil identificación de conductores.
- 3) Posee alta resistencia a la abrasión.
- 4) Es resistente a la propagación de incendios, según la norma IEEE-383.

ESPECIFICACIONES:

NOM-J-300 (ICEA-S-61-402).

DATOS PARA PEDIDO:

Cable control PVC + PVC, ANTILLAMA, 600 Volts, número de conductores, calibre y longitud en metros.

REGISTRO:

APROBACION NOM-J

CARACTERISTICAS GENERALES

Calibre	Sección	Número de Conductores	Diámetro total	Peso	Capacidad de conducción de corriente	
			mm	Kg/Km	Amperes	
AWG	mm²				Charolas ¹⁾	Conduits
14	2.01	4	13.7	260	25	20
		6	16.2	360		20
		8	17.5	435		18
12	3.32	2	12.2	195	30	30
		3	13.7	270		30
		5	16.2	390		24
		7	17.6	490		21
		9	20.5	655		21
		12	24.1	845		21

Estos datos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura.

NOTA: Estos números de conductores son los preferentes de manufactura, pero se pueden fabricar de otros números, a solicitud del cliente.

* Calculada para una temperatura ambiente de 30°C.

¹⁾ Los cables multiconductores que se instalan en charolas deben colocarse en una capa. (NTIE-81-311.9)

CODIGO DE COLORES

No.	Color Básico	Color Hélice
1	Negro	
2	Blanco	
3	Rojo	
4	Verde	
5	Naranja	
6	Azul	
7	Blanco	Negro
8	Rojo	Negro
9	Verde	Negro
10	Naranja	Negro
11	Azul	Negro
12	Negro	Blanco

A N E X O

C

MÉTODOS PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LOS CONDUITS

Los conduits o ductos deben ser construidos adecuadamente con paredes lisas y de tamaño conveniente conforme al diámetro del cable y al porcentaje de área útil recomendado.

DIMENSIONES DEL CONDUIT		
TAMAÑO NOMINAL DEL CONDUIT (plg.)	DIÁMETRO INTERNO (plg)	ÁREA, (plg ²)
1	1.016	0.86
1½	1.386	1.50
1½	1.610	2.04
2	2.067	3.36
2½	2.469	4.79
3	3.068	7.38
3½	3.548	9.90
4	4.026	12.72
5	5.047	20.00
6	6.055	28.89

Para grupos o combinaciones de cables se recomienda que la canalización sea de tal tamaño que la suma de la sección transversal de los cables individuales no sea mayor que el porcentaje de la sección transversal del conduit como se muestra en las siguientes tablas:

PORCENTAJE DEL AREA INTERNA DE LA CANALIZACION

	NUMERO DE CABLES				
	1	2	3	4	mäs de 4
Cables (Sin cubierta de Plomo)	53	31	40	40	40
Cables (Con cubierta de Plomo)	55	30	40	33	35

PORCENTAJE DEL DIAMETRO INTERNO DE LA CANALIZACION

	NUMERO DE CABLES			
	1	2	3	4
Cables (Sin cubierta de Plomo)	72.8	39.3	36.5	31.6
Cables (Con cubierta de Plomo)	74.2	38.7	36.5	30.8

MAXIMO DIAMETRO PERMISIBLE DE CABLES INDIVIDUALES EN UN TA-
MAÑO DADO DE CONDUIT (EN PULGADAS) *

TAMAÑO NOMINAL DEL CONDUIT	NUMERO DE CABLES DE IGUAL DIAM. EXT.			
	1	2	3	4
1½	0.453	0.244	0.227	0.197
¾	0.600	0.324	0.301	0.260
1	0.763	0.412	0.383	0.332
1¼	1.010	0.542	0.504	0.436
1½	1.173	0.633	0.588	0.509
2	1.505	0.802	0.754	0.653
2¼	1.797	0.970	0.901	0.780
3	2.234	1.206	1.128	0.970
3½	2.583	1.395	1.296	1.121
4	2.930	1.583	1.430	1.273
5	3.675	1.975	1.844	1.595
6	4.415	2.335	2.210	

* CABLES CON CUBIERTA NO METALICA , TODOS LOS CABLES CON
EL MISMO DIAMETRO EXTERIOR.

TENSIONES DE JALADO

La fuerza requerida para jalar el cable o cables dentro del ducto depende del peso del cable, el coeficiente de fricción y la longitud del ducto. La siguiente información está basada en un estudio patrocinado por IPCEA.

La máxima tensión de jalado sobre un cable no deberá exceder lo siguiente:

- 1) Para cables equipados con un ojo de jalado o perno tipo argolla sobre los conductores:
 - A. Para cables de cobre o aluminio rígidos de cualquier temple, 0.008 el área del conductor(es) en circular Mils y
 - B. Para aluminio rígido 0.006 veces el área en circular Mils de los conductor(es)

2) Para cables que sean jalados con una mordaza sobre la cubierta:

- A) Para cables con un recubrimiento de plomo con una área de la sección transversal del plomo de:

$$A = t(D-t)$$

donde: A = Área de la sección transversal del plomo

t = Espesor del recubrimiento

D = Diámetro sobre el cable

- B) Para cable con mordaza sobre una cubierta sin plomo, la máxima tensión de jalado no debe exceder mil libras, y, por supuesto, no debe exceder la máxima tensión calculada arriba en 1.

La tensión de jalado para una instalación dada puede ser calculada mediante la siguiente fórmula.

$$T = L \times W \times f \quad (\text{Para una sección recta}) \quad (1)$$

Donde: T = Tensión de jalado en libras

L = Longitud del recorrido del ducto (pies)

W = Peso del cable (Lb/Ft)

f = Coeficiente de fricción (Generalmente se toma como 0.5)

$$T = T_2 + T_1 e^{fa} \quad (\text{Para un ducto con una curvatura}) \quad (2)$$

Donde:

T_2 = Tensión para la sección recta siguiente a la curva (libras)

T_1 = Tensión para la sección recta precedente a la curva en libras

e = Logaritmo de base (2.718)

f = Coeficiente de fricción

a = ángulo de curvatura en radianes.

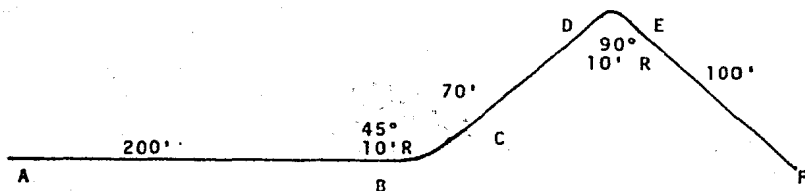
Como una ayuda en la solución de la fórmula anterior, la siguiente tabla presenta un listado de los valores de e^{fa} para ángulos más comunes.

TABLA

ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	e^{fa}		
	f=0.40	f=0.50	f=0.75
15	1.11	1.14	1.22
30	1.23	1.30	1.48
45	1.37	1.48	1.81
60	1.52	1.68	2.20
90	1.88	2.19	3.24

La máxima presión contra la pared no debe exceder 300 libras por pie/radio; por ejemplo, la tensión en el cable inmediatamente después de una curva no debe exceder 300 veces el radio de curvatura en pies.

Como un ejemplo considérese lo siguiente: Un ducto con el arreglo mostrado:



3 CABLES 1/c 500 MCM, apantallado. Diámetro externo 3.02"
 Peso 6.35 lb/ft (Conductor de cobre $f = 0.5$)
 Jalado desde A hasta F

Normalmente el cálculo de la tensión es calculado en forma progresiva de la manera siguiente:

$$\text{Tensión hasta B } (T_1) = 200 \times 6.35 \times 0.5 = 535 \text{ Lb de ec.1}$$

$$\text{Tensión hasta C } (T_2) = T_1 e^{fa} = 635 \times 1.48 = 940 \text{ lbs.}$$

$$\text{Tensión hasta D } (T_3) = 940 + (70 \times 6.35 \times 0.5) = 1162 \text{ lbs (ec.2)}$$

$$\text{Tensión hasta E } (T_4) = T_3 e^{fa} = 1162 \times 2.19 = 2545 \text{ lbs.}$$

$$\text{Tensión hasta F } (T_5) = 2545 + (100 \times 6.35 \times 0.5) = 2862 \text{ lbs. tot.}$$

La máxima tensión de jalado permisible para este cable equipado con una argolla de jalado es $0.008 \times 500\ 000 \times 3$, es decir 12 000 libras.

$$\text{Presión en los costados hasta C} = \frac{940}{10} = 94 \text{ Lb/ft}$$

$$\text{Presión en los costados hasta E} = \frac{2545}{10} = 25.45 \text{ Lb/ft}$$

A causa de que la presión sobre la pared hasta E es más bien alta (aunque no está fuera de los límites de diseño) sería deseable investigar los resultados si el cable se jalara desde F hasta A.

$$\text{Tensión hasta E } (T_1) = 100 \times 6.35 \times 0.5 = 318 \text{ lbs.}$$

$$\text{Tensión hasta D } (T_2) = 318 \times 2.19 = 696 \text{ lbs.}$$

$$\text{Tensión hasta C } (T_3) = 696 + (70 \times 6.35 \times 0.5) = 918 \text{ lbs.}$$

$$\text{Tensión hasta B } (T_4) = 918 \times 1.48 = 1360 \text{ lbs.}$$

$$\text{Tensión hasta A } (T_5) = 1360 + (200 \times 6.35 \times 0.5) = 1995 \text{ lbs. total}$$

Jalando desde F hasta A resulta una tensión considerablemente menor en las curvas y a todo lo largo.

Sin embargo, en este caso, sería aceptable jalar desde cualquier dirección, aunque es prudente considerar la selección de la dirección que resulte con el menor esfuerzo, sobre el cable y el equipo dado que no hay circunstancias adversas tales como limitaciones en la ubicación o espacio de trabajo en cualquiera de los dos extremos.

Durante el jalado así como otras operaciones frecuentemente es necesario conducir al cable o pasarlo sobre soportes adecuados. Para prevenir el daño al cable, es imperativo que el cable no sea doblado más allá de un radio lo suficientemente pequeño para causar daño. Las siguientes dos tablas dan el radio mínimo de dobléz recomendado para cables de construcción variada.

TABLA

CABLES APANTALLADOS O CON CORAZA

TIPO DE CABLE	RADIO DE CURVATURA MINIMO (VECES DEL DIAMETRO EXTERNO DEL CABLE)
Cinta Plana o trenzado de alam.	12
Apantallado con cinta	12
Apantallado con malla de alambre	8
Coraza entrelazada sin apantallamiento	7

T A B L A

CABLES DE CONTROL FLEXIBLES

TIPO DE CABLE	RADIO MINIMO DE DOBLEZ (VECES EL DIAMETRO DEL CABLE)
Cables de control (18 conductores y menos, sin coraza)	6
Cables de control (19 conductores y mayores, sin coraza)	8
Cable de control (7 conductores y más)	20

Estos radios de doblez deben ser considerados como las dimensiones mínimas recomendadas. Cuando el cable sea jalado más allá o alrededor de este radio y soportando tensión, la presión sobre los costados de 300 lb/ft no debe ser excedida. Estos radios deben ser considerados solamente para dobleces estáticos, es decir, los manipuleos propiamente dichos, dobleces de prueba, etc.

CONCLUSIONES:

La necesidad de generar señales mensajeras para efectos de control en los procesos industriales modernos, así como la imperiosa necesidad de disponer de información confiable y rápida, han hecho que los cables de control se hayan desarrollado hasta los tipos que conocemos hoy en día y que en este trabajo se han presentado y discutido.

Se ha logrado la integración de la información, que sobre cable de control existe dándole a ésta una estructuración que, sin pretender sea un tratado profundo sobre cable de control, sí permita al técnico usuario disponer de los datos suficientes para una adecuada aplicación de los mismos a fin de satisfacer las necesidades que la Ingeniería de Control presenta, para optimizar la operación y funcionamiento de los sistemas.

Congruentes con el objetivo de este trabajo, en el Capítulo I se presentó una descripción general de los tipos, construcción y materiales empleados en los cables de control comerciales. En el capítulo II se ofrecen algunos de los criterios de mayor aplicación para satisfacer las necesidades más comunes de control. En el capítulo III se dan algunas recomendaciones prácticas del cómo instalar los cables de control basados en experiencias y estudios recopilados a través de los años; que han demostrado ser los más adecuados para minimizar los problemas asociados a la operación de estos cables como es el caso de la Interferencia Electromagnética discutida en el capítulo IV.

Los cables de control presentan, en su operación, problemas que para su solución requieren de métodos como los que se describieron en los capítulos correspondientes, resultando estos métodos, en algunos casos, no suficientes para eliminarlos. En el desarrollo de nuevos materiales ha aparecido la fibra óptica, que, debido a sus excelentes propiedades NO INDUCTIVAS, se presenta como el elemento capaz de resolver los problemas que enfrenta el cable de control normal, por tanto, en el capítulo V se presentó a ésta como el sustituto ideal del cable de control, así como los diferentes problemas técnicos que deberán solucionarse antes de que sea empleada de manera comercial a gran escala, aunque ya existen sistemas experimentales que usan fibra óptica para aplicaciones de telemetría y control que han demostrado ser confiables e invulnerables a los agentes externos que afectan al cable de control.

Debido a lo anterior, consideramos necesario y conveniente dar más énfasis al estudio y aplicaciones de la fibra óptica para lograr una rápida integración de esta tecnología a la Industria Mexicana.

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

Salvador Hernández González. Interferencia Electro-magnética y Los Relevadores de Estado Sólido.

W.C. Kotheimer and L.L. Man Koff. Electromagnetic interference and solid state protective relays. General Electric Company. Mexican 1980, México, D.F.

EMI Considerations. FASAR VII. King. of Prussia, PA. June 8-10, 1982.

American National Standards Institute. Guide for surge Withstand Capability (SWC) Tests. ANSI C37.90a - 1974. IEEE Std. 472-1974. July 15, 1974 (Supplement to ANSI/IEEE (37.90-1978).

W.C. Kotheimer. The influence of station Design on Control Circuit Transients.

General Electric. Theory of Shielding and Grounding of Control Cables to Reduce Surges.

Grupo de trabajo 60.3 del IEEE del Comité de Subestaciones. Selection and Installation of Control and Low-Voltage Cable Systems in Substations.

Borgvall, T., Holmgren, B., Sunden, D., Wistrom, T. and Norback, K., "Voltages in Substation Control Cables During Switching Operations", CIGRE 36-05, pp. 1-23, August 24, 1970.

Buckingham, R.P. and Gooding, F.H., "The Efficiency of Non-Magnetic Shields on Control and Communication Cable", 69 TP. 710-PWR, IEEE PAS, vol. 89, No. 6, pp. 1091-1099, 1970.

Gillies, D.A., Rogers E.J., "Induced Transient Voltage reductions in Bonneville Power Administration 500 KV Substations", IEEE C72-522-1.

Hammerlund, V., "Noise and Noise Rejection Methods in Control Circuits, particularly for II.V. Power Stations", IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium, pp. 216-227, July, 1968.

Jeff Hecht. Fiber Optics Turns to Sensing. High Technology. July/August 1982, pp. 49-56.

Fumio Aoki and Hisashi Nabeshima. Optical-Fiber Communications for electric power companies in Japan. Proceedings of the IEEE, vol. 68, no. 10, October 1980, pp. 1280-1285.

Bishop, O.L. and Smith, J.C. Installation of a fiber optic system in an electric power station. Proc of the int wire and cable symp 27th. Cherry Hill, NJ, Nov 14-16, 1978, pp. 390-393.

Eastwood, Par K., Fafard, P., Bourgeois, J.M. and Hudon, R. Utilisation des fibres optiques dans le controle des systemes D'energie électrique. R. Can. genie elec, Vol. 4, no. 2, 1979, pp. 35-39.

Dr. Paul Polishuk. The impact of fiber optics on the insulated wire and cable industry wire journal international, August 1983, pp. 36-38.

Schwartz, Morton I., Gagen, Paul F., Santana, Manuel R. Fiber Cable Design and Characterization. Proceedings of the IEEE, Vol. 68, no. 10, October 1980, pp. 1214-1219.

Sorensen, Hans O. High Speed Low Error Data Transmission with Fiber Optics. Computer design, March 1979, pp. 166-170.

Dalgleish, Jack f. Splices, Connectors, and Power Couplers for Field and Office Use. Proceedings of the IEEE, Vol. 68, no. 10, October 1980, pp. 1226-1230.

Mills, Ralph H. New 1984 I.M.S.A. Specifications for Traffic Control Cables. ITE Journal, June 1984, pp. 46-49.

Norma Oficial Mexicana, NOM J-300 - 1980, Cable Control, Control Cable, Direccion General de Normas.

Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, NOM-J-300 - 1985, Cables control con aislamientos termoplasticos y termofijos.

Norma Oficial Mexicana, NOM-J-12, Cable de cobre en cableado concentrico para usos electricos.

Catalogo de la Industria Electrica, Volumen II (dos) C.F.E.

IMSA Specification Cables & Wires, Multiconductor Cable Specifications, 1984.

Hojas Técnicas Cables de Control Condumex, Ed. 1985.

Catálogo Cables de Control e instrumentación C.F.E. para la Planta Nucleoeléctrica de Laguna Verde, Amendment, 1983.

Viqueira Jacinto, Redes Eléctricas. Tomos I y II, 1983.