

300617

18
2º



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
Incorporada a la U.N.A.M.

CABLES COAXIALES

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA MECANICA)

P R E S E N T A

RAUL HUERTA SCHETTINO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1986



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

	PAG.
CAPITULO I.- INTRODUCCION	1
CAPITULO II TELEVISION POR CABLE	5
2.1. Introducción a la televisión por cable	5
2.2. Reglas de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC)	11
2.3. Localización de los canales dentro del cable.	12
CAPITULO III GENERALIDADES	15
3.1. ¿Qué es un cable coaxial?	15
3.2. Clasificación de los cables coaxiales por su tipo.	17
3.2.1. Cables coaxiales RG/U	17
3.2.2. Cables coaxiales CATV	20
3.2.2.1. Cables coaxiales CATV con cubierta de aluminio	21
3.2.2.2. Cables coaxiales CATV tipo Sealmetic	23
3.3. Clasificación de los cables coaxiales por sus características físicas de diseño	24
3.3.1. Cables flexibles con dieléctrico sólido y con malla trenzada como conductor externo.	24
3.3.2. Cables coaxiales semirígidos	24
3.3.3. Cables coaxiales rígidos	25
3.3.4. Coaxiales especiales	27
3.3.5. Cables coaxiales para propósitos especiales.	32

3.4	Clasificación de los cables coaxiales por su impedancia característica	35
CAPITULO IV.	PARAMETROS ELECTRICOS	36
4.1	Características eléctricas	36
4.1.1.	Capacitancia	38
4.1.2.	Inductancia	40
4.1.3.	Impedancia característica	42
4.1.4.	Velocidad de propagación	46
4.1.5.	Efecto piel	47
4.1.6.	Resistencia	48
4.1.7.	Atenuación	49
4.1.8.	VSWR. Factor de reflexión y pérdidas por retorno.	53
4.1.9.	Efectividad del blindaje	56
4.1.10.	Frecuencia de corte	71
4.1.11.	Gradiente eléctrico	72
CAPITULO V.	DISEÑO	74
5.1.	Características del Conductor interno	74
5.1.1.	Materiales	74
5.1.1.1.	Cobre	74
5.1.1.2.	Acero cubierto con cobre	76
5.1.1.3.	Cobre estañado	77
5.1.1.4.	Cobre cubierto con plata	78
5.1.2.	Formas y dimensiones	79
5.2.	Características y materiales del dieléctrico	80
5.2.1.	Poliétileno	80
5.2.1.1.	Poliétileno de baja densidad.	81
5.2.1.2.	Poliétileno celular	81
5.2.1.3.	Poliétileno retardante a la flama	82

5.2.2.	Teflón	83
5.2.2.1.	Teflón TFE	83
5.2.2.2.	Teflón FEP	84
5.2.2.3.	Teflón PFA	84
5.3.	Blindaje ó conductor externo	85
5.3.1.	Blindajes con mallas trenzadas	85
5.3.2.	Blindajes con cintas	86
5.3.3.	Método de cálculo para el porcen <u>ta</u> taje de cubrimiento de una malla trenzada.	87
5.4.	Tipos de cubiertas	90
5.4.1.	PVC	90
5.5.	Diseño de un cable coaxial RG 59 B/U	91
5.6.	Diseño de un cable coaxial CATV 59	93
CAPITULO VI.	INSTALACION Y ACCESORIOS PARA CONEXION	97
6.1.	Diseño del conector coaxial	97
6.1.1.	Parámetros de diseño de conectores coaxiales	98
6.1.1.1.	Acoplamiento de la impedan <u>a</u> cia .	99
6.2.	Tipos de acoplamiento	107
6.2.1.	Procedimientos de ensamble	108
6.2.2.	Conectores miniatura	110
6.2.3.	Conectores pequeños	110
6.2.4.	Conectores medianos	111
6.2.5.	Conectores grandes	112
6.2.6.	Conectores de precisión	119
6.3.	Requerimientos generales de ensamble	120

CAPITULO VII. PRUEBAS DE LABORATORIO	123
7.1. Pruebas físicas y mecánicas	123
7.1.1. Conductor interno	123
7.1.2. Dieléctrico	123
7.1.3. Conductor externo	124
7.1.4. Cubierta exterior	125
7.2. Pruebas eléctricas	126
7.2.1. Esfuerzo del dieléctrico del núcleo	126
7.2.2. Prueba de arco de la cubierta	126
7.2.3. Resistencia del aislamiento en seco	126
7.2.4. Prueba de descarga	127
7.2.5. Impedancia característica	127
7.2.6. Capacitancia	129
7.2.7. Atenuación	129
CAPITULO VIII. CONCLUSIONES	132

CAPITULO I.- Introducción

En la transmisión de señales eléctricas, a través de líneas se requiere el uso de dos conductores para poder completar el circuito. Uno de estos conductores es llamado, el conductor de ida y el otro conductor el de regreso.

Para el propósito de explicación de un cable coaxial, examinaremos una instalación telefónica, que utiliza alambrado convencional. Los conductores son pareados en los polos telefónicos, cada par es usado en uno de los circuitos telefónicos. En algunos circuitos solo el conductor de ida es montado en los polos y la tierra en este caso vendría a ser el conductor de regreso. Algunas veces los pares de conductores, para circuitos telefónicos son reunidos en grupos de más de 1800 pares y después se les aplica una cubierta para formar un cable multipar.

En todo tipo de arreglos los conductores transportan corrientes eléctricas muy delicadas, que conducen la conversación telefónica y que son expuestos a interferencia exterior. El clima húmedo puede causar pérdidas a través de los aislamientos, dando lugar a un sumbido en el receptor telefónico, y las caídas de potencia en las líneas, interrupciones y fuertes ruidos que interfieren la comunicación. La proximidad de pares que conducen diferentes conversaciones, pueden causar que uno escuche otra conversación al momento de estar hablando, este efecto es llamado "diafonía", y esto sucede particularmente en cables multipares.

Hay otros dos problemas relacionados con el uso de un par convencional de conductores para comunicación. Uno de ellos es cuando este

tipo de circuitos tienen una alta atenuación, lo cual hace que la señal se debilite, cuando esta viaja a través de un conductor en distancias largas, por lo cual se requiere usar amplificadores para poder reforzar la señal y así disminuir pérdidas en la línea de transmisión.

El otro problema y económicamente el más importante, es el ancho de banda. Una conversación telefónica puede ser satisfactoriamente -- transmitida si el circuito conduce tonos audibles en el rango de 300 ciclos por segundo a 2500 ciclos por segundo, lo que da una banda total de 2200 ciclos, que será lo que ocupará la primera conversación, por lo que la siguiente irá de 3000 a 5200 ciclos, la siguiente de --- 5700 a 7900 y así sucesivamente. Cada conversación requiere 2200 ciclos y debe tener una separación de banda de por lo menos 500 ciclos, para poder prevenir interferencias. Por lo que es difícil seguir adicionando conversaciones a un par para su transmisión simultánea, debido al límite relativamente bajo de frecuencia que este sistema es capaz de transmitir, por esto es por lo que se han desarrollado los cables coaxiales, en los cuales el conductor de ida es el conductor central de cobre, de un diámetro comparativamente pequeño, alrededor del cual es aplicado el aislamiento ó "dieléctrico"; el conductor de retorno en forma de un tubo de cobre es colocado alrededor del dieléctrico y del conductor interno, por lo que ninguna interferencia exterior puede afectar una conversación en el caso de un uso telefónico, ya que la señal va a ser transmitida completamente protegida de efectos externos por medio del conductor de retorno.

Los cables coaxiales tienen un ancho de banda extremadamente amplio, pueden transmitir señales desde frecuencia cero (corriente directa) hasta varios millones de ciclos por segundo. Literalmente cientos

tos de conversaciones pueden ser transmitidas a través de un solo cable coaxial, ó un programa de televisión ocupando cerca de 3'500,000 de ciclos.

El cable coaxial debido a su baja atenuación, no necesita tantos amplificadores, como los que se usan para los conductores convencionales, los amplificadores que requieren los cables coaxiales son relativamente baratos y son capaces de amplificar cientos de señales simultáneamente.

Aparte de su gran importancia en la industria telefónica todos los fabricantes de radio, televisión, radar, aparatos para navegación, aeronáutica y otros tipos de equipo de transmisión utilizan el cable coaxial. La televisión comunitaria y los circuitos cerrados utilizan miles de tipos de cables coaxiales, sistemas de televisión sofisticados utilizan por ejemplo cables coaxiales de diámetro grande con uno o dos blindajes para mantener la transmisión en la línea, con uniones de acoplamiento que permiten utilizar cables de menores diámetros para que así la señal pueda llegar directamente al aparato receptor.

El uso del cable coaxial se extiende a cualquier aplicación en la cual las pérdidas en la señal y en atenuación deban ser minimizadas, ó cuando se desea eliminar la interferencia externa.

Una de las últimas aplicaciones es el reunir varios cables coaxiales bajo una misma cubierta para así formar una unidad integral y poder ser usados en el campo de la administración computarizada.

Por lo tanto, como se puede apreciar desde que los cables coaxiales entraron por primera vez a los mercados civiles al final de la década

ACUSE DE RECIBIDO DE EJEMPLARES DE TESIS EN LA BIBLIOTECA CENTRAL

NOMBRE DEL ALUMNO:

PAUL HUERTA SCHETTINO

NOMBRE DE LA TESIS O SEMINARIO

FABLES COAXIALES

ESCUELA O UNIVERSIDAD

LA SALLE

CARRERA

INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

FECHA

DIA

MES

AÑO

19

MARZO

1986

ACUSE DE RECIBO
SELLO Y FIRMA DE
LA BIBLIOTECAENTREGO
DOS EJEMPLARES
DE TESIS EN
BIBLIOTECA
CENTRAL

- * Favor de llenar por triplicado con letra de molde
- * Entregar dos ejemplares de la tesis en la biblioteca central-UNAM
- * Exigir que le sellen y le firmen las dos copias

de los cuarentas y principios de los cincuentas, desde entonces ha --
habido un gran aumento en su utilización en el campo de la comunica-
ción.

CAPITULO II.- Televisión por cable

2.1. Introducción a la televisión por cable.

Los primeros sistemas de televisión por cable eran usualmente muy simples, su única función era el proveer señales de televisión en las áreas donde la recepción por aire no era posible o cuando la recepción era muy pobre. Aún cuando en esos tiempos las señales que se transmitían por cable eran de una calidad muy baja en comparación con los sistemas actuales, las personas que tenían conectada su televisión a un sistema por cable decían que cualquier programa de televisión era preferible a no ver nada.

En los últimos años, los receptores de televisión han sido mejorados considerablemente, los suscriptores se han vuelto más exigentes y la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América, ha puesto reglas que actualmente regulan la televisión por cable.

La televisión por cable no está muy lejos de ser considerada, un sustituto de la televisión cuya recepción se hace por aire. Los sistemas de televisión por cable sirven a todo tipo de comunidades, por lo que es ampliamente reconocido que estos sistemas no solo pueden proveer más y mejores programas, sino que ofrecen mucho más, por lo que se ha incrementado los sistemas de doble capacidad, lo cual amplía la variedad de servicios, que hace unos cuantos años ni siquiera se pensaban.

La mayoría de las señales que son llevadas por un sistema de televisión por cable, son recibidas por antenas de alta ganancia que --

son soportadas por altas torres, como se muestra en la Fig. 1. Además de la función de proveer la mejor recepción de las señales deseadas, la antena debe ser capaz de discriminar las señales no deseadas dentro de los mismos canales o en canales adyacentes.

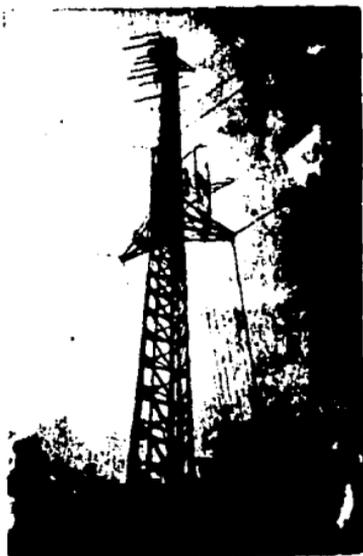


Fig. 1.- Antena para un sistema de televisión por cable.

Las señales de televisión son distribuidas a los suscriptores a través de un cable coaxial, todas las señales serán atenuadas cuando pasen a través del cable, con lo que las más altas frecuencias, sufrirán

rán la mayor atenuación. Para compensar estas pérdidas en la señal, amplificadores como el que se muestra en la Fig. 2. son colocados periódicamente a lo largo del cable. Desafortunadamente cada amplificador introduce un poco de ruido y distorsión, por lo que conforme se usen más amplificadores en cascada, el ruido y la distorsión serán -- acumulativos; como resultado de esto se ha encontrado un límite práctico del número de amplificadores que pueden ser usados y esto va de acuerdo a longitud de cable a ser utilizada.

Los primeros sistemas eran de solo unas cuantas millas de longitud, actualmente los amplificadores modernos han tenido una reducción considerable en el ruido y la distorsión, para así poder dar lugar a sistemas de más de 25 millas de longitud con un poco más de 50 amplificadores colocados en cascada.

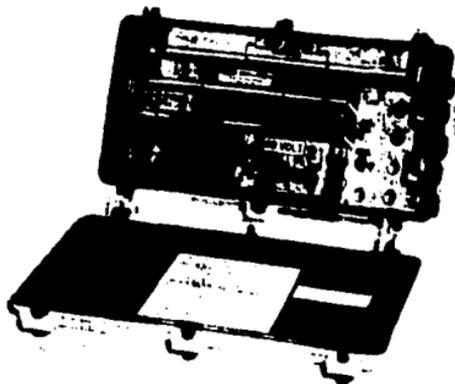


Fig. 2.- Amplificador para un sistema de televisión por cable

En la Fig. 3 se muestra un diagrama de bloque de lo que sería un sistema de televisión por cable simplificado, los símbolos utilizados en este diagrama son los propuestos por la Asociación Nacional de Televisión por Cable (NCTA).

La primera parte de un sistema de televisión por cable es la --- "Central Receptora" que se encarga de captar las señales emitidas por las centrales televisoras por medio de antenas, en esta central las - señales son procesadas para su transmisión a través de la red de cables coaxiales. Este proceso incluye la amplificación, el ajuste de - los niveles visuales la generación de las señales piloto para un control de ganancia automática y la combinación de todas las señales de manera que puedan ser alimentadas por un solo cable; casi invariablemente las señales de ultra alta frecuencia (UHF) son convertidas a se ñales de muy alta frecuencia (VHF) y estas señales se convierten a -- los diferentes canales para así evitar interferencia.

Hay dos formas diferentes de sistemas de procesamiento de señales de uso común: el más simple es el Proceso Heterodino en el cual, las señales son primero convertidas a una frecuencia intermedia baja y de ahí se convierten de nuevo a la frecuencia más alta a la cual son dis tribuidas en el cable. Otra forma más compleja es aquella en la que - el procesador demodula la señal recibida para proveer una señal video ó banda base; después de ajustar los niveles visuales y de audio y la aplicación del control automático de ganancia, la señal de video es - usada para modular una parte de la frecuencia, en la cual la señal va a ser distribuida. En cualquier tipo de procesador se provee un canal separado para cada señal a ser transportado.

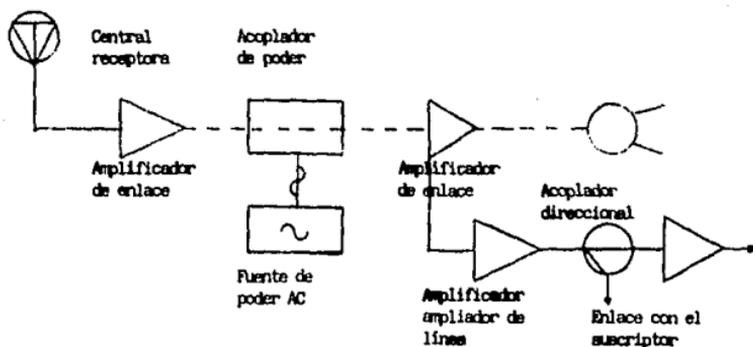


Fig. 3. Diagrama simplificado de un sistema de TV por cable

El último componente de la central receptora es un combinador de señal, este es un aparato que permite que todas las señales sean alimentadas por el mismo cable con un mínimo de interacción entre canales.

La primera sección del cable que deja la central receptora es -- llamado cable de enlace o cable troncal, uno o más de estos cables -- llevan la señal a través de la ruta principal o a las diferentes rutas del sistema, a determinados intervalos son colocados amplificadores de enlace, para compensar la atenuación del cable; la atenuación en un cable coaxial varía con la temperatura, así que es necesario --

que algunos amplificadores tengan circuitos compensadores de temperatura para que la señal conserve un nivel constante.

Las conexiones a los cables de enlace se hacen a través de amplificadores puentes, estos amplificadores tienen la impedancia de entrada alta para no alterar las condiciones de transmisión, y la salida de estos amplificadores alimenta a las líneas de distribución que -- van hacia las calles de los suscriptores. Las líneas de distribución también utilizan cables coaxiales, pero aquí el cable es usualmente -- más pequeño en relación al tamaño del cable de enlace, cuando esta -- parte de la línea es larga, se utilizan amplificadores llamados amplificadores de línea, los cuales mantienen la señal en un nivel satisfactorio.

Cerca de las casas de los suscriptores se conecta un cable terminal directamente a la red de distribución, por lo general el cable -- terminal debe ser flexible.

Dentro de las casas de los suscriptores el cable terminal usualmente se conecta a un transformador de adaptación simétrico - asimétrico que convierte la impedancia desbalanceada de 75 ohms del cable de entrada al sistema de impedancia balanceada de 300 ohms del receptor de televisión. En muchos sistemas el equipo instalado en casa incluye, un convertidor el cual permite la recepción de más de 12 canales VHF.

2.2. Reglas de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC)

La televisión por cable tuvo su comienzo practicamente sin ninguna regulación, en 1962 la FCC inició la regulación y en 1965 se establecieron las reglas para la recepción por microondas, no fué sino -- hasta 1968 cuando la FCC estableció reglas para los sistemas de televisión por cable.

La FCC creó 4 clasificaciones para los sistemas de televisión -- por cable:

Clase I.- Sistemas de cable que llevan canales de televisión con programas usualmente vistos, los cuales pueden ser recibidos directamente por conexión a la estación televisora o por medio de antenas receptoras.

Clase II.- Programas que son llevados por el sistema de cable y que son originados por la misma compañía transmisora de este sistema.

Clase III.- Canales de televisión cuyas señales no pueden ser recibidas por antenas convencionales, estos pueden ser aquellos programas de televisión codificados y que solo pueden ser recibidos por medio de un decodificador.

Clase IV.- Canales que pueden ser transmitidos desde la terminal de uno de los suscriptores a otra parte del sistema.

2.3 Localización de los canales dentro del cable.

Casi todos los sistemas de televisión por cable en la actualidad son capaces de llevar un máximo de 12 canales, operando en la parte - que normalmente ocupan los canales VHF 2 al 13 para poder cumplir con las regulaciones de la FCC, estos sistemas deben extender su capacidad de canales.

Una forma de proveer más de 12 canales es simplemente utilizar 2 cables coaxiales a través del sistema. Los 2 cables serán completamente independientes, cada uno tendrá sus propios amplificadores, en la terminal del suscriptor un switch le permitirá seleccionar uno de los dos cables, cada cual será identificado por un número de canal que -- identifica su frecuencia y por una letra que indicará que cable está transmitiendo la señal.

El sistema de doble cable es usado ampliamente en muchas áreas - para proveer 20 canales, la razón por la que no se utilizan 24 canales es porque en algunas áreas las señales fuertes de estaciones locales pueden causar interferencia.

Otra forma de proveer más de 12 canales es usar un ancho de banda desde un rango de unos cuantos megahertz hasta los 300 megahertz. Cuando se utiliza este sistema los canales son asignados a frecuencias que no son las normalmente utilizadas con frecuencias para la televisión. En la tabla 1 se enumeran las asignaciones de canales más - comúnmente usadas.

Cuando el concepto de superbanda es utilizado, es necesario usar un convertidor que cambie la señal de los canales de banda media y su

Tabla 1.- Designación de los canales en la televisión por cable.

Designación del canal	Frecuencia (MHz)	
Banda Baja:	2	50-60
	3	60-66
	4	66-72
	5	76-82
	6	82-88
Banda Media:	A	120-126
	B	126-132
	C	132-138
	D	138-144
	E	144-150
	F	150-156
	G	156-162
	H	162-168
	I	168-174
Banda Alta:	7	174-180
	8	180-186
	9	186-192
	10	192-198
	11	198-204
	12	204-210
	13	210-216
Super Banda:	J	216-222
	K	222-228
	L	228-234
	M	234-240
	N	240-246
	O	246-252
	P	252-258
	Q	258-264
	R	264-270
	S	270-276
	T	276-282
	U	282-288
V	288-294	

perbanda a canales que pueden ser recibidos regularmente en los aparatos de los suscriptores. Este convertidor se encuentra generalmente junto a la terminal receptora del suscriptor.

Como se puede observar el corazón de cualquier sistema de televisión por cable, es la línea de transmisión de cable coaxial.

CAPITULO III.- Generalidades

3.1. ¿Qué es un cable coaxial?

El propósito de una línea de transmisión es llevar energía eléctrica de un punto a otro con un mínimo de pérdidas, hacer esto a bajas frecuencias, es un trabajo fácil con un arreglo de conductores - del calibre apropiado, pero cuando la frecuencia aumenta, aparecen - nuevas dificultades ya que a frecuencias altas, cualquier cable actúa como una antena, esto es que el cable radiará y recibirá señales; naturalmente que esto es indeseable en un sistema de transmisión, porque reducirá el nivel de la señal e interferirá en otros servicios.

En la Fig. 4 se muestran los campos que se crean alrededor de un conductor que se le aplica una corriente, las líneas de campo eléctrico saldrán radialmente del conductor y las líneas de campo magnético, circularán alrededor de éste.

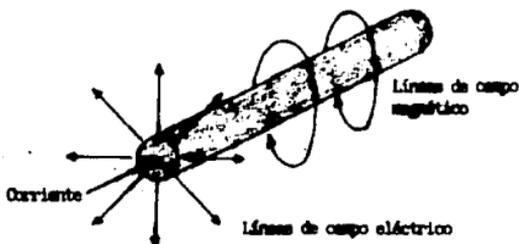


Fig. 4.- Campos que se forman cuando circula una corriente por un conductor.

En un conductor estos campos actúan juntos, causando la radiación de la señal, la primera forma de línea de transmisión que se pensó como solución al problema de la radiación de la señal fué una línea de dos conductores como la que se ejemplifica en la Fig. 5, aunque este tipo de línea no se ha utilizado, nos servirá para ilustrar un aspecto importante de todos los tipos de líneas de transmisión.

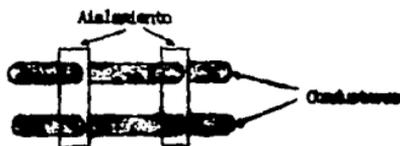


Fig. 5 Línea de transmisión de dos conductores

En la línea de dos conductores la corriente en cualquier punto a lo largo de la línea es igual y de sentido contrario, dando como resultado que los campos eléctricos y magnéticos de cada uno de los conductores sea igual, pero de sentido contrario, como se muestra en la Fig. 6



Fig. 6. Campos eléctricos y magnéticos en una línea de dos conductores.

En la Fig. 7, se muestra como se anulan los campos en un cable coaxial, como la línea que se describió anteriormente, el cable ----- coaxial consiste de dos conductores, pero aquí un conductor está localizado dentro del otro. El conductor interno es un alambre o un reunido de varios alambres, el conductor externo rodea completamente al conductor interno, separados por medio de un dieléctrico y al igual que en el ejemplo anterior, los campos se eliminan permitiendo que la señal no se radíe o tenga interferencias.

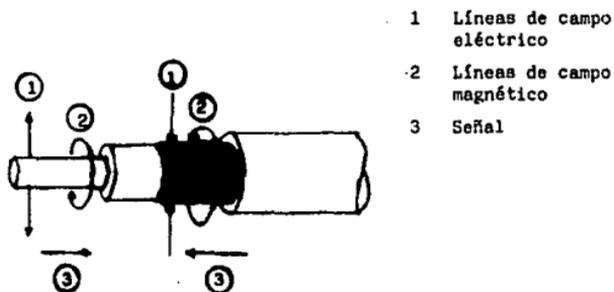


Fig. 7 Campos eléctrico y magnético en un cable coaxial.

3.2 Clasificación de los cables coaxiales por su tipo.

3.2.1. Cables coaxiales RG/U

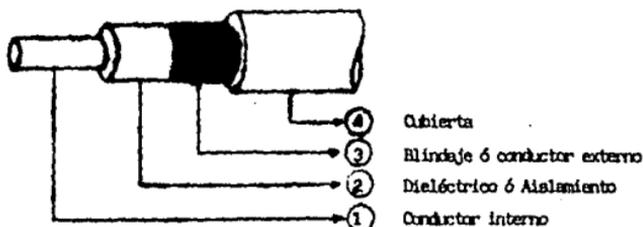
Los cables coaxiales RG, son cables hechos con especificaciones militares del Gobierno de los Estados Unidos, y que se pueden marcar con la leyenda RG, la cual significa:

R = Radio Frequency (Radio Frecuencia)

- G = Government (Gobierno)
B = Número asignado a la aprobación gubernamental.
/U = Especificación Universal

Si las letras A, B, C aparecen antes de (/), esto significa una modificación o revisión de la especificación.

En la Fig. 8 se muestran las partes que constituyen un cable --- coaxial RG/U.



.Fig. 8 Componentes de los cables coaxiales RG/U.

En los cables coaxiales RG/U el dieléctrico es usualmente polietileno sólido, aunque hay un tipo de cables RG conocidos como cables con dieléctrico semisólido, como son el RG 62/U, RG 71/U y RG 63/U, todos estos cables tienen una cosa en común, tienen un conductor central alrededor del cual es espiralado un hilo de polietileno, lo que permite una disminución en la permitividad y reduce la atenuación, sobre el conjunto anterior se aplica un tubo de polietileno, esto se conoce como coaxial con espaciador de aire (Air Spaced Coaxial Cable), el cual se ejemplifica en la Fig. 9

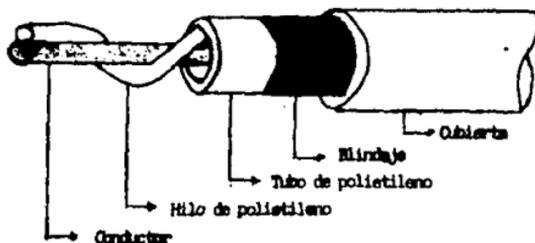


Fig. 9 Cable coaxial con espaciador de aire.

En la tabla 2 se ejemplifican algunas de las características de ciertos cables coaxiales RG /U.

A B R E V I A T U R A S

BC	Cobre Rojo
TC	Cobre Estañado
SC	Cobre Plateado
CWD	Cobre con acero
SC-CWD	Cobre plateado con acero
A-1	Polietileno
F-1	Teflón
II*	PVC no contaminante
V	Malla fibra de vidrio
IX	Etileno Propileno fluorado (FEP)

Cable RG /U	174	316	179	58	223	303	142	59	302	212	304	6	213	214	225	11	144	119	217	226	34	211	218	220
Impedancia Ω	50	50	75	50	50	50	50	75	75	50	50	75	50	50	50	75	75	50	50	50	75	50	50	50
Dieléctrico	A-1	F-1	F-1	A-1	A-1	F-1	F-1	A-1	F-1	A-1	F-1	A-1	A-1	A-1	F-1	A-1	F-1	F-1	A-1	F-1	A-1	F-1	A-1	A-1
Conductor Int. |in|	0.189	0.020	0.012	0.0355	0.036	0.039	0.039	0.0226	0.0253	0.0556	0.059	0.0285	0.0888	0.0888	0.0936	0.0477	0.0637	0.1019	0.106	0.1265	0.0747	0.190	0.195	0.260
Nº de alambres/material	7/OMD	7/SC-OMD	7/SC-OMD	19/TC	1/SC	1/SC-OMD	1/SC-OMD	1/OMD	1/SC-OMD	1/SC	1/SC-OMD	1/OMD	7/BC	7/SC	7/SC	7/TC	7/SC-OMD	1/BC	1/BC	19/SC	7/BC	1/BC	1/BC	1/BC
Conductor ext |in|	0.088	0.081	0.084	0.150	0.176	0.146	0.171	0.191	0.176	0.265	0.250	0.264	0.340	0.300	0.360	0.340	0.330	0.414	0.463	0.440	0.535	0.670	0.760	0.990
Nº de mallas/material	1/TC	1/SC	1/SC	1/TC	2/SC	1/SC	2/SC	1/SC	1/SC	2/SC	2/SC	1/SC; 1/BC	1/BC	2/SC	2/SC	1/BC	1/SC	2/BC	2/BC	2/BC	1/BC	1/BC	1/BC	1/BC
Diámetro total	0.100	0.102	0.100	0.195	0.216	0.170	0.195	0.242	0.206	0.332	0.280	0.332	0.405	0.425	0.430	0.405	0.410	0.465	0.545	0.500	0.630	0.730	0.870	1.120
Tipo de cubierta	II*	IX	IX	III*	III*	IX	IX	III*	IX	II*	IX	II*	II*	II*	V	II*	V	V	II*	V	II*	V	II*	II*
Peso lb/100 Ft	0.8	1.22	1.08	3.2	3.6	3.0	4.3	3.2	3.2	9.3	8.9	8.2	12.0	15.8	17.6	9.6	12.0	22.9	23.6	24.7	23.1	45.0	49.1	74.5
Capacitancia pF/ft	30.0	29.0	20.0	28.5	28.5	28.5	28.5	21.0	21.0	28.5	28.5	20.0	29.5	29.5	29.5	20.5	20.5	29.0	29.5	29.5	21.5	29.5	29.5	29.5
Frecuencia corte GHz	50	50	50	25	25	25	25	23	23	15	15	15	12	12	12	12	12	10	9.0	9.0	8.0	6.0	5.0	4.0
Corona KV RSG	1.5	1.2	1.2	1.9	1.9	1.9	1.9	2.3	2.3	3.0	3.0	2.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0	7.0	7.0	6.5	7.0	11.0	14.0
Voltaje disruptivo KV	4.5	2.0	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	12.0	12.0	12.0	15.0	10.0	22.0	30.0

Tabla 2. Cables coaxiales RG/U.

3.2.2. Cables Coaxiales CATV

Con el nombre de CATV (Community Antenna Television) se desarrollaron hace algunos años en los Estados Unidos, sistemas que mediante redes de cables conectados a una antena elevada llevan señales de televisión a hogares localizados en zonas lejanas o de pobre recepción.

Los cables coaxiales CATV son hechos con especificaciones de IEC 96 (International Electrotechnical Commission), y especificaciones propias del fabricante.

En la Fig. 10, se muestran las partes que constituyen un cable coaxial CATV.

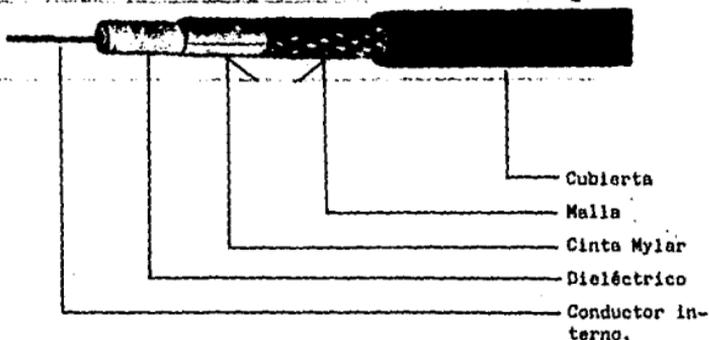


Fig. 10 Componentes de un cable coaxial CATV

Las diferencias principales entre un cable coaxial RG/U y CATV, son que en cable coaxial CATV el dieléctrico es polietileno celular y además lleva una cinta de aluminio entre el dieléctrico y la malla -

trenzada, estas dos diferencias hacen que el cable coaxial CATV tenga menores pérdidas que el cable RG.

En la tabla 3 se muestran las características de los cables CATV 6/U y 59/U.

Cable Tipo	Impedancia Ω	Capacitancia PF/Pie	Material Dieléctrico	Diámetro Conductor	Cubierta	Diámetro Total
CATV 6/U	75	16	P6,celular	0.037"	PVC	0.276"
CATV 59/U	75	16	P6,celular	0.032"	PVC	0.244"

Tabla 3.- Características de los cables coaxiales CATV

3.2.2.1. Cables coaxiales CATV con cubierta de aluminio

Otra modalidad de los cables coaxiales CATV, son los cables coaxiales CATV con cubierta de aluminio, en la Fig. 11^a se muestra la construcción típica del cable que más se ha utilizado en las redes troncales, y en los ramales de distribución de los sistemas de CATV. Este cable consta de un conductor central de cobre y un aislamiento de polietileno celular y una cubierta formada por un tubo de aluminio que sirve a la vez como segundo conductor. Para instalaciones subterráneas se suele proteger al tubo de aluminio, mediante una cubierta adicional de polietileno, como se puede apreciar en la Fig. 11b.

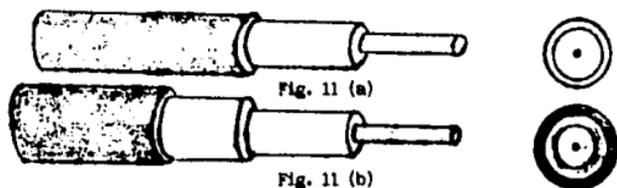


Fig. 11a y 11b Cables coaxiales con cubierta de aluminio

En la tabla 4 se proporcionan datos dimensionales y eléctricos - de los cables normalizados para troncales (designaciones 750 y 500) y para distribución (designación 412).

Cable Tipo	Impedancia Ω	Capacitancia PF/Pie	Material Dieléct.	Diámetro Conductor	Diámetro Dieléct.	Diámetro Cobre Aluminio	Cubierta (Opcional)	Diámetro Total
412	75	16	P6.celular	0.075"	0.360"	0.412"	Poli-etileno	0.480"
500	75	16	P6.celular	0.098"	0.450"	0.500"	Poli-etileno	0.580"
750	75	16	P6.celular	0.147"	0.675"	0.750"	Poli-etileno	0.850"

Tabla 4. Principales características de los cables coaxiales con cubierta de aluminio.

3.2.2.2. Cables coaxiales CATV tipo Sealmetic.

Una interesante variante en la construcción de los cables coaxiales descritos anteriormente, es la conocida con el nombre de Sealmetic. El cable es similar al descrito en el inciso anterior, lleva una cubierta de polietileno negro pero, para darle mayor flexibilidad, el tubo de aluminio se ha substituído por una delgada cinta de aluminio, aplicada longitudinalmente c/trasape, sobre el aislamiento, la cinta de aluminio va laminada junto con una de polietileno que por calor se fusiona al polietileno de la cubierta exterior para dar al cable máxima impermeabilidad. En la Fig. 12 se ilustra este tipo de cable y en la tabla 5 se proporcionan datos dimensionales y eléctricos.

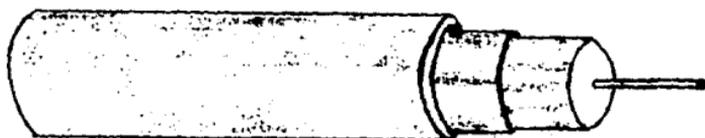


Fig. 12 Cable coaxial tipo sealmetic.

Cable Tipo	Impedancia Ω	Capacitancia PF/Pie	Material Dieléct.	Diámetro Conductor	Diámetro Dieléct.	Cubierta	Diámetro Total
412	75	16	P6.celular	0.075"	0.360"	Polietileno	0.465"
500	75	16	P6.celular	0.098"	0.450"	Polietileno	0.565"
750	75	16	P6.celular	0.147"	0.675"	Polietileno	0.820"

Tabla 5. Características de los cables coaxiales CATV Sealmetic

3.3. Clasificación de los cables coaxiales por sus características físicas de diseño.

3.3.1. Cables flexibles con dieléctrico sólido y con malla trenzada como conductor externo.

En este tipo de cables su tamaño varía en un rango de 0.100" a 1.500" de diámetro final y son usados en aplicaciones que requieren gran flexibilidad.

El conductor interno puede ser sólido o un reunido de varios --- alambres de cobre, o aleación de cobre con acero, el dieléctrico utilizado puede ser polietileno o teflón, el conductor externo es una -- malla trenzada que puede estar constituida de alambres de cobre ó cobre estañado, y que por lo general da un 80% a 90% de cubrimiento, la cubierta de estos cables es constituida por lo general de PVC, aunque también se utiliza polietileno o teflón, por lo general estos cables son del tipo RG/U, como los que se describieron en el inciso 3.2.1.

3.3.2. Cables coaxiales semirígidos.

Estos cables tienen un dieléctrico aereoespaciado y un conductor externo sólido tubular, y además tiene una mejor atenuación y su efectividad de blindaje es superior en comparación con los cables coaxiales flexibles.

El conductor interno es cobre sólido, el dieléctrico aereoespaciado está disponible en varios diseños como los que se muestran en - la Fig. 13, los materiales utilizados para este tipo de dieléctrico - son polietileno, poliestireno o teflón, el conductor externo de forma

tubular puede ser liso o corrugado de aluminio o cobre con aleación de acero, en la cubierta por lo general se utiliza polietileno. En la tabla 6 se dan características físicas y eléctricas de los tipos más comunes de cables coaxiales semirígidos.

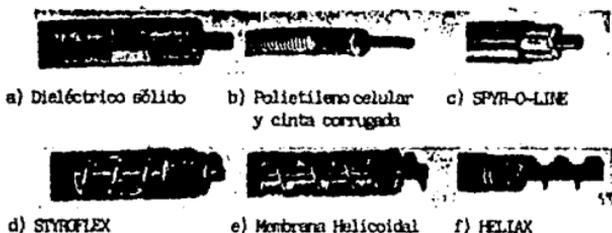


Fig. 13 Tipos de coaxiales semirígidos.

3.3.3. Cables coaxiales rígidos

Este tipo de cables están constituidos por un conductor interno tubular de cobre sólido, con aire como dieléctrico, por lo que el conductor interno es soportado por una serie de capas de material dieléctrico, estas capas son hechas generalmente de teflón o poliestireno, y son para uso en altas frecuencias, donde la capa es una apreciable fracción de la longitud de onda, en la Fig. 14 se ilustran construcciones típicas de este tipo de capas y en la tabla 7 se dan características físicas y eléctricas de cables coaxiales rígidos.

RU / U	.....	369	.....	257	253	395 t	.....	245	.....	.....	232	254	318	.....	247	.....	.....	.....	233	258	319	.....	269	.....	.....	234	251	322	251
Impedancia Z_0	50	50	50	50	50	50	50	75	75	75	50	50	50	50	75	75	75	75	50	50	50	50	75	75	75	50	50	50	50	75
Tipo Comercial	SF	SOL	H	SF	SOL	H	HM	SF	SOL	HM	SF	SOL	H	HM	SF	SOL	HM	H	SF	SOL	H	HM	SF	SOL	HM	SF	SOL	H	SF	
Capacitancia pF/pie	24	24	23	24	24	24	25	21	14.7	15	14	22.5	24	22.2	21	14.7	15	14	15.1	22.4	24	22.1	21	14.7	15	14	22	24	22.7	14.7
Velocidad %	91	85.5	80.5	86.5	86.5	85	96	80.5	86.5	96	90	85.5	91.6	96	80.7	86.5	96	90	90.3	85.5	92.1	96	80.9	86.5	96	92	83.5	93.3	92	
Frecuencia corte GHz	14	12	10	10	10	10	10	11	11	11	11	5.5	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.3	3.3	3.3	1.5	1.5	1.5	1.5
Voltaje RMS RV	2.2	2.2	2.2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	10	10	10	10
Conductor interno Diámetro [in]	0.112	0.117	0.162	0.167	0.165	0.153	0.176	0.102	0.098	0.115	0.300	0.311	0.368	0.318	0.189	0.151	0.206	0.220	0.591	0.606	0.713	0.618	0.774	0.772	0.400	1.157	1.219	1.140	0.732	
Conductor externo ID [in]	0.298	0.318	0.359*	0.421	0.456	0.421*	0.421	0.421	0.456	0.421	0.758	0.833	0.799*	0.798	0.758	0.833	0.759	0.774*	1.472	1.622	1.540*	1.472	1.472	1.622	1.472	2.860	3.090	2.500	2.860	
Conductor externo OD [in]	0.375	0.390	0.500*	0.500	0.530	0.499	0.500	0.500	0.530	0.500	0.975	0.953	1.035*	0.875	0.875	0.953	0.875	1.035*	1.625	1.786	1.830*	1.625	1.625	1.786	1.625	3.125	3.370	2.850	3.125	
Diámetro cubierta [in]	0.425	0.450	0.620	0.575	0.615	.....	0.575	0.575	0.630	0.575	0.960	1.093	1.115	0.960	0.960	1.093	0.960	1.115	1.770	1.930	2.000	1.770	1.735	1.936	1.750	3.275	3.510	3.000	3.275
Notch de doblado [in]	4	4	5	5	5	2.5	6	5	5	6	10	10	10	11	10	10	11	10	25	25	20	20	25	25	20	50	60	30	50	
Peso lb/100 Ft	140	140	250	209	225	.....	215	165	225	160	578	666	500	410	430	500	370	430	1,034	1,390	1,315	905	1,056	1,390	800	3,160	3,300	1,700	2,860

Tabla 6 Características de cables coaxiales semirígidos

TIPO COMERCIAL
SF : STYROFLEX
SOL: SPIR-O-LINE
H : HELIAX
HM : MEMBRANA HELICOIDAL

Generalmente una línea que utilice cables coaxiales rígidos va a ser utilizada, como un sistema de guía de onda esto se hace debido a que este tipo de cables tienen pérdidas bajas y para comunicación en sistemas de moderada potencia ya que son más pequeños que los guidores de onda convencionales.

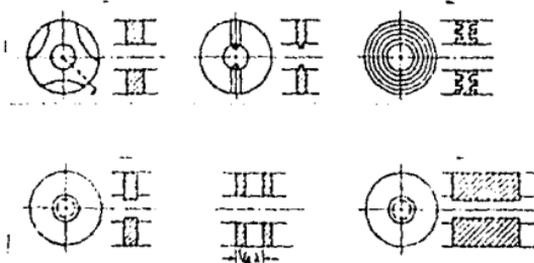


Fig. 14 Diseños típicos para soporte de los conductores internos en cables coaxiales rígidos para líneas aéreas.

RG /U	151	155	153	154	152	
Conductor Interno ID [in]		0.291	0.588	1.231	2.520	3.740
Conductor Interno OD [in]	0.125	0.341	0.644	1.351	2.600	3.880
Conductor Externo ID [in]	0.285	0.785	1.527	3.027	5.981	8.600
Conductor Externo OD [in]	0.375	0.875	1.625	3.125	6.125	9.000
Peso lb/20 ft	4	12	25	55	136	310
Voltaje RMS KV	0.5	4.0	8.0	15.0	30.0	50.0 pk
Pérdidas db/100 ft	15.0 (10 GHz)	2.20 (2 GHz)	1.00 (2 GHz)	0.33 (0.8 GHz)	0.14 (0.5 GHz)	

Tabla 7. Características de los cables coaxiales rígidos con impedancia característica de 50 ohms.

3.3.4. Coaxiales especiales

En este grupo se encuentran los cables biaxiales: "Twin y Dual", este tipo de cables consisten en conductores aislados individualmente, torcidos y sobre los cuales se extruye un relleno sobre el cual - se trenza una malla y por último se le aplica una cubierta protectora, como se puede apreciar en la Fig. 15



Fig. 15 Ejemplos de cables coaxiales "Twin y Dual"

Los cables coaxiales Twin y Dual son usados en aplicaciones de recepción de antenas, en las cuales el balance de la capacitancia es un parámetro de importancia y también en la modulación de pulsos.

La impedancia óptima de 95 Ohms ha sido normalizada para los cables Twin y Dual, en la tabla 8 se muestran las características físicas y eléctricas de este tipo de cables.

CONSTRUCCION	TWIN			DUAL	
	22	108	130	23	181
RG /U	22	108	130	23	181
MIL C 17	15	45	56	16	104
Impedancia Ω	95	78	95	125	125
Capacitancia C ₁₂ PF/ft	16	24.5	17	12	12
Desbalanceo Capacitancia %	5	.....	5	.....	3
Desbalanceo Transmisión %	10	.....	10	2	5
Voltaje KV RMS	2	2	10	14.5	13.0
Atenuación dB/100 ft 400 Mhz	10.5	.....	8.8	5.21	6.01
Alambre conductor interno |in|	0.0456	0.0378	0.0855	0.0855	0.048
Nº Alambre/Material	7/BC	7/TC	7/BC	7/BC	7/BC
Diámetro del núcleo	0.285	TP	0.472	Oval	TP
Conductor Externo |in|	0.355	0.177	0.540	0.407 X 0.826	0.555
Nº de Mallas/materiales	2/TC	1/TC	1/TC	2/BC	2/BC
Diámetro sobre cubierta	0.420	0.235	0.625	0.650 X 0.945	0.640
Peso lb/100 ft	12	.....	22	49	
BC : Cobre Rojo	TC: Cobre estañado		TP: Par Torcido		

Tabla 8. Características de los cables coaxiales "Twin y Dual"

Otro tipo de cables coaxiales especiales son los cables "Pulso" que son utilizados en sistemas de radar, que llevan un tipo de moduladores de línea que requieren cables pulso para transmitir pulsos de alto voltaje en corriente directa los cuales son usados para modular un magnetrón de microondas, estos pulsos tienen picos que van desde los 6 hasta los 30 Kv, esto impone requerimientos más estrictos con respecto al nivel corona, blindaje, eficiencia y atenuación a baja -- frecuencia.

En los sistemas actuales se han seleccionado los niveles de impedancia que se muestran en la tabla 9, como los óptimos para la operación en los moduladores de línea.

Impedancia del cable	50	25	12.5
Rango de voltaje a picos KV	10		
	15	15	15
	20	20	20
	--	--	30

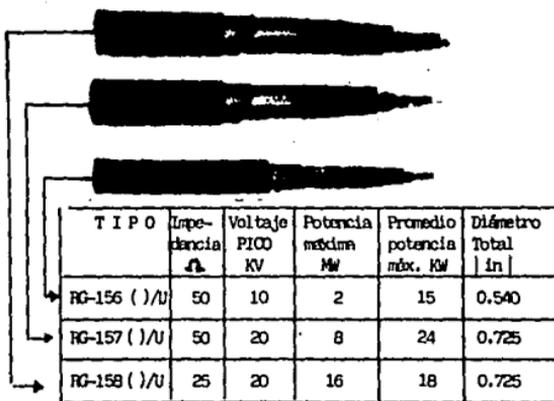
Tabla 9. Rangos preferidos para Cables Pulso

Los cables pulso han sido clasificados en 3 categorías:

Grupo I. Aquí se encuentra el cable coaxial de tipo convencional, con un compuesto aislante de hule resistente al ozono con separadores de material conductivo de 0.015" a 0.020" entre el dieléctrico y el conductor central, y también cuando es aplicable estos separadores se colocan entre el dieléctrico y el conductor externo.

Grupo II. Aquí se encuentran los cables de construcción triaxial con polietileno como dieléctrico, separador y cubierta de vinyl, como los que se muestran en la Fig. 16

En la tabla 10 se muestran las características de los grupos I y II.



T I P O	Impe- dancia Z_0	Voltaje PICO KV	Potencia máxima Mw	Promedio potencia máx. Kw	Díámetro Total in
RG-156 ()/U	50	10	2	15	0.540
RG-157 ()/U	50	20	8	24	0.725
RG-158 ()/U	25	20	16	18	0.725

Fig. 16 Cables triaxiales para pulsos

RG /U	25	26	27	28	64	156	157	158	328	329
MIL C 17	19	21	22	23	33	101	102	103	124	125
NATO or NMR	....	....	....	....	....	26	27	....	29	28
Impedancia Ω	48	48	48	48	48	50	50	25	25	125
Capacitancia PF/Pie	50	50	50	50	50	30	38	78		
Voltaje RMS Corona KV	10	10	15	15	10	10	15	15	20	15
Voltaje RMS	12	12	18	18	12	20	30	25	25	18
Atenuci3n M3x DB/100 Ft a 1 MHz	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.21	0.19	0.2	0.5	0.4
Conductor interior |in|	0.0588	0.0588	0.0925	0.0925	0.586	0.0855	0.1005	0.1995	0.485	0.0585
Nº Alambros/materiales	19/TC	19/TC	19/TC	19/TC	19/TC	7/TC	19/TC	37/TC	1/TC*	19/TC
Diel3ctrico ϕ |in|	0.288	0.288	0.455	0.455	0.288	0.285	0.455	0.455	1.065	0.380
Material	HJQ	HJQ	HJH	HJH	HJQ	AH	HWH	HWH	HJH	HJH
Conductor exterior |in|	0.318	0.330	0.500	0.485	0.308	0.373	0.540	0.540	1.165	0.480
Nº de mallas / material	1/BC	1/TC	1/TC	1/TC	1/TC	1/TC 1/GS	1/TC 1/GS	1/TC 1/GS	1/TC 1/GS	1/TC 1/GS
Separador |in|	0.353	.....	.....	0.515	.....	0.413+	0.580+	0.580+	1.205	0.525
Material	C	.....	.....	R	.....	A	A	A	KL	KL
Malla |in|	0.398	.....	.....	0.585	.....	0.448	0.615	0.615	1.275	0.590
Material	TC	.....	.....	GS	.....	TC	TC	TC	TC	TC
Protector |in|	0.505	0.505	0.670	0.735	0.475	0.540	0.725	0.725	1.460	0.700
Material	IV	Armor	Armor	IV	IV	IIa	IIa	IIa	VIII	VIII
Peso lb/100 ft	20	19	30	37	20	21	32	38		

Tabla 10. Características de los cables pulso Grupos I y II.

A	Poliétileno	C	Malla de algodón
H	Separador conductivo	R	Cinta de hule
J	Aislamiento sintético de Hule	K	Cinta Mylar
Q	Separador aislante	L	Cinta de Silicón
BC	Cobre rojo	IIa	PVC no contaminante
TC	Cobre estañado	IV	Cloropreno
GS	Acero galvanizado	VIII	Policloropreno

Grupo III.- Este grupo se compone de cables triaxiales con cinta mylar o con una cinta de silicón, como separador, utilizadas en cables que trabajan en picos de voltaje que van desde 8 hasta los 50 MW, si se requiere usar el cable en picos de voltaje mucho más altos que el anterior, se colocan dieléctricos de butilo o hule silicón para que los conductores internos puedan resistir temperaturas de 125° C y 150° C respectivamente. Si se requiere flexibilidad se utilizan conductores internos, en la Fig. 17 se muestran algunos cables pulso --- triaxiales de alta potencia



RG-194/U	RG-193/U	RG-192/U	RG-191/U	RG-190/U	
12.5	12.5	12.5	25	50	Impedancia Ω
30	30	20	20	25	Voltaje pico de operac. KV
80	80	32	16	12.5	Pico de potencia MW
2.00	2.10	2.20	1.46	0.70	Diámetro Total

Fig. 17 Cables triaxiales para alta potencia

3.3.5. Cables coaxiales para propósitos especiales.

Algunas veces es deseable acentuar ciertos parámetros de un cable, que le brindarán características especiales, como es el caso de los cables que a continuación se describen:

- Cables de baja capacitancia: La capacitancia de los cables de dieléctrico sólido varía inversamente con respecto a su impedancia, por lo que se tienen cables de 21 y 29 pf/pie para 75 y 50 Ohms respectivamente. Una capacitancia más baja es deseable en sistemas de alta impedancia, para lograr una baja capacitancia se utilizan conductores internos muy delgados ó dieléctricos aero-espaciados o una combinación de estos dos cuando se requiere; el conductor central es soportado por una espiral de dieléctrico, de aquí se aplica un tubo de material dieléctrico para que soporte a la malla y a la cubierta, en la tabla 11 se dan características físicas y eléctricas de este tipo de cables.

RG /U	62	63	114	125	210*
MIL C - 17	30	31	47		
NATO no NMR	12	4			
Capacitancia FF/ft	14.5	11.0	6.8	7.8	14.5
Impedancia OHMS	93	125	185	150	95
Conductor Interno | in |	0.0253	0.0253	0.007	0.0159	0.0253
Dieléctrico Ø | in |	0.146	0.285	0.285	0.460	0.146
Material	A-3	A-3	A-3	A-3	F-3
Diámetro Total	0.242	0.405	0.405	0.600	0.242

Tabla 11. Características de cables coaxiales de baja capacitancia.

- Cables coaxiales retardadores: Este tipo de cables son utilizados en circuitos de tiempo en computadores, transmisión de datos, televisión de color y aplicaciones de laboratorio. Tienen una impedancia alta debido a su incremento en la inductancia en serie de su conductor interno, lo que da como resultado características de fase y atenuación que lo aproximan a un filtro, estos parámetros son comparativamente constantes hasta que la frecuencia de corte es alcanzada, arriba de la cual la atenuación aumenta.

El conductor central de estos cables, consiste en un alambre fino espiralado alrededor de un núcleo de polietileno, esto es seguido por una cinta o capa delgada de dieléctrico, el espesor de esta define la capacitancia, sobre esta capa se trenza el conductor exterior y por último la cubierta protectora. Para poder mejorar el tiempo de retraso por unidad de longitud, la permeabilidad del núcleo es incrementada con la incorporación de finos materiales magnéticos.

Este tipo de cables son disponibles en forma limitada debido a su uso especializado y a su dificultad en su manufactura, en la tabla 12 se muestran características físicas y eléctricas de estos cables.

3.4. Clasificación de los cables coaxiales por su impedancia característica.

Debido a que las dimensiones y materiales que se utilizan en la construcción de cables coaxiales influyen en su impedancia, pérdidas y potencia a manejar, se han tratado de optimizar para propósitos específicos con los siguientes valores de impedancia (Z_0): 50 Ω , 75 Ω y 93 Ω .

- La impedancia de 50 ohms ha sido seleccionada entre los valores óptimos de manejo de potencia (30 Ω) y de baja atenuación (75 Ω). Este tipo de cables son utilizados en sistemas de radio frecuencia, equipos de prueba, cables para impulsos y cables para frecuencias de microondas.

- Los cables coaxiales con una impedancia característica de 75 ohms son diseñados para tener bajas pérdidas, para aplicaciones en longitudes grandes y con baja potencia, transmisión de datos y en los sistemas CATV. Su principal característica es su baja atenuación.

- Los cables coaxiales con impedancia característica de 93 ohms tienen una capacitancia baja y son utilizados en aplicaciones de alta impedancia, instrumentos de prueba y antenas para auto, una variante de este tipo de cables son los cables coaxiales "Twin y Dual" los cuales tienen una impedancia de 125 Ω y 95 Ω , este tipo de cables se utilizan en la transmisión de datos.

CAPITULO IV.- Parámetros Eléctricos

4.1. Características Eléctricas:

Un cable coaxial es la forma más común de una línea de transmisión de dos conductores, en el cual solo hay dos componentes principales en su dieléctrico, que son: un campo eléctrico radial E_R , y un campo concéntrico magnético H_θ . El modo electromagnético transversal, se propaga en un cable coaxial y es caracterizado por el vector E_r , siendo perpendicular y estando en el mismo plano del vector H_θ . La dirección de propagación es perpendicular al plano de los vectores E_R , y H_θ , aunque los parámetros significativos (Impedancia Z_0 , y la constante de propagación β) pueden obtenerse de una solución de las ecuaciones de campo de Maxwell, los parámetros de transmisión para un cable coaxial pueden obtenerse también directamente a partir de sus parámetros distribuidos R , L , C , y G , por unidad de longitud, -- los cuales pueden ser dados en términos de sus dimensiones físicas y características eléctricas, en la Fig 18, se ejemplificará la sección transversal de un cable coaxial y sus parámetros eléctricos.

En el diseño y selección de cables coaxiales se deben tener en cuenta las siguientes características eléctricas, esto es con el fin de entregar una señal de alta frecuencia con la mínima atenuación y distorsión:

- Capacitancia
- Inductancia
- Impedancia característica
- Velocidad de propagación
- Efecto piel
- Resistencia

Atenuación

V_{swr}, factor de reflexión y pérdidas por retorno

Efectividad del blindaje

Frecuencia de corte

Gradiente eléctrico

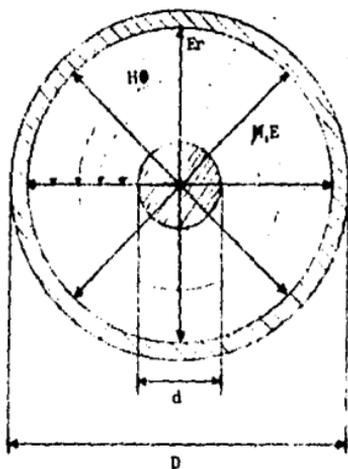


Fig. 18 Área transversal de un cable coaxial y sus parámetros eléctricos referidos a su geometría.

4.1.1. Capacitancia:

Las características capacitivas son de fundamental importancia en una línea de transmisión de cables coaxiales que se apliquen en radio frecuencia. Generalmente se desea tener la capacitancia, la cual se define como la propiedad de un sistema de conductores y dieléctricos, que permiten el almacenamiento de energía eléctrica, cuando los conductores están a diferentes potenciales.

A continuación se muestra la deducción de la fórmula utilizada para calcular la capacitancia en cables coaxiales:

Partiendo de la expresión de la densidad de campo eléctrico (D) en un radio X, como se ejemplifica en la Fig 19



$$D_x = \frac{q}{2\pi x} \quad (\text{Coulomb/m}^2)$$

Donde: q = Carga en el espacio

Fig 19. Parámetros para la deducción de la capacitancia.

La intensidad de campo eléctrico en el radio X es:

$$E_x = \frac{D_x}{E_0 E_r} = \frac{q}{2\pi x E_0 E_r}$$

Donde: E_0 = Permitividad del espacio libre = 8.85×10^{-12} F/m

E_r = Permitividad del aislamiento ó constante dieléctrica.

El trabajo hecho al mover una carga positiva en una distancia dx en un campo eléctrico viene dado por:

$$dV = - E dx$$

Entonces el trabajo hecho en el movimiento de una carga desde la superficie del conductor a la superficie exterior del dieléctrico está dado por:

$$V = \int_R^r -E dx$$

$$= \frac{-q}{2\pi E_0 E_r} \int_R^r \frac{dx}{x} = \frac{q}{2\pi E_0 E_r} \ln \frac{R}{r} \quad [V]$$

La capacitancia de el cable por metro viene dada por:

$$C = \frac{q}{v}$$

$$C = \frac{2\pi E_0 E_r}{\ln(R/r)} \quad [F/m]$$

Si: $\ln x = 2.7183 \log x$

Y $1m = 3.2809 \text{ ft}$

Tenemos:
$$C = \frac{2\pi (8.85 \times 10^{-12}) E_r}{(2.7183 \log R/r)(3.2804)(1 \times 10^{-12})} = \frac{7.36 E_r}{\log R/r} \quad [PF/Pie]$$

Sustituyendo $R = D/2$ y $r = d/2$

Obtenemos la expresión que se utiliza para calcular la capacitancia de cables coaxiales.

$$C = \frac{7.36 E_r}{\log D/d} \quad [pF/Pie] \quad \dots (1)$$

Donde: $C = \text{Capacitancia} \quad [pF/Pie]$

$D = \text{Diámetro sobre aislamiento} \quad [plg]$

d = Diámetro del conductor [plg]

ϵ_r = Permitividad ó constante dieléctrica.

4.1.2. Inductancia

Cuando en un conductor circula una corriente de magnitud variable con el tiempo, se crea un flujo magnético variable el cual se enlaza con los demás conductores que forman el circuito. (en los que también circulan corrientes de naturaleza análoga).

Al fenómeno resultante se le conoce como "Inductancia" la cual en cable coaxial se deduce a partir de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{\lambda}{i}$$

En un cable coaxial se pueden dividir las concatenaciones de -- flujo (λ) en dos partes: una parte debida a ϕ_1 , flujo exterior al conductor interno, y otra ϕ_2 que es interior al conductor interno, - por lo que podemos escribir:

$$\lambda = N_1 \phi_1 + N_2 \phi_2$$

en este caso N_1 y N_2 son iguales a 1 entonces tenemos:

$$\lambda = \phi_1 + \phi_2$$

de donde:

$$L = \frac{\phi_1 + \phi_2}{i}$$

el flujo: ϕ_1 , vale, basándonos en la figura 19

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \int_r^R B da = \int_r^R \frac{\mu i}{2\pi r} l dx = \frac{\mu i l}{2\pi} \int_r^R \frac{dx}{x} = \frac{\mu i l}{2\pi} \left[\ln x \right]_r^R \\ &= \frac{\mu i l}{2\pi} [\ln R - \ln r] = \frac{\mu i l}{2\pi} \ln \frac{R}{r} \end{aligned}$$

por lo que : $\phi_1 = \frac{M i l}{2 \pi} \ln \frac{R}{r}$

el flujo ϕ_2 se calcula a partir de: $B = \frac{M i r}{2 \pi d^2}$

y $\phi_2 = \int_0^r \left(\frac{\pi x^2}{\pi d^2} \right) B dx$

por lo que:

$$\phi_2 = \int_0^r \frac{x^2}{d^2} \left(\frac{M i x}{2 \pi d^2} \right) dx = \frac{M i l}{2 \pi d^4} \int_0^r x^3 dx$$

$$\phi_2 = \frac{M i l}{2 \pi d^4} \left(\frac{x^4}{4} \right) \Big|_0^r = \frac{M i l r^4}{8 \pi d^4}$$

de aquí

$$L = \frac{\frac{M i l}{2 \pi} \ln \frac{R}{r} + \frac{M i l}{8 \pi} \frac{r^4}{d^4}}{i} \quad \text{si } R = D/2 \text{ y } r = d/2$$

$$L = \frac{\frac{M i l}{2 \pi} \ln \frac{D}{d} + \frac{M i l}{8 \pi} \left(\frac{1}{16} \right)}{i}$$

$$\frac{L}{i} = \frac{M}{2 \pi} \ln \frac{D}{d} + \frac{M}{8 \pi} \frac{1}{16} \text{ [H/metro]}$$

en esta ecuación $\frac{M}{\mu} = k \psi$ es la constante de permeabilidad y efecto piel, la cual es practicamente cero a radiofrecuencia, por lo que la ecuación anterior se reduce a:

$$L = \frac{M}{2 \pi} \ln \frac{D}{d} \text{ [H/metro]}$$

y sustituyendo: $M = 4 \pi \times 10^{-7}$
 $\gamma \ln = 2.7183 \log$

$$\text{tenemos: } L = \frac{(4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m}) (2.7183 \log \frac{D}{d}) \left(\frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ Ft}} \right)}{2 \pi \left(\frac{1 \times 10^{-6} \text{ H}}{1 \text{ MH}} \right)}$$

por último: $L = 0.140 \log \frac{D}{d} \text{ [MH/Ft]} \quad (2)$

donde: D = Diámetro sobre aislamiento [plg]

d = Diámetro del conductor [plg]

4.1.3. Impedancia característica:

En los circuitos de corriente directa, estamos acostumbrados a considerar los circuitos en una forma ideal sin resistencia ó reactancia. En las señales de corriente alterna cuando la longitud de la línea es mayor que un décimo de la longitud de onda con respecto a la frecuencia más alta, no podemos ignorar las propiedades de la línea. En efecto, tal línea es muy parecida eléctricamente a un circuito complejo, aunque también podemos tener idea de un circuito equivalente considerando las propiedades físicas de la línea en sí misma.

Cada uno de los conductores de un cable coaxial tiene una longitud de onda, así que este tendrá una cantidad significativa de inductancia, debido a que los conductores están aislados uno del otro, pero se encuentran muy juntos, la línea también tendrá capacitancia. - Para conocer eléctricamente una línea coaxial diremos que no tendrá pérdidas, esta línea se ilustra en la figura 20.

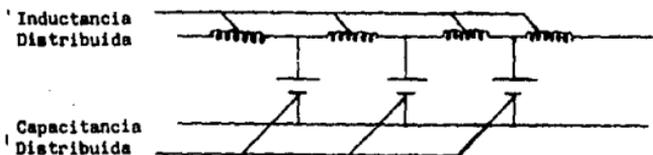


Figura 20. Circuito equivalente de una línea coaxial.

Una forma fácil de ver como la inductancia y la capacitancia de una línea coaxial influyen en el comportamiento eléctrico de la línea, es considerando una línea infinitamente larga, claro que no existe - una línea infinitamente larga pero este concepto aclarará varias propiedades de la línea, en la Figura 21 se muestra una línea infinita conectada a una fuente de voltaje, la línea por sí misma tiene un número infinito de capacitores conectados a un número infinito de inductancias, hay dos propiedades de las capacitancias que son usualmente estudiadas en líneas de transmisión.

- a) El voltaje a través de un capacitor no puede cambiar instantáneamente, este depende de la carga que se le aplique, así que si un capacitor es conectado a un circuito, esto parecerá como un corto circuito en el primer instante hasta que - haya tenido tiempo de tomar la carga.

- b) La corriente de una inductancia no puede cambiar instantáneamente, cualquier cambio de corriente se ve opuesto por una fuerza electromotriz (emf) producida por un campo electromagnético asociado con la inductancia, así que si una inductancia es conectada repentinamente a un circuito, esto hará que el circuito parezca de inicio un circuito abierto después de que se ha cerrado el circuito.

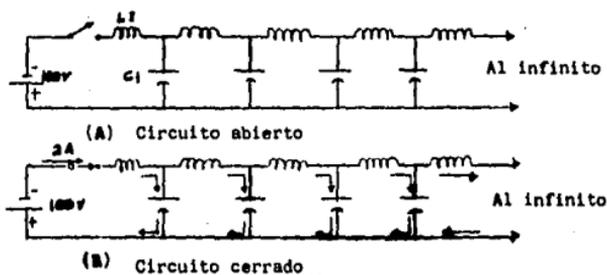
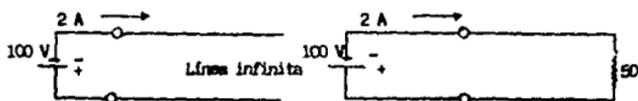


Fig. 21 Corriente en una línea finita

Ahora regresando a nuestra línea infinitamente larga de la Fig. 21, como se puede ver en el momento en el que se cierra el circuito, el capacitor C_1 parece estar en corto circuito y la inductancia L_1 en circuito abierto. La corriente al principio cargará al capacitor C_1 , pero la corriente no será infinitamente larga debido a que encuentra oposición en la inductancia L_1 , el proceso continuará indefinidamente debido a que hay un número infinito de capacitores que cargar, se puede encontrar una relación definida entre el voltaje aplicado y la cantidad de corriente que fluye en la línea, la relación dependerá de los valores de L y C , los cuales dependen de las dimensiones físicas de la línea. En el ejemplo de la figura 21, el voltaje aplicado es de 100 volts que originará una corriente de 2 amperes fluyendo dentro de la línea cuando se cierra el circuito, en cuanto a la fuente de poder, esta no puede saber si es conectada a una lí-

nea de transmisión infinita o a una resistencia de 50 ohms, como se muestra en la figura 22. En ambos casos, una corriente de 2 amperes fluirá, por esta razón, se dice que esta línea en particular tiene una impedancia característica de 50 ohms.



A). Línea infinita B). Resistencia equivalente

Fig. 22 Impedancia característica de una línea infinita.

Para el caso especial de una línea de transmisión coaxial de baja pérdida se utilizará la siguiente ecuación para deducir la expresión matemática de la impedancia característica, en función de las características físicas:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

En la transmisión de señales en radiofrecuencia, se tienen las siguientes consideraciones:

$$R \ll \omega L \quad \text{y} \quad G \ll \omega C$$

por lo que la fórmula anterior queda reducida a:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

sustituyendo las ecuaciones 1 y 2 obtenidas anteriormente tenemos:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{0.140 \log D/d}{1} \cdot \frac{1}{7.36 E_r \left(\frac{1 \times 10^{-6} \mu F}{1 \text{ pf}} \right) \log D/d}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{0.140 [\log D/d]^2}{7.36 E_r (1 \times 10^{-6})}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{19021.74 [\log D/d]^2}{E_r}}$$

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{E_r}} \log \frac{D}{d} \text{ | ohms | } (3)$$

donde:

D = diámetro sobre el aislamiento (plg.)

d = diámetro del conductor (plg.)

E_r = permitividad ó constante dieléctrica.

4.1.4. Velocidad de propagación

La energía electromagnética se propaga con una velocidad de 3×10^8 metros por segundo en el espacio libre, la velocidad de propagación en cables frecuentemente se expresa como un porcentaje de -

la velocidad en el espacio libre de acuerdo con la siguiente deducción.

$$\gamma = j\beta = j\omega \sqrt{LC}$$

donde: γ = Constante de propagación
 β = Constante de defasamiento
 ω = Velocidad angular

$$\frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = v \quad (\text{velocidad})$$

$$\frac{v}{f} = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{1}{f\sqrt{LC}} = \lambda \quad (\text{longitud de onda})$$

velocidad de la luz en el espacio libre.

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

entonces la velocidad de propagación en un medio dieléctrico es:

$$v_p = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\text{ó bien } v_p = \frac{100}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

Esta expresión es válida cuando existen pérdidas y muestra que la velocidad y la longitud de onda en un cable coaxial se reducen -- solo por la permitividad ó constante dieléctrica.

4.1.5. Efecto piel

En las altas frecuencias, la densidad de corriente es concentrada cerca de la superficie del conductor y es conocido como efecto de

piel. En frecuencias muy altas, casi toda la corriente circula en una delgada capa del material conductor, la profundidad de la densidad de corriente relativa a la superficie (espesor de la capa conductiva) y es llamado profundidad de la piel y viene dado por:

$$\frac{1}{\delta} = \sqrt{\pi f \mu \rho}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}} \quad (m) \quad (5)$$

donde: δ = Profundidad de la piel (m)
 f = Frecuencia (hertz)
 μ = Permeabilidad del medio (H/m)
 ρ = Resistividad del conductor (ohms - m)

4.1.6. Resistencia

La resistencia es la oposición que un conductor presenta al paso de la corriente, en los cables coaxiales la resistencia puede ser -- calculada con la fórmula que a continuación se deducirá a partir de:

$$R = \frac{\rho}{A} \quad \text{Resistencia por unidad de longitud}$$

A = Area transversal del conductor

En altas frecuencias, (A) es igual a la circunferencia del conductor multiplicada por la profundidad de la piel. La corriente fluye en la superficie exterior del conductor interno y en la superficie del conductor externo por lo que para el conductor interno de -- diámetro d

$$R_i = \frac{l}{\pi d \delta}$$

y para el conductor externo diámetro D

$$R_o = \frac{l}{\pi D \delta}$$

$$R \text{ Total} = R_i + R_o = \frac{l}{\pi \delta} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)$$

de la ecuación (5) del inciso 4.1.5. tenemos:

$$\delta = \sqrt{\frac{l}{\pi f \mu}}$$

por lo que:

$$R \text{ Total} = \sqrt{\frac{l \mu}{\pi f}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \frac{\text{Ohms}}{\text{Metro}} \quad (6)$$

4.1.7. Atenuación

La atenuación es una medida de la pérdida de energía entre la terminal transmisora y la receptora, por lo que depende de muchos factores: La frecuencia, tamaño del conductor, configuración de la línea, alambres aterrizados, transposiciones, resistividad a tierra y condiciones de medio ambiente. Debido a los requerimientos que debe cumplir un cable coaxial, la atenuación es un parámetro importante en su operación. La atenuación suele expresarse en decibeles, unidad equivalente a un décimo de BEL., El BEL bautizado así en honor de Alexander Graham Bell, define la relación de la potencia de la señal entre dos puntos de una línea como sigue.

$$K = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad | \text{ db } |$$

como la potencia es $W = E^2/R$ y R se considera constante, la fórmula anterior se puede expresar en función de los voltajes y obtenemos:

$$K = 10 \log \frac{E_1^2/R_1}{E_2^2/R_2} = 20 \log \frac{E_1}{E_2} + 10 \log \frac{R_2}{R_1}$$

$$K = 20 \log \frac{E_1}{E_2} \quad | \text{ db } |$$

Para calcular la atenuación en función de los parámetros eléctricos de un cable coaxial, partiremos de la siguiente expresión.

$$K = \frac{RC + LG}{2 \sqrt{LC}} = \left(\frac{R}{2} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{LC}{C^2}}} \right) + \frac{G}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{LC}{L^2}}} \right)$$

$$K = \frac{R}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \right) + \frac{G}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{C}{L}}} \right) = \frac{R}{2Z_0} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$K = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2}$$

$$K = \frac{1}{2} \left(\frac{R}{Z_0} + GZ_0 \right) \quad \text{Np / Unidad de longitud}$$

$$K = \frac{8.686}{2} \left[\frac{R}{Z_0} + GZ_0 \right]$$

$$\alpha = 4.343 \frac{R}{Z_0} + 4.343 \text{ GZ}$$

La atenuación en un cable coaxial tiene dos componentes que son:

$$\alpha_c = 4.343 \frac{R}{Z_0} \quad \text{y} \quad \alpha_d = 4.343 \text{ GZ}$$

donde:

α_c = Atenuación en los conductores externo e interno

α_d = Atenuación en el dieléctrico

para el cálculo de α_c usaré una simplificación de la ecuación (6) del inciso 4.1.6. por lo que tenemos.

$$R = K \sqrt{F} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \left| \frac{\Omega}{\text{Ft}} \right|$$

de la fórmula anterior se obtiene que:

a). La resistencia en conductores de cobre sólidos y tubulares es:

$$R = 0.1 \sqrt{F} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \left| \frac{\Omega}{100 \text{ ft}} \right|$$

b). Y la resistencia en conductores de alambres reunidos o trenzados es:

$$R = 0.1 \sqrt{F} \left(\frac{R_s}{d} + \frac{R_b}{D} \right) \left| \frac{\Omega}{100 \text{ Ft}} \right|$$

En la ecuación anterior R_B el factor reunido del conductor interno y R_b es el factor de trenzado del conductor externo, los cuales en casi todos los casos son aproximadamente 1, por lo que la ecuación anterior se reduce así:

$$R = 0.1 \sqrt{F} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \left[\Omega / 100 \text{ Ft} \right]$$

de aquí se tiene;

$$\alpha_c = \frac{(4.343) 0.1 \sqrt{F} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)}{Z_0}$$

$$\alpha_c = \frac{(4.343) 0.1 \sqrt{F} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)}{\left(\frac{138}{\sqrt{Er}} \right) \log D/d}$$

$$\alpha_c = \frac{3.14 \times 10^{-3} \sqrt{ErF}}{\log D/d} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)$$

ahora se obtendrá el valor de α_d

$$\alpha_d = 4.343 \text{ GZ} \quad \text{dB/Unidad de longitud}$$

$$\text{Si } G = \omega C \tan \theta$$

se tiene:

$$\alpha_d = 4.343 \omega C \tan \theta \sqrt{\frac{L}{C}} = 4.343 \omega \tan \theta \sqrt{\frac{LC^2}{C}}$$

$$\alpha_d = 4.343 \omega \sqrt{LC} \tan \theta$$

$$\text{Si: } \beta = \omega \sqrt{LC} = \frac{\omega}{v_p} = \frac{2\pi F}{v_p} = \frac{2\pi F \sqrt{Er}}{v_0 \sqrt{Er}}$$

$$y \tan \phi = PF$$

Tenemos:

$$\alpha_d = 4.343 \frac{2 \pi F \sqrt{\epsilon_r}}{v_0} (PF)$$

$$\alpha_d = 2.78 \sqrt{\epsilon_r} (PF) \quad \left[\text{db/100 Ft} \right]$$

por lo tanto:

$$\alpha_t = \alpha_c + \alpha_d$$

$$\alpha_t = \frac{3.14 \times 10^{-3} \sqrt{\epsilon_r F}}{\log D/d} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) + 2.78 \sqrt{\epsilon_r} (PF) \quad (7)$$

donde:

- Er = Permittividad ó constante del dieléctrico
- F = Frecuencia (M Hz)
- D = Diámetro sobre el dieléctrico (plg)
- d = diámetro del conductor interno (plg)
- PF = Factor de disipación del aislamiento

4.1.8. VSWR. Factor de reflexión y pérdidas por retorno.

Existen varias formas de expresar el efecto de acoplar impedancias desiguales, es decir, cuando la línea no es terminada en su impedancia característica, todas estas formas dicen lo mismo en diferentes maneras.

Una medida comunmente usada en sistemas de comunicaciones es el VSWR que en inglés significa (voltage standing wave ratio). Si una línea de transmisión es conectada a una fuente de corriente alterna como se muestra en la figura 23, y la impedancia a la que es conectada en su otro extremo es diferente a su impedancia característica, ocurrirán reflexiones.

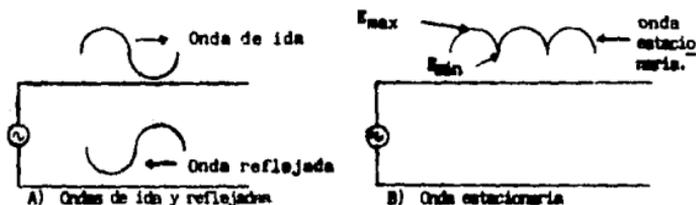


Fig. 23. Formación de las ondas estacionarias

Este efecto es tal, que una señal sinusoidal viajará desde la fuente hacia el final de la línea y otra señal sinusoidal en sentido contrario a ésta, sumando las dos señales algebraicamente en toda la longitud de la línea darán como resultado una onda estacionaria en la línea. La forma en que esta onda estacionaria es generada puede ser fácilmente entendida por medio de una analogía con las ondas que genera una cuerda en movimiento como se muestra en la figura 24, supóngase que uno de los extremos de la cuerda no está atado y que una persona en el otro extremo la agita una vez, lo cual creará una onda en movimiento como se muestra en la figura 24 a, si la cuerda es agitada rítmicamente, una onda viajará rítmicamente a través de la cuerda como en la figura 24 b. Ahora, si atamos la cuerda en su otro extremo y la agitamos una vez como en la figura 24 c, la onda viajará hacia el final de la cuerda y regresará al extremo donde se inició, si la ---

cuerda es agitada rítmicamente como se muestra en la figura 24 d, su movimiento será la suma del movimiento de la onda que viaja hacia -- adelante y el movimiento de la onda reflejada, debido a que las dos ondas viajan a la misma velocidad, el resultado es una onda que después de todo no se mueve, por lo que hay una onda estacionaria en la cuerda.

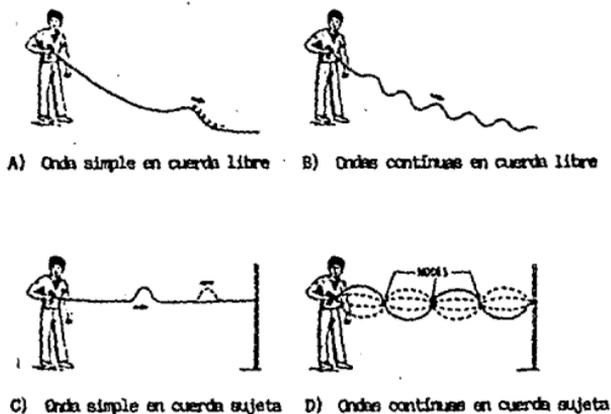


Fig. 24 Movimientos de una onda en una cuerda

- Las ondas de voltaje y corriente en una línea de transmisión se combinan de la misma forma para producir ondas estacionarias.

El término VSWR es simplemente el radio del voltaje máximo y el voltaje mínimo a través de la línea, y esta dado por:

$$VSWR = \frac{E_{max}}{E_{min}}$$

Otra forma de expresar el desacoplamiento de impedancias, es el coeficiente de reflexión, este es el radio del voltaje de la onda de ida.

$$\rho = \frac{E_r}{E_i}$$

donde:

E_r Es el voltaje reflejado

E_i Es el voltaje incidente

Un término que es usado frecuentemente es el pérdidas por retorno estructurales (R). Este término es propiamente el valor del coeficiente de reflexión expresado en decibels y está dado por:

$$R = -20 \log \rho$$

$$\delta R = 20 \log \frac{1}{\rho}$$

Quando la reflexión es mínima, las pérdidas por retorno serán numéricamente largas. El VSWR, coeficiente de reflexión y las pérdidas por retorno son justamente formas diferentes de expresar el mismo fenómeno.

4.1.9. Efectividad del blindaje

La necesidad de un blindaje efectivo en una línea de transmisión coaxial se ha incrementado significativamente con el uso de ---

equipo electrónico para comunicaciones y para procesamiento de datos.

El blindaje se requiere para:

- 1). Prevenir la pérdida de energía de la línea de transmisión, la cual puede causar una reducción en la eficiencia y posible interferencia con circuitos ó equipos cercanos.

- 2). Proteger la señal transmitida de la distorsión de campos electromagnéticos externos.

El problema de obtener una efectividad de blindaje es generalmente complejo y una medida absoluta del valor de efectividad de --- blindaje es muy difícil y frecuentemente imposible de obtener, esto es porque generalmente la concordancia entre los valores calculados y los obtenidos deja mucho que desear, por lo que una solución exacta del problema es difícil de obtener. La mayoría de la información provee datos de una efectividad de blindaje relativa del diseño del blindaje, material y otros numerosos factores, algunos indeterminados cuantitativamente, que afectan la efectividad del blindaje como son:

- a). Intensidades de voltaje y/o corriente de la fuente de interferencia.

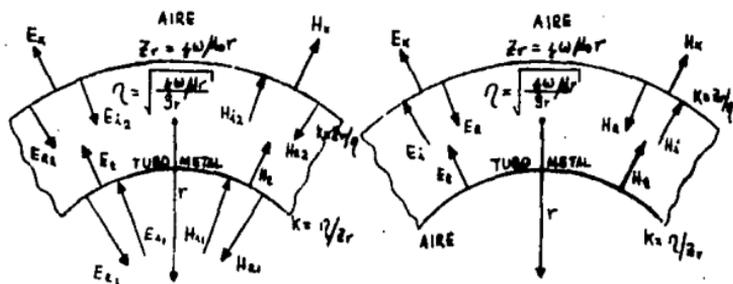
- b). Orientación física e instalación del cable en el equipo afectando la distribución de flujos de pérdida.

- c). Número y localización de los puntos de tierra.

- d). Efectos de conexiones y objetos vecinos.

- e). Nivel de sensibilidad y permisibilidad del nivel de interferencia de los equipos a que se interconecta.

f). Efectos de la frecuencia.

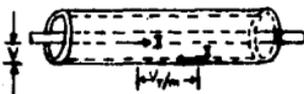


EFFECTIVIDAD DE BLINDAJE

$$SE = 20 \log \frac{E_i}{E_x} = 20 \log \frac{H_i}{H_x}$$

$$E_i = V/m$$

$$H_i = A/m$$



Impedancia de transferencia en la superficie.

$$Z_{AB} = V_t/I \quad A/m$$

$$I = (4\pi r/1+k)H_i \quad (A); \quad V_t = (2k/1+k)E_i \quad (V/m)$$

(a)

(b)

Fig. 25 Intensidades de campos magnéticos y eléctricos en blindaje cilíndrico.

Es por tanto esencial, que un diseño de un blindaje sea evaluado en su lugar de aplicación (ó en una instalación simulada), en conjunto con los datos disponibles de la efectividad de blindaje, relativa para obtener el blindaje deseado.

Cuando una onda viajera pasa de un medio a otro de diferente impedancia intrínseca, esta es atenuada y las reflexiones tienen lugar en los límites como se ve en la figura 25 a. Los blindajes son considerados eléctricamente densos, cuando la atenuación de la onda reflejada es tan grande que la onda Re-reflejada es insignificante, si la intensidad de la onda Re-reflejada es significativa, el blindaje es considerado eléctricamente tenue. El radio de intensidades de onda reflejada e incidente esta relacionado con la onda de impedancia, este radio también determina los componentes eléctricos y magnéticos de la onda transmitida a través de los límites.

En los cables, su blindaje se ve afectado por ondas cilíndricas eléctricas (TM) y magnéticas (TE). La onda eléctrica (TM) es una onda de alta impedancia (por lo que su onda de impedancia es relativamente grande comparada con la impedancia intrínseca del aire), resultando en pérdidas por reflexión muy altas a bajas frecuencias (abajo 100 MHz). En altas frecuencias la atenuación de la malla es alta.

La onda magnética (TE) es una onda de baja impedancia, esta no tiene pérdidas por reflexión altas como en el caso de la onda eléctrica. Blindajes de alta permeabilidad son usados en frecuencias menores a los 100 MHz para mejorar el blindaje, sin embargo, materiales no magnéticos proveen mejor blindaje entre 10^2 y 10^4 MHz.

Las figuras 26 y 27 comparan las propiedades de blindaje del --
 hierro y de varios materiales no magnéticos.

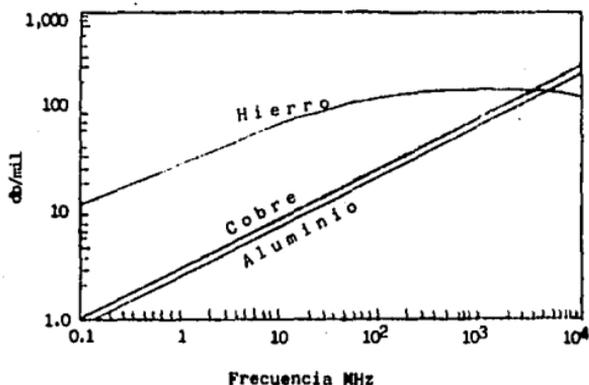


Fig. 26 Atenuación de varios materiales de blindaje metálicos.

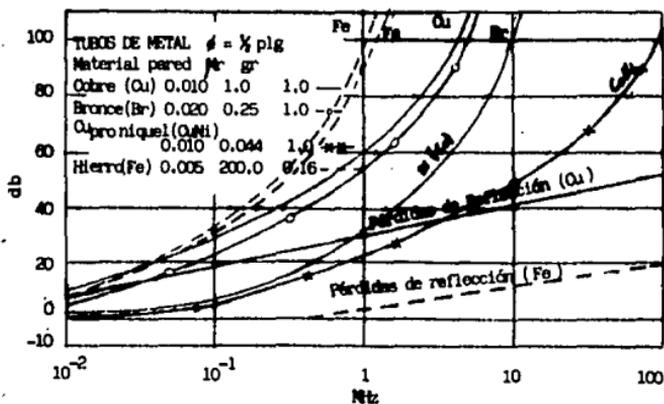


Fig. 27 Efectividad de blindaje de varios tubos metálicos.

- La efectividad del blindaje se puede expresar en términos de intensidades de campo eléctricas y magnéticas ó, en términos de atenuación y pérdidas por reflexión.

$$SE = 20 \log \frac{E_1}{E_2} = 20 \log \frac{H_1}{H_2} \quad [dB]$$

$$SE = R + A + B \quad [dB]$$

por lo que:

$$A = 3.34 t \sqrt{F \mu_r g r} \quad [dB]$$

$$R = 20 \log \frac{|1+k|^2}{4|k|} \quad [dB]$$

$$R_e = 353.6 + 10 \log \frac{g r}{F^3 \mu_r X^2} \quad [dB]$$

$$R_m = 20 \log \left(\frac{0.462}{X} \sqrt{\frac{\mu_r}{g r F}} + 0.136 \times \sqrt{\frac{F g r}{\mu_r}} + 0.354 \right)$$

$$B = 20 \log \left[1 - \frac{(K-1)^2}{(K+1)^2} e^{-2xt'} \right]$$

donde:

$$K = \frac{3.679 \times 10^{-3}}{D} \sqrt{\frac{\mu_r}{F g r}}$$

- A = Atenuación del blindaje [dB]
 R = Pérdidas por reflexión totales, negando reflexiones múltiples. [dB]
 R_e = Pérdidas por reflexión del campo eléctrico [dB]
 R_m = Pérdidas por reflexión del campo magnético [dB]
 B = Factor de corrección para blindajes eléctricamente tenues esto es cuando A < 10 dB [dB]
 F = Frecuencia [MHz]
 t = Espesor del blindaje [mils]
 t' = Espesor del blindaje [m]
 D = Diámetro del blindaje [plg]
 X = Distancia de la fuente al blindaje [plg]

Otra forma de calcular B es:

$$B = 20 \left[\log (L - M) - \log L \right]$$

donde: $L = \text{antilog} \frac{A}{10}$

$$M = \left(\frac{1 - |k|}{1 + |k|} \right)^2$$

Con este método de calcular la efectividad del blindaje parecería que tenemos una medición absoluta del blindaje, sin embargo desde un punto de vista práctico, la instalación del cable influye grandemente en la efectividad del blindaje, debido a circuitos externos de derivación, número y localización de uniones, tierras, geometría del sistema y proximidad a otros equipos, todos los que pueden variar con la frecuencia y son difíciles de determinar cuantitativamente.

Las figuras 28, 29 y 30 nos proporcionan datos de radios de impedancia, atenuación y pérdidas por reflexión y el factor B para la onda cilíndrica (TE). Cuando la atenuación del blindaje sea mayor -- que 10 db, el factor de corrección B puede ser ignorado.

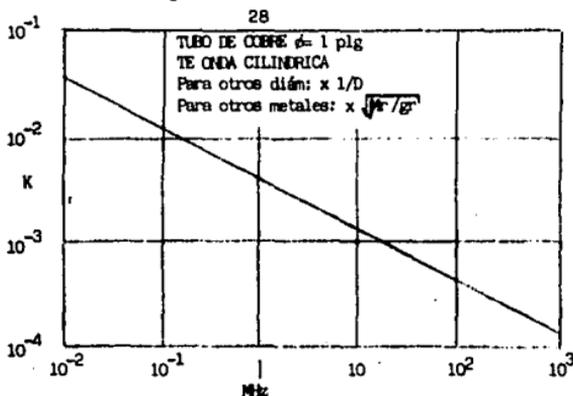


Fig. 28 Variación del radio de impedancia (metal al aire) con la frecuencia.

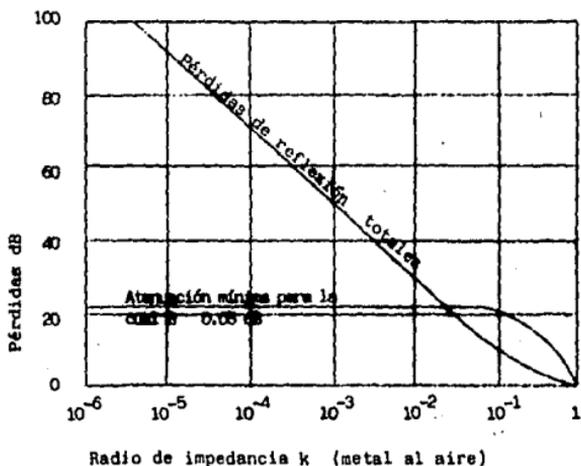


Fig. 29 Atenuación y pérdidas por reflexión contra el radio de impedancia.

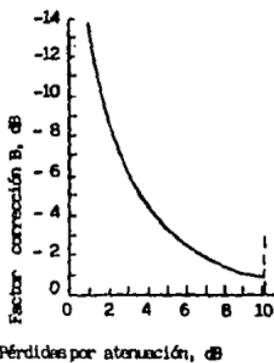


Fig. 30 Factor de corrección para atenuaciones menores a 10 dB

En un cable coaxial, el blindaje es parte del circuito de corriente por lo que la onda magnética (TE) es de gran interés, y un criterio generalmente aceptado de la relativa función del blindaje contra esta onda es llamado impedancia de transferencia de la superficie. El componente eléctrico de pérdida a través de un blindaje de un cable coaxial (caída de voltaje a lo largo de el blindaje) por amperio de blindaje y la corriente del conductor interno es una medida directa de la impedancia de transferencia de la superficie y provee información para determinar la componente magnética de pérdida.

$$E_x = Z_{ab} I \quad [V/m]$$

$$Z_{ab} = \eta / 2 \pi r \sinh \gamma t \quad [\Omega/m]$$

$$Z_r = \frac{E_x}{H_x} \quad (\Omega, \text{ impedancia radial de la onda de pérdida})$$

$$H_x = \frac{Z_{ab}}{Z_r} I \quad [A/m]$$

donde: $Z_r = \gamma \omega \mu_0 r = 0.005 F r \times 10^{-6}$

$$\gamma = 21.4 \sqrt{F \mu_r / \sigma r} \quad / 45^\circ$$

$$\eta = 3.69 \times 10^{-7} \sqrt{F \mu_r / \sigma r} \quad (\Omega, \text{ impedancia intrínseca del blindaje})$$

$r =$ radio [m]

$F =$ Frecuencia [Hz]

$t =$ espesor [m]

$I =$ corriente [A]

μ_r y $\sigma_r =$ permeabilidad y conductividad relativa del cobre

Una forma más fácil de encontrar la impedancia de transferencia de blindaje eléctricamente densos ó tenues puede ser utilizando la siguiente fórmula.

$$Z_{ab} = TM \sqrt{F} / W$$

$$\gamma = \frac{\tan^{-1} (P - q)}{p + q} \quad (\text{ángulo de fase})$$

donde:

$$T = 3269.8/D$$

$$M = \sqrt{\mu r / \text{gr}}$$

$$W = \sqrt{2 / (p^2 + q^2)}$$

$$X = 0.38442 t \sqrt{F \mu r \text{gr}} \quad [\text{rad}]$$

$$p = \sinh x \cos x$$

$$q = \cosh x \sin x$$

$$A = \text{Atenuación del blindaje} \quad [\text{dB}]$$

$$F = \text{Frecuencia} \quad [\text{MHz}]$$

$$D = \text{Diámetro del blindaje} \quad [\text{plg}]$$

$$t = \text{Espesor} \quad [\text{mils}]$$

- Para blindajes electricamente densos, la fórmula se simplifi-

ca a:

$$Z_{ab} = \frac{9248.4}{\text{antilog}(A/20) D} \sqrt{\frac{F \mu r}{\text{gr}}} \quad [\mu\Omega / \text{m}]$$

En la fig. 25 b se representa la impedancia de transferencia superficial y las intensidades de campo en un blindaje que tienen que

ver con la corriente resultante en la malla, la cual establece el campo. En la figura 31 se ilustran las características de funcionamiento de varios blindajes sólidos tubulares. La figura 32 nos indica datos comparativos de varios blindajes trenzados.

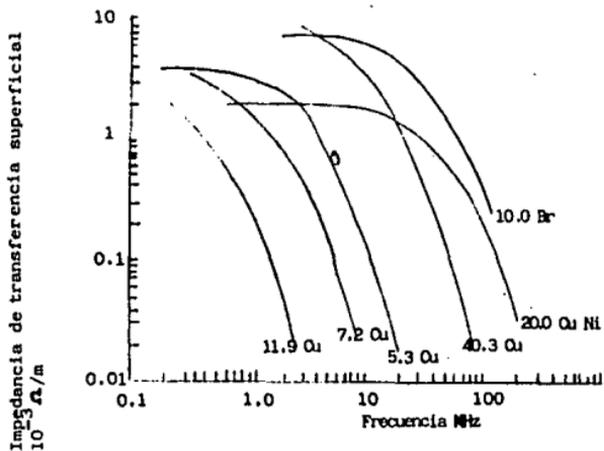


Fig. 31. Impedancia de transferencia de varios tubos sólidos.

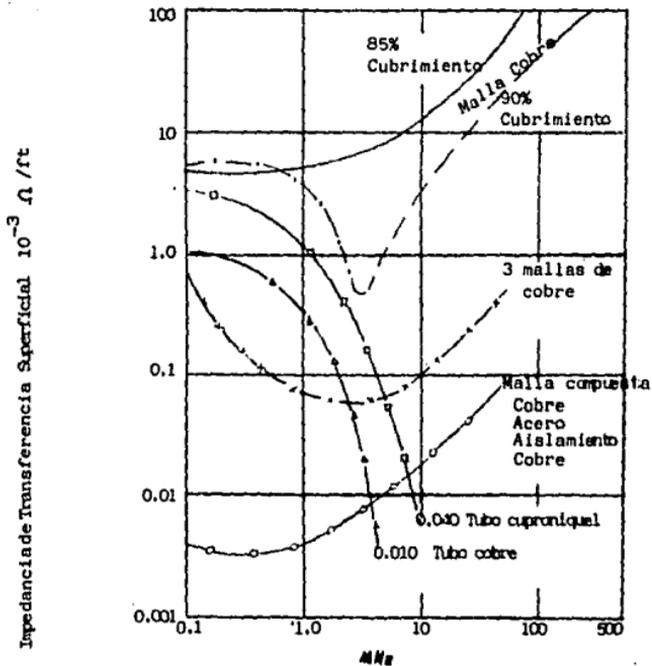


Fig. 32 Impedancia de transferencia de varios cables blindados con respecto a tubos sólidos.

- En un cable coaxial, el blindaje es de forma tubular ó cilíndrica y puede consistir en una cinta metálica o una malla formada -- por alambres. Las direcciones de los conductores de estos blindajes pueden no ser paralelos al eje del blindaje debido a un pobre contacto entre los alambres ó las cintas y las pérdidas tienen lugar a través de las aberturas en las altas frecuencias. Las aberturas en el blindaje puede estar representada por fuentes dipolo eléctricas y -- magnéticas y puede ser como onda guía a través de la cual la energía electromagnética es guiada desde el interior del cable hasta el mundo exterior.

La impedancia de transferencia superficial, en efecto, tiene -- una componente inductiva causada por un dipolo magnético de pérdida, el cual se incrementa linealmente con la frecuencia. El campo eléctrico inducido en el exterior del cable es independiente de la frecuencia y solo depende de la magnitud del campo eléctrico dentro del cable. La impedancia transferida superficial para buenos blindajes -- trenzados es casi enteramente magnética y puede ser representada por una inductancia acoplada por unidad de longitud.

La teoría del blindaje ó análisis de onda no debe ser aplicado literalmente a las mallas ó a las cintas, debido a que puede haber -- variaciones por tolerancias en manufacturas.

Una forma práctica de probar la efectividad de blindaje ha sido desarrollada por "BELDEN" a la cual llamaron "SEED" que en inglés -- significa "Shielding effectiveness evaluation device", que en español se podría traducir como: Aparato para la evaluación de la efectividad del blindaje, por medio del cual se obtuvo la comparación de --

cuatro tipos diferentes de construcciones y porcentajes de cubrimiento de blindaje que se ejemplifican en la figura 33.

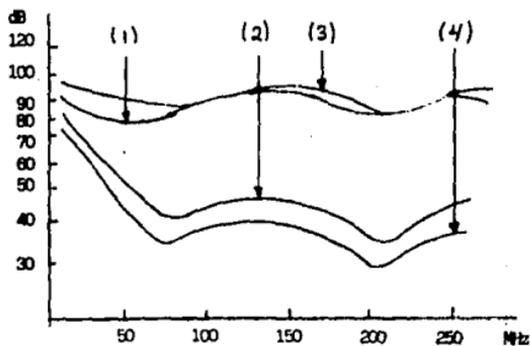
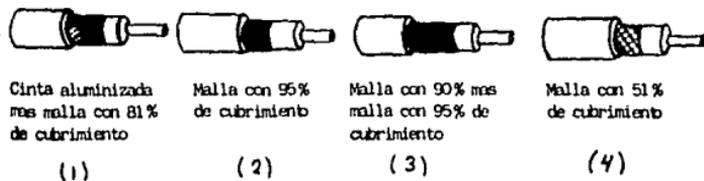


Fig. 33 Características de efectividad de los blindajes

Las curvas de la gráfica anterior muestran la diferencia en una muestra de cable y la señal radiada por este en db contra frecuencias desde "0" hasta "300" MHZ.

La curva N° 3 ilustra la efectividad de blindaje de un cable con doble malla trenzado, la curva N° 1 ilustra la efectividad de un cable CATV, que consiste de una cinta Mylar aluminizada más un 61% de cubrimiento de malla trenzada (más barato que el doble malla), -- las curvas N° 2 y 4 ilustran la efectividad de blindaje de cables hechos con una malla trenzada con distinto porcentaje de cubrimiento.

NOTA: Todas las curvas sufren una caída en valores alrededor de los 70 y 200 MHZ, estas caídas resultan por los efectos de $\frac{\lambda}{4}$ de onda de resonancia. En un cable de 90 cms de largo, si se aumenta la longitud de la muestra no se eliminan estas caídas, lo único que pasa es que se alteran las frecuencias a las que ocurren.

4.1.10 Frecuencia de corte.

Bajo las condiciones anteriores, las líneas de transmisión coaxiales tienen un ancho de banda útil de 5 a 6 décadas de frecuencia. El límite superior de este ancho de banda es la frecuencia a la cual la longitud de onda es igual a la circunferencia promedio de la línea. La frecuencia de corte esta dada por:

$$F_c = \frac{7520}{(d+D) \sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{[MHz]}$$

Donde:

D = Diámetro del dieléctrico [plg]

d = Diámetro del dieléctrico [plg]

4.1.11. Gradiente eléctrico

En un cable coaxial, el gradiente de voltaje no es uniforme a través del diámetro y su máximo ocurre en la superficie del conductor interno y para conductores sólidos esta dado por:

$$E \text{ max} = \frac{2 V \text{ max}}{d \ln D/d}$$

Para conductores formados por varios alambres:

$$E \text{ max} = \frac{2 K_2 V \text{ max}}{d \ln D/d}$$

Donde:

V max = Voltaje máximo [volts]

D = Diámetro del dieléctrico [mm]

d = Diámetro del conductor interno [mm]

K₁ = Factor de reunido

K₂ = Factor de esfuerzo de la superficie

Los valores de K₁ y K₂ se indican en la tabla 13

GRADIENTE DE VOLTAJE KV/cm							
DIELECTRICO	DIELECTRICO SOLIDO			DIELECTRICO Aero-es paciado			
CONDUCTORES	SOLIDO	REUNIDO		TODOS			
E max para dc	400	560		10			
E max para pulso	100	140		10			
E max para rF	50	70		10			
FACTORES DE REUNIDO Y DE ESFUERZO EN CONDUCTORES							
Nº de hilos	1	3	7	12	19	27	37
K ₁ , Factor de diámetro efectivo.	1.000	0.871	0.939	0.957	0.970	0.976	0.980
K ₂ , Factor de esfuerzo de superficie.	1.000	1.459	1.408	1.403	1.397	1.396	1.390

Tabla 13. Gradientes máximos y factores de reunido y de esfuerzo para cables coaxiales

CAPITULO V. Diseño

5.1. Características del conductor interno

5.1.1. Materiales:

Muchos materiales son usados para transmitir energía eléctrica, pero los que más se utilizan como conductores internos en los cables coaxiales son: el cobre, acero recubierto con cobre y cobre cubierto con estaño ó con plata.

5.1.1.1. Cobre

El cobre es el material más ampliamente usado, entre sus propiedades físicas se encuentran: su alta conductividad eléctrica y térmica, ductibilidad, maleabilidad y soldabilidad, también alta resistencia a la corrosión, al uso y a la fatiga.

Tecnologías complejas hacen el proceso de fabricación del cobre económicamente factible, cuando se extrae como mineral de bajo grado (menos del 1% de contenido de cobre). Después de su concentración y fundición la parte destinada a uso eléctrico es refinada electrolíticamente a una pureza del 99%, este producto es calificado como cobre ETP (cobre electrolíticamente puro) y contiene un mínimo de óxido de cobre. Otro tipo de procedimiento utilizado es aquel en el que el cobre prácticamente no contiene óxido y es llamado cobre OFHC (cobre de alta conductividad libre de oxígeno), teniendo una conductividad un poco mayor al del cobre ETP y también una mejor ductibilidad, lo cual da mayor flexibilidad y mayor duración.

Una vez que se procede a hacer alambre de uso eléctrico, en su primer paso, material electrolíticamente refinado es fundido en ba-

rras de aproximadamente 250 libras de peso y con dimensiones de: 4" x 4" x 54", todo esto conforme a la norma A.S.T.M. B-5. En su fabricación hay dos operaciones que son: rolado en caliente y estirado en frío al calibre requerido. En el proceso de rolado, las barras -- son calentadas un poco más allá de los 1700° F y son pasadas a través de rodillos acanalados y son convertidas en varillas de 5/16" de diámetro, conforme a la norma A.S.T.M. B-49. El calibre final requerido se obtiene por medio de alta velocidad en un proceso llamado de estirado continuo, en el que la varilla pasa por una serie de dados de estirado, durante esta operación el cobre tiende a endurecerse, - por lo que es templado, esto se hace para que el cobre que se utiliza como conductor sea flexible.

En la tabla 14 se dan los valores de la capacidad de conducción de corriente de conductores de cobre, resistividad y densidad.

M E T A L	(Gr/cm ³)	ρ - mm ² /Km
Cobre suave	8.89	17.24
Cobre estañado del cal. 24 al 29 AWG	8.89	18.31
Cobre estañado del cal. 30 al 40 AWG	8.89	18.51
A l u m i n i o	2.70	26.30

Tabla 14. Densidad, resistividad y capacidad de corriente del cobre y otros conductores.

Calibre AWG	AMPERES POR CONDUCTOR				
	TEMPERATURA DEL COBRE				
	80° C	90° C	105° C	125° C	200° C
30	2	3	3	3	4
28	3	4	4	5	6
26	4	5	5	6	7
24	6	7	7	8	10
22	8	9	10	11	13
20	10	12	13	14	17
18	15	17	18	20	24
16	19	22	24	26	32
14	27	30	33	40	45
12	36	40	45	50	55
10	47	55	58	70	75
8	65	70	75	90	100
6	95	100	105	125	135
4	125	135	145	170	180
2	170	180	200	225	240

Tabla 14. (Continuación) Densidad, resistividad y capacidad de corriente del cobre y otros conductores.

5.1.1.2. Acero cubierto con cobre.

El acero cubierto con cobre, combina la conductividad y resistencia del cobre, con la resistencia mecánica del acero. Hay tres formas de obtener el acero cubierto con cobre:

- La primera es un proceso de permanente unión por soldadura de fusión de los dos componentes.

- La segunda es cuando el cobre es galvanizado sobre una varilla de acero.

- Y la tercera es cuando el acero y el cobre son unidos en un proceso metalúrgico.

Para su proceso de estirado al calibre requerido se utilizan métodos convencionales.

El acero cubierto con cobre se puede obtener templado ó duro y con 2 grados de conductividad 30 y 40%. En altas frecuencias la -- conductividad de este material es la misma que la del cobre y en -- frecuencias bajas su conductividad se reduce a la citada anteriormente.

5.1.1.3. Cobre estañado

Los conductores de cobre estañado son utilizados, cuando se re quiere minimizar el óxido y mejorar la soldabilidad, este tipo de - conductores son utilizables hasta un rango de 150° C.

En el cobre estañado se incrementa la resistencia, como el espesor de estaño se mantiene constante para todos los calibres, la - proporción de estaño a cobre se incrementa conforme el calibre disminuye . En la tabla 15 se enlistan la resistividad máxima y la con ductividad mínima de conductores de cobre estañado a 20° C.

Calibre AWG	Diámetro (plg)	Resistividad		Conductividad %
		(ohms-lbs/ mile ²)	(ohms-g/m ²)	
40 a 29	.003 a .011	939.51	0.16454	93.15
28 a 25	.012 a .020	929.52	0.16279	94.16
24 a 12	.021 a .102	910.15	0.15940	96.16
10 a 2	.103 a .289	900.77	0.15775	97.16
1 a 4/0	.290 a .460	896.15	0.15694	97.66

Tabla 15. Resistividad y conductividad de conductores de cobre estañado.

El cobre estañado generalmente usado es el que cumple con A.S. T.M. B-33, norma que especifica que el espesor mínimo de estaño debe ser de 0.000040".

Otro tipo de cobre estañado es aquel que tiene un espesor de estaño de 0.000100" para calibres 31 AWG y menores, 0.000150" para calibres 30 AWG y mayores, este tipo de cobre estañado es manufacturado en un proceso electrolítico, lo que lo hace ser más puro que el anterior.

5.1.1.4. Cobre cubierto con plata.

Plata pura es aplicada sobre un alambre de cobre calibre 18 AWG después será estirado al calibre requerido, el espesor mínimo de plata es 0.000040". Este tipo de conductores son utilizados en un rango de operación hasta 200° C y en aplicaciones de alta frecuencia.

En la tabla 16, se dan propiedades físicas de todos los materiales tratados en estos incisos.

ESTA TESTS NO DEBE
SER PE LA BIBLIOTECA

Material Conductor	Conducti- vidad Min. (%)	Esfuerzo tensión (PSI)	Elonga- ción. (%)	Temp. Operac (°C)	Resistenc. oxidación	Soldabi- lidad.	Peso re- lativo.
Cobre rojo	100	36,000	15	150	Pobre	Baja	1.000
Cobre estañado	100	36,000	15	150	Buena	Buena	1.000
Cobre con plata	102	36,000	15	200	Buena	Buena	1.000
Acero cubierto con cobre	40	55,000	8	200	Buena	Baja	.925
Aluminio	61	10,000	2	150	Pobre	Pobre	.304

Tabla 16. Propiedades físicas de materiales conductores.

5.1.2. Formas y dimensiones

Las principales formas en las que se utiliza el conductor interno de un cable coaxial son:

- Conductores sólidos: Este tipo de conductores está constituido por un solo alambre.
- Conductores reunidos: Están constituidos por varios alambres - reunidos, los cuales son torcidos, por lo general son grupos de 7 ó 19 alambres.

Las dimensiones son de los conductores sólidos son las correspondientes a las del calibre AWG que se esté utilizando.

En el cálculo del diámetro de reunido de 7 ó 19 alambres, se pueden utilizar las siguientes fórmulas respectivamente.

$$D = 3 d \quad \text{ó} \quad D = 7 d$$

Si el reunido tuviera un número de alambres diferentes a los 2 casos anteriores se usará la siguiente fórmula:

$$D = 1.15 d \sqrt{n}$$

Donde: d = diámetro de un alambre (plg)

D = diámetro del reunido (plg)

n = número de alambres

5.2. Características y materiales del dieléctrico

5.2.1. Polietileno

El polietileno es el material usado como dieléctrico en la mayoría de los cables coaxiales por tener buenas propiedades dieléctricas y su baja permitividad (constante dieléctrica) que se mantiene inalterada frente a cambios de frecuencia.

Características de los compuestos de polietileno:

- Propiedades eléctricas: Excelente resistencia de aislamiento, baja constante de dieléctrico y bajo factor de disipación, la constante dieléctrica es ligeramente más alta en compuestos pigmentados y de alta densidad, permanece constante en un rango alto de frecuencias.

- Propiedades físicas: Compuestos no pigmentados tienen poca resistencia a la luz ultravioleta, durante exposiciones prolongadas, pueden sufrir cuarteaduras o perder flexibilidad, pigmentos como el carbón negro son los más utilizados para minimizar estos efectos. El

polietileno puede soportar la combustión pero se pueden usar aditivos para lograr un compuesto retardante a la flama.

- Propiedades químicas: El polietileno tiene una gran resistencia a los ácidos, a los compuestos alcalinos y a varios solventes orgánicos, también forma una fuerte barrera al agua, gases y vapores líquidos.

Los tipos de polietilenos más usados en cables coaxiales son:

5.2.1.1. Polietileno de baja densidad

Este tipo de compuesto fué desarrollado hacia 1879, y se comercializó en el año de 1933, con la aparición de un proceso de alta presión y alta temperatura, el plástico resultante de este proceso es un polímero de baja densidad de peso ligero, flexible con un rango de operación máximo de 80° C y con una constante dieléctrica relativamente baja.

5.2.1.2. Polietileno celular.

La estructura de este compuesto es lograda por un gas inerte - generado durante el proceso de extrusión, debido a que es posible - controlar la expansión de este compuesto, se puede lograr extruir un compuesto con una constante dieléctrica muy baja, por ejemplo la -- expansión típica del polietileno celular se hace con un volumen de gas inerte del 55% lo que da una constante de dieléctrico de 1.5, esto permite una mejora en las características eléctricas, ya que - si se mantiene la impedancia característica y el diámetro sobre dieléctrico, se reduce la atenuación incrementando el diámetro del conductor interno, este tipo de compuesto es usado principalmente en -

los cables coaxiales CATV.

5.2.1.3. Polietileno retardante a la flama.

Este material es un buen dieléctrico para altas frecuencias y - además tiene la característica de ser retardante a la flama, su permitividad es un poco más alta, lo cual resulta en un aumento de la atenuación, pero se pueden obtener las mismas características que se tienen en un cable con otro tipo de polietileno, aumentando un poco las dimensiones del cable, este compuesto es utilizado en cables coaxiales para alambrado interno de televisión y computadoras.

En la tabla 17 se muestran las propiedades de los 3 tipos de polietileno tratados en este inciso.

PROPIEDADES	METODO PRUEBA	BAJA DENSIDAD	CELULAR	FLAMA RETARDANTE
I. Físicas				
Densidad	ASTM D-1505	0.92	0.50	1.30
Dureza Shore "D"	ASTM D-2240	45	-	55
Esfuerzo tensión psi(min)	ASTM D-412	2200	600	1800
Elongación (min)	ASTM D-412	600	300	250
Resistencia abrasión	-	Buena	Pobre	Buena
Resistencia Agua	-	Excelente	Pobre	Excelente
Temp'- máx. operación °C	-	80	80	80
Resistencia Flama	-	Pobre	Pobre	Buena
II. Eléctricas				
Constante dieléctrica fMHz	ASTM D-150	2.27	1.50	2.5
Factor de disipación a fMHz	ASTM D-150	0.0002	0.0002	0.0015
Rigidez dieléctrica V/mil	ASTM D-149	1200	500	1000

Tabla 17. Propiedades de compuestos de polietileno

5.2.2. Teflón

Los polímeros de teflón son marcas registradas de Dupont, para las resinas de fluorocarbón, en las que se encuentran el teflón TFE (tetrafluoroetileno), el teflón FEP (Propileno etileno fluorado) y teflón PFA (Perfluoroalkoxy), los cuales tienen excelentes características eléctricas y resistencia a la alta temperatura, sus rangos de temperatura son: 260° C para el TFE, 250° C para el PFA y 200° C para el FEP, son capaces de mantener su resistencia, flexibilidad y propiedades dieléctricas en un amplio rango de condiciones ambientales, aún hasta temperaturas de 540° C.

5.2.2.1. Teflón TFE

El teflón TFE es utilizado como un material dieléctrico en cables coaxiales debido a su constante dieléctrica (2.1), que es un poco más baja en relación a la constante dieléctrica de otros materiales dieléctricos sólidos y además puede mantenerla sin variación ante cambios de frecuencia y temperatura, el TFE tiene una rigidez dieléctrica alta y es capaz de conservar su factor de disipación -- constante, el cual no es afectado por los cambios de temperatura. -- Las desventajas de este compuesto son:

- El homopolímero TFE no es un termoplástico verdadero ya que no se funde en forma usual, por lo que se obtienen corridas cortas, aunque esto se puede evitar formando la pared de teflón que se va extruir con varias capas o cintas de este mismo material, lo cual -- hace que se puedan lograr corridas considerables, aunque su precio es alto.

- Otra desventaja es que la operación de sinterización que se realiza a un poco más de 600° C oxida al estaño, por lo que se tie-

nen que utilizar conductores cubiertos con plata o con níquel, lo --
cual repercute en un mayor costo del cable.

5.2.2.2. Teflón FEP

Este tipo de teflón tiene muchas de las propiedades del TFE y --
además puede ser procesado en extrusores convencionales, por lo que
se le puede designar como un termoplástico verdadero, su temperatura
de operación es de 200° C. Su constante dieléctrica es 2.1. y se man--
tiene constante en un rango de 10^2 a 10^7 Hz, su factor de disipación
no muestra variación con la temperatura, por estas razones el FEP al
igual que el TFE es utilizado en cables coaxiales y también porque --
puede competir en precio con otros aislamientos termoplásticos debi--
do a que se pueden hacer corridas grandes.

5.2.2.3. Teflón PFA

El teflón PFA tiene las propiedades típicas de los otros dos te--
flones, sus características eléctricas son sobresalientes, alta tem--
peratura de operación, resistencia a todos los agentes químicos, ---
excelente resistencia a la flama, al igual que el FEP es un termo--
plástico verdadero, que se puede extruir con métodos convencionales.
El PFA tiene además la ventaja de que puede ser utilizado para ais--
lar conductores de cobre y cobre plateado y debido a su constante --
dieléctrica baja (2.1) es utilizado como dieléctrico para cables co--
axiales. En la tabla 18 se muestran propiedades de los compuestos --
TFE, FEP, PFA.

PROPIEDADES	METODO PRUEBA	FEP	TFE	FFA
I. FISICAS				
Densidad	ASTM D-792	2.14-2.17	2.13-2.20	2.12-2.17
Dureza Shore "D"	ASTM D-2240	59	52	60
Esfuerzo a la tensión psi (min)	ASTM D-412	2700-3100	4500	3000-3500
Elongación % (min)	ASTM D-472	250 - 300	300	250-300
Resistencia a la abrasión	-	Baja	Baja	Baja-Buena
Resistencia al Agua	-	Excelente	Excelente	Excelente
Temp. máx. Operación °C	-	200	260	250
Resistencia a la flama	-	Excelente	Excelente	Excelente
II. ELECTRICAS				
Constante dieléctrica	ASTM D-150	2.1	2.1	2.1
A \sqrt MHz				
Factor de disipación A \sqrt MHz	ASTM D-150	0.0007	< 0.0002	0.0002
Rigidez dieléctrica V/ml	ASTM D-149	1200	1200	1200

Tabla 18. Propiedades de los compuestos FEP, TFE y PFA

5.3. Blindaje o conductor externo

5.3.1. Blindajes con mallas trenzadas.

El cobre se utiliza como material de trenzado en la mayoría de los cables coaxiales, debido a su alta conductividad eléctrica, los alambres utilizados en las mallas trenzadas pueden ser desnudos o - recubiertos con estaño ó con plata. El propósito de recubrir los -- alambres, es prevenir la oxidación del cobre, los alambres de cobre cubiertos con plata son usados generalmente en aquellos cables que - son para aplicaciones de alta frecuencia, porque en estos casos la - plata es mejor conductor que el estaño ó el cobre, las mallas trenza

das con alambres de cobre cubiertos con plata son utilizadas también en cables coaxiales con dieléctrico de teflón.

Las características mecánicas y eléctricas de los materiales -- utilizados en los blindajes o conductores externos en cables coaxiales fueron tratadas en los incisos 5.1.1.1, 5.1.1.3, y 5.1.1.4.

La mayoría de los blindajes con mallas trenzadas proveen a los cables coaxiales un cubrimiento físico entre 85% y 95%, en algunos casos se desea una protección de más del 95%, especialmente cuando existe una gran interferencia en el lugar en que va a ser utilizado el cable, por lo que se puede aplicar una malla sobre la primera, el ángulo de aplicación de la malla afectará en algún grado la flexibilidad y el manejo, así como el esfuerzo a la ruptura.

5.3.2. Blindajes con cintas

El tipo de cinta utilizado generalmente, es el mylar aluminizado, que consiste en una cinta con una capa de aluminio de 0.00035" y una capa de poliéster de 0.00092", esta cinta se coloca en forma longitudinal, abajo de la trenza metálica con la cara de aluminio en -- contacto con los alambres de la trenza.

Otro tipo de cinta, es la cinta mylar doble aluminio, que es -- una cinta con dos capas de aluminio unidas por una capa de poliéster. Las cintas son flexibles y económicas y dan un 100% de cubrimiento físico, por lo que dan al cable la efectividad de blindaje que se necesita en muchas aplicaciones. Una desventaja de estas cintas es que soportan un menor esfuerzo a la tensión que la malla de cobre, sin embargo para muchas aplicaciones esta resistencia no se requiere y -

la superioridad de blindaje que proporciona la cinta es muy útil.

En algunos casos en lugar de cintas poliéster-aluminio se utilizan tubos de aluminio como conductores externos ó blindajes, esto se hace para que el dieléctrico y el conductor interno queden completamente sellados y no se permita el paso de algún agente extraño que los pueda dañar, en este tipo de cables coaxiales, no se utilizan mallas trenzadas ya que el tubo de aluminio es capaz por si mismo de dar un cubrimiento del 100 %.

5.3.3. Método de cálculo para el porcentaje de cubrimiento de una malla trenzada.

El objetivo de este inciso es el definir el procedimiento a seguir para el cálculo de las características constructivas de las mallas trenzadas que son usadas como blindajes o conductores externos en los cables coaxiales, en la figura 34 se ejemplifican algunas de las variables de este método.

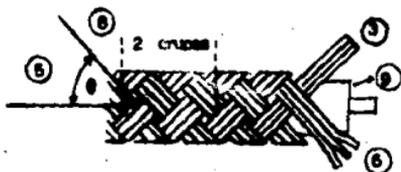


Fig. 34. Variables utilizadas en una malla trenzada.

- Definición de las variables utilizadas en este método.

- 1) PC = Porcentaje de cubrimiento (%)
- 2) F = Factor de relleno
- 3) N = Número de hilos por bobina
- 4) C = Número de bobinas que constituyen la malla
- 5) θ = Angulo de aplicación de la malla
- 6) d' = Diámetro nominal de los alambres de la malla (plg)
- 7) L = Paso de trenzado (plg)
- 8) P = Cruces por pulgada
- 9) D = Diámetro bajo la malla en (plg)
- 10) ρ = Densidad del material de la malla (gr/cm³)
- 11) A_t = Area total (mm²)
- 12) a = Area nominal de un alambre individual (mm²)
- 13) F_t = Factor de trenzado
- 14) n = Factor de paso
- 15) W = Peso de la malla trenzada (Kg/km)
- 16) D_o = Diámetro sobre la malla (plg)
- 17) R = Resistencia eléctrica de la malla (Ω /km)
- 18) ρ_i = Resistividad del material ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)

Suponiendo que se conocen las características constructivas de la malla, el porcentaje de cubrimiento se puede calcular utilizando la ecuación (1).

$$PC = 100 (2F - F^2) \quad (1)$$

Pudiéndose calcular F de la siguiente manera:

$$F = \frac{NPd'}{\text{Sen}\theta} \quad (2)$$

El valor de la tangente de θ viene dado por la siguiente relación:

$$\tan \theta = \frac{2 \pi DP}{C} \quad (3)$$

Por lo general el número de canillas (N) y el número de cruces por pulgada (P) y el calibre de los alambres que se utilizan en la malla vienen dados en las normas de los cables coaxiales RG y en caso de que se requiera diseñar una construcción especial para la malla se deben de considerar que el número de canillas que generalmente se manejan, es de 16 ó 24 y los cruces por pulgada se deberán ir aumentando o disminuyendo junto con el calibre del alambre hasta obtener el porcentaje de cubrimiento deseado (PC).

En el cálculo del diámetro sobre la malla se puede utilizar la ecuación (4)

$$D_o = D + 4.5 d' \quad (4)$$

Si se quiere calcular el peso de la malla se podrán aplicar las siguientes ecuaciones:

$$W = \rho A_t D_t \quad (5)$$

Donde ρ viene dado en la tabla 14, de acuerdo al material empleado en la malla.

A_t y F_t se calculan como sigue:

$$A_t = N C a \quad (6)$$

$$F_t = 1 + \frac{4.9347}{n^2} \quad (7)$$

Donde:

$$n = L/D \quad (8)$$

$$L = C/2P \quad (9)$$

La resistencia viene dada por:

$$R = \frac{f_1}{A_t} F_t$$

El valor de f_1 se obtiene de la tabla 14.

5.4. Tipos de cubiertas.

5.4.1. PVC

El PVC (Cloruro de polivinilo) es el material más utilizado como cubierta para cables coaxiales, debido a que puede ser formulado de tal forma que tenga un amplio rango de propiedades, desde el punto de vista físico y mecánico, por lo general este compuesto es de color negro o gris, con un óptimo comportamiento en la intemperia y resistencia a la abrasión aunque tiene la desventaja de endurecerse con el tiempo, debido a que sufre la evaporación de su plastificante y también es un material contaminante, es decir permite la migración de su plastificante hacia el aislamiento, lo que hace que varíen las características eléctricas de este último.

Otro tipo de PVC utilizado como cubierta, es el PVC no contaminante, el cual no permite la migración y además se conserva flexible durante un largo tiempo y por consiguiente conserva las características físicas y mecánicas del PVC contaminante. Las características -- del PVC contaminante están dadas en la tabla 19.

También se utilizan como materiales para cubierta los siguientes compuestos:

- Polietileno negro
- Teflón TFE, FEP, FFA.

Las propiedades de estos compuestos se pueden encontrar en los incisos 5.2.1., 5.2.2.1., a 5.2.2.3.

PROPIEDADES	METODO PRUEBA	PVC
I. FISICAS		
Densidad	ASTM D-792	1.38
Dureza Shore "A"	ASTM D-2240	90 - 95
Esfuerzo a la tensión (PSI)	ASTM D-412	3200-4000
Elongación % (min)	-	150 - 250
Resistencia abrasión	-	Buena
Resistencia al agua	-	Buena
Temperatura de Operación °C	-	80° C
Resistencia a la Flama	-	Buena
II. ELECTRICAS		
Constante dieléctrica 1MHz	ASTM D-150	4 - 6
Factor de disipación 1MHz	ASTM D-150	0.08-0.085
Rigidez dieléctrica V/mil	ASTM D-149	800-900

Tabla 19. Propiedades del PVC contaminante

5.5. Diseño de un cable coaxial RG 59 B/U

Este diseño se realizará en base a lo especificado por la norma MIL C 17.

- a) Conductor: Un alambre de cobre de diámetro
 $d = 0.023"$
- b) Dieléctrico: Polietileno sólido de baja densidad
 $E_r = 2.28$
 Diámetro sobre dieléctrico $D = 0.148"$
- c) Malla trenzada con alambres de cobre calibre 34 AWG

- Cálculo de la malla:

En el cálculo de la malla la norma propone lo siguiente:

$$P = 7.5 \text{ a } 9.0 \text{ cruces/plg}$$

$$C = 16 \text{ canillas}$$

$$N = 7 \text{ alambres}$$

$$d' = 0.00645''$$

Utilizando las fórmulas del inciso 4.3.3., obtenemos:

$$\tan \theta = \frac{2 \pi DP}{C} = \frac{2 \pi (0.148) (8)}{16} = 0.465$$

$$\theta = 24.94^\circ$$

$$F = \frac{NPd'}{\text{Sen} \theta} = \frac{(7) (8) (0.00645)}{\text{Sen } 24.94^\circ} = 0.857$$

$$PC = 100 (2F - F^2) = 100 [2(0.857) - (0.857)^2]$$

$$PC = 97.87 \%$$

Por lo que utilizando una malla con 16 canillas, con 7 alambres calibre 34 AWG, se obtendrá un cubrimiento del 97.87 %

d) Cubierta de PVC con un diámetro final de 0.242"

e) Cálculo de la impedancia en base a la fórmula (3) del inciso 4.1.3.

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{E_r}} \log \frac{D}{d} = \frac{138}{\sqrt{2.28}} \log \frac{0.148}{0.023} = 73.89 \Omega$$

f) Capacitancia: de la fórmula (1) inciso 4.1.1.

$$C = \frac{7.36 E_r}{\log D/d} = \frac{(7.36)(2.28)}{\log \frac{0.148}{0.023}} = 20.76 \text{ pF/pie}$$

g) Inductancia: fórmula (2) inciso 4.1.2.

$$L = 0.140 \log \frac{D}{d} = 0.140 \log \frac{0.148}{0.023} = 0.113 \mu\text{H/pie}$$

h) Velocidad de propagación: fórmula (4) inciso 4.1.4.

$$V_p = \frac{100}{\sqrt{E_r}} = 66.28 \%$$

i) Frecuencia de corte: fórmula (8) inciso 4.1.10.

$$F_c = \frac{7520}{(d+D) \sqrt{E_r}} = \frac{7520}{(0.148 + 0.023) \sqrt{2.28}} = 29.12 \text{ GHz}$$

j) Cálculo de la atenuación: ecuación (7) inciso 4.1.7.

$$K_T = \frac{3.14 \times 10^{-3} \sqrt{E_r}}{\log D/d} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) + 2.78 \sqrt{E_r} \text{ (PF)}$$

Donde PF = 0.0002

FRECUENCIA (MHz)	ATENUACION (db/100 Pies)
10	0.932
30	1.614
100	2.947
150	3.609
200	4.167
300	5.103
400	5.892
1000	9.316
3000	16.136

Tabla 20. Atenuación de un cable coaxial RG 59 B/U

5.6. Diseño de un cable coaxial CATV 59

a) Conductor: Un alambre de cobre de diámetro

$$d = 0.032''$$

b) Dieléctrico: Polietileno celular

$$\epsilon_r = 1.5$$

$$\text{Diámetro sobre dieléctrico } D = 0.156''$$

c) Blindaje: cinta mylar doble aluminio de 0.017" x 0.75" y malla trenzada con alambres de cobre estañado calibre 34 AWG.

- Cálculo de la malla:

$$P = 9 \text{ cruces/plg}$$

$$C = 16 \text{ canillas}$$

$$N = 3 \text{ alambres}$$

$$d' = 0.00645''$$

Utilizando las fórmulas del inciso 4.3.3. obtenemos:

$$\tan \theta = \frac{2 \pi DP}{C} = \frac{2 \pi (0.156)(9)}{16} = 0.551$$

$$\theta = 28.87^\circ$$

$$F = \frac{NPd'}{\text{Sen } \theta} = \frac{(3)(9)(0.00645)}{\text{Sen } 28.87^\circ} = 0.361$$

$$PC = 100 (2F - F^2) = 100 [2(0.361) - (0.361)^2] = 59.13\%$$

$$PC = 59.13 \%$$

Por lo que con una malla de 16 canillas con 3 alambres calibre 34 AWG, se obtendrá un cubrimiento del 59.13 %.

d) Cubierta de PVC con un diámetro de 0.248"

e) Cálculo de la impedancia: fórmula (3) del inciso 4.1.3.

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{D}{d} = \frac{138}{\sqrt{1.5}} \log \frac{0.156}{0.032} = 77.51 \text{ OHMS}$$

f) Capacitancia: ecuación (1) inciso 4.1.1.

$$C = \frac{7.36 \text{ Er}}{\log D/d} = \frac{7.36 (1.5)}{\log \frac{0.156}{0.032}} = 16.05 \text{ pF/pie}$$

g) Inductancia: ecuación (2) inciso 4.1.2.

$$L = 0.140 \log \frac{D}{d} = 0.140 \log \frac{0.156}{0.032} = 0.096 \mu\text{H/pie}$$

h) Velocidad de propagación: fórmula (4) inciso 4.1.4.

$$VP = \frac{100}{\sqrt{\text{Er}}} = 81.65 \%$$

i) Frecuencia de corte: ecuación (8) inciso 4.1.10.

$$F_c = \frac{7520}{(d+D) \sqrt{\text{Er}}} = \frac{7520}{(0.156+0.032) \sqrt{1.5}} = 32.66 \text{ GHz}$$

j) Cálculo de la atenuación: ecuación (7) inciso 4.1.7.

$$K_T = \frac{3.14 \times 10^{-3} \sqrt{\text{Er F}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) + 2.78 \sqrt{\text{Er}} (\text{PF})}{\log D/d}$$

Donde: PF = 0.0002

FRECUENCIA (MHz)	ATENUACION (db/100 pies)
10	0.666
30	1.154
100	2.106
150	2.579
200	2.978
300	3.647
400	4.211
1000	6.658
3000	11.53

Tabla 21. Atenuación de un cable coaxial CATV 59

CARACTERISTICAS ELECTRICAS	RG 59 B/U	CATV 59/U
Impedancia (Ω)	73.89	77.51
Capacitancia (pF/pie)	20.76	16.05
Inductancia (μ H/pie)	0.113	0.096
Vp (%)	66.28	81.65
Frecuencia de corte (GHz)	29.12	32.66
ATENUACION db/100 pies		
10	0.932	0.666
30	1.614	1.154
100	2.947	2.106
150	3.609	2.579
200	4.167	2.978
300	5.103	3.647
400	5.892	4.211
1000	9.316	6.658
3000	16.136	11.53

Tabla 22. Comparación de las características eléctricas de los cables coaxiales RG 59 B/U y CATV 59.

Como podemos observar el cable coaxial CATV 59 tiene mejores - características eléctricas debido a los diferentes materiales que lo constituyen.

CAPITULO VI. Instalación y accesorios para conexión.

6.1. Diseño del conector coaxial.

El principal propósito de esta sección es revisar los parámetros de diseño de los conectores acoplados con la impedancia de los cables. También se intentan presentar los datos suficientes de diseño y características de funcionamiento para permitir a los usuarios seleccionar adecuadamente los conectores de los numerosos tipos disponibles (ejemplos típicos se muestran en la figura 35) para usarse en cables coaxiales.



Figura 35 Ejemplos típicos de conectores coaxiales. (a)SC, (b)N, (c)TNC, (d)SMA, (e)C, (f)BNC.

En años recientes ha ocurrido un significativo cambio en la industria de conectores coaxiales; han cambiado las especificaciones respecto a detalles dimensionales con el fin de cumplir sus requerimientos con las mínimas dimensiones, asegurando buen funcionamiento y confiabilidad. Este cambio ha tenido profundos efectos tanto en los usuarios como en los fabricantes de conectores; y aunque ha mejorado el funcionamiento de los montajes de los cables, esto ha introducido una variedad mayor en los métodos de ensamble de los conectores a los cables. Por lo tanto es esencial que los usuarios potenciales estén informados adecuadamente de todas las diferencias para asegurar que se obtiene el diseño óptimo para su línea de transmisión de acuerdo a su funcionamiento, montaje, procedimiento de mantenimiento y costo.

6.1.1. Parámetros de diseño de conectores coaxiales.

En el diseño del conector coaxial hay tres áreas críticas para lograr un montaje estable y con una buena unión, sobre el rango de frecuencia deseado y las condiciones de operación con respecto al medio ambiente.

Estas áreas son la estructura del dieléctrico, el mecanismo de acoplamiento y el ajuste del cable o procedimiento de ensamble. Cada una de estas áreas será discutida en relación con la función básica de un conector coaxial que es la transmisión de energía de radio frecuencia (RF), entre secciones de cable ó entre cable y terminal, con los convenientes medios para tener un acoplamiento y desacoplamiento de conectores rápido y confiable.

6.1.1.1. Acoplamiento de la impedancia

La causa principal de variación de impedancia en una línea de transmisión coaxial, es la variación en dimensiones y la posición de los conductores. El efecto sobre el radio de voltaje de onda estacionaria (VSWR) puede verse en las figuras 36 y 37. Cuando un cable se termina en un conector, la línea de transmisión experimenta cambios bruscos en los diámetros del conductor.

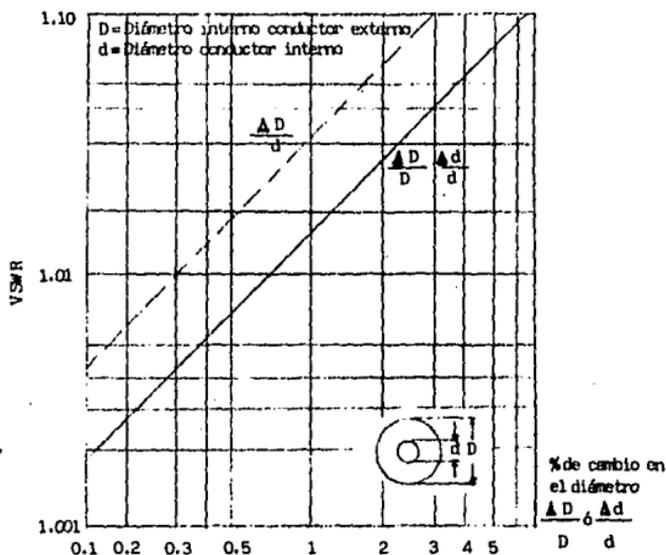


Figura 36 Efecto en las tolerancias de diámetro de un cable coaxial de 50Ω sobre VSWR.

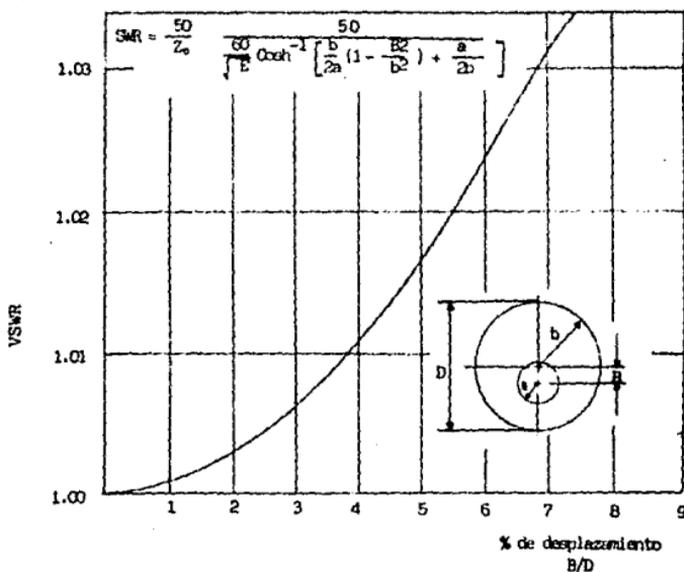


Figura 37. Variación del VSWR con el desplazamiento del centro del conductor del centro del cable coaxial de 50 Ω .

Para mantener la impedancia característica de la línea de transmisión debe hacerse el cambio de los diámetros del conductor para proporcionar una impedancia constante a lo largo de la línea de transmisión; sin embargo, el punto de discontinuidad, en una sección de alta impedancia de un ancho suficiente debe ser diseñada dentro de la sección de la estructura del dieléctrico para compensar la

discontinuidad de capacitancias, sobre el rango de frecuencias deseado. En cualquier conector práctico hay varios puntos de discontinuidad o variaciones de la impedancia característica. El problema general de diseño puede entenderse mejor examinando la figura 38, la cual presenta la unión de ensamble de un cable flexible, mostrando - la interface del conector así como el ensamble cable-conector.

El método para calcular algunas discontinuidades de capacitancia en conductores coaxiales, se ilustra en la figura 39. La sección de alta impedancia se determina por la fórmula:

$$Z_M = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D'}{d}$$

La distancia "S" necesaria para la sección de alta impedancia - para compensar la discontinuidad de capacitancia se calcula como sigue:

$$S = \frac{f_c \lambda_0 C_T Z_0}{\sqrt{\epsilon_r} (Z_M / Z_0 - Z_0 / Z_M)}$$

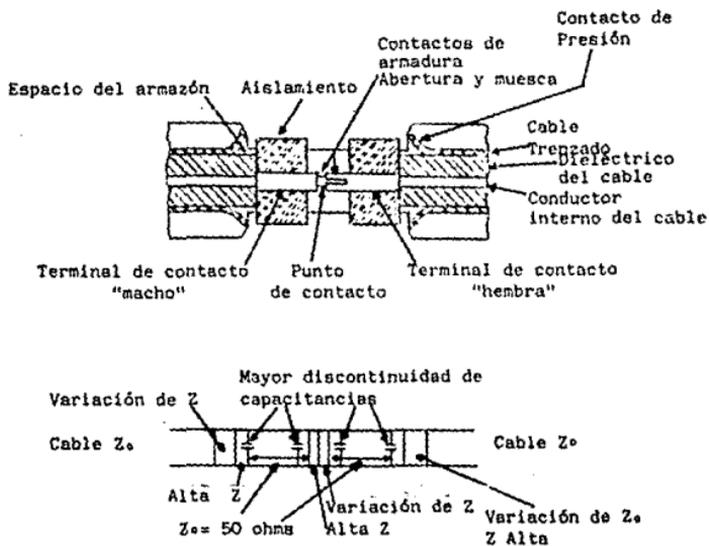
Donde:

f_c = 90% de la frecuencia de corte en el cable [Hz]

λ_0 = Longitud de la onda a f_c [cm]

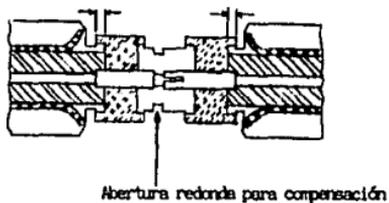
ϵ_r = Permitividad del dieléctrico en la sección de alta impedancia Z_M

C_T = farads $(10^{12}$ pF)



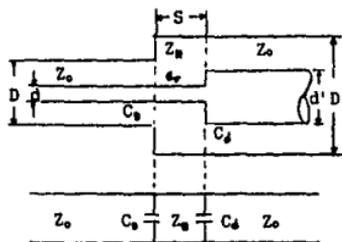
(a) Esquema de la sección transversal y circuito equivalente de un par de acoplamiento no compensado.

Sección de compen-
sación inductiva.



(b) Esquema de la sección transversal de un par de acoplamiento compensado.

Figura 38. Esquemas de secciones transversales de pares de acoplamiento.



$$C_{\text{total}} = C_D + C_d = 7.98 \text{ de}_r \left[C_D \left(R_D, \frac{D'}{d} \right) \right] + 7.98 D' e_r \left[C_d \left(R_d, \frac{D'}{d} \right) \right] \text{ pF}$$

$$C_D \left(R_D, \frac{D'}{d} \right) \text{ and } C_d \left(R_d, \frac{D'}{d} \right) \text{ Ver figura 40}$$

$$R_D = \frac{D-d}{D'-d} < 1; \quad R_d = \frac{D'-d'}{D'-d} < 1$$

Figura 39. Discontinuidades en la sección transversal de un conector coaxial.

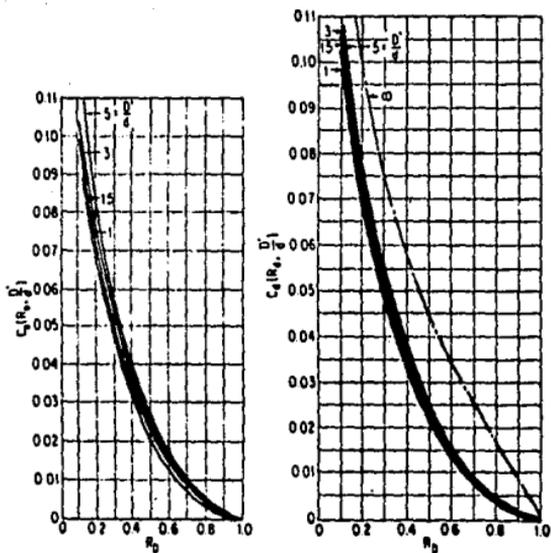
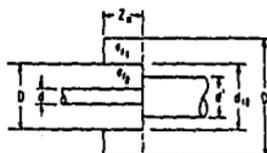


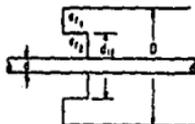
Figura 40. Variación de la discontinuidad de capacitancia C_D y C_d

Quando la sección de alta impedancia tiene un compuesto dieléctrico la permitividad relativa puede calcularse para el compuesto típico como se muestra en la figura 41. El valor de la permitividad del compuesto se utiliza entonces para calcular Z_M y S .

En la práctica es extremadamente difícil establecer un valor de "S" muy preciso para lograr un valor de compensación de impedancia óptima para obtener un bajo radio de voltaje de onda estacionaria (VSWR). Los cálculos teóricos se utilizan como una aproximación estimativa y a partir de este punto de "S" puede ser determinado empíricamente.



$$\epsilon_{12} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 \ln D/d}{\epsilon_1 \ln d_{12}/d + \epsilon_2 \ln D/d}$$



$$\epsilon_{12} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 \ln D/d}{\epsilon_1 \ln d_{12}/d + \epsilon_2 \ln D/d_1}$$

Figura 41. Permitividad relativa de un compuesto dieléctrico en una sección de alta impedancia en un conector coaxial.

6.2. Tipos de acoplamiento.

Los métodos más populares de acoplamiento de conductores son -- los atornillables y los de bayoneta, este tipo de conectores tienen un método relativamente fácil de conectar y desconectar una línea de transmisión coaxial, algunos tipos de estos conductores se ilustran en las figuras 42 y 43.

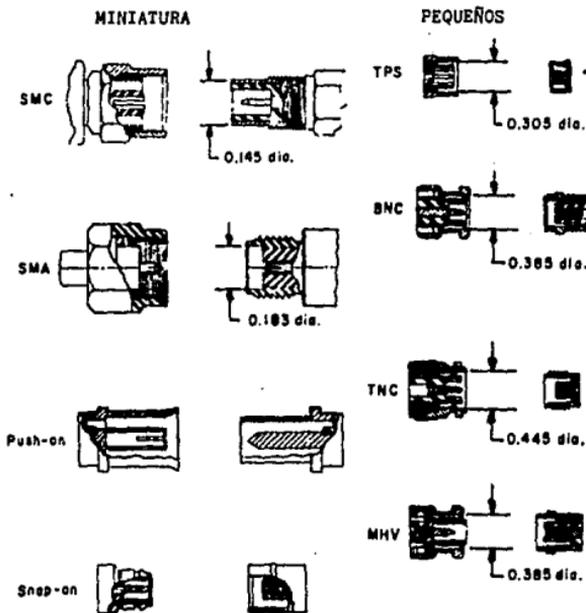


Figura 42. Acoplamientos típicos de conectores coaxiales miniatura y conectores coaxiales pequeños.

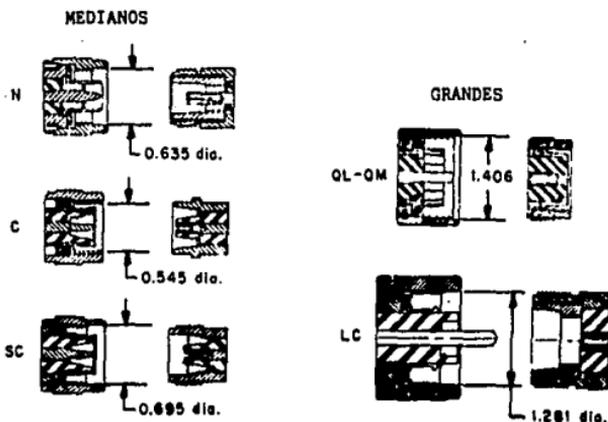


Figura 43. Acoplamiento típicos de conectores medianos y grandes.

Los conectores QM y QL combinan lo mejor de los acoplamiento de bayoneta y atornillables como son: rápida conexión, resistentes a la vibración y son eléctricamente estables.

6.2.1. Procedimientos de ensamble.

Anteriormente cuando solo se tenían en cuenta los requerimientos dimensionales para conectores, los conectores de grampas con los que había que tener principal cuidado con el conductor externo del cable coaxial fueron ampliamente utilizados, pero con el advenimiento de otro tipo de pruebas, grampas sujetadoras de presión, basadas

en nuevas tecnologías han sido desarrolladas y son comúnmente usadas actualmente, ejemplos típicos de acoplamientos son ilustrados en la figura 44, con este tipo de conectores se han simplificado el proceso de instalación y se han mejorado tanto sus cualidades mecánicas - como eléctricas.

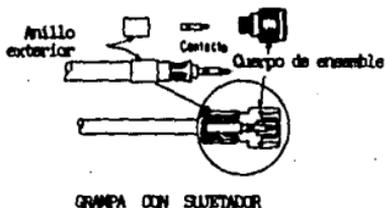
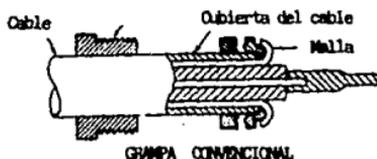


Figura 44. Métodos más comunes de conectores de cables coaxiales con grampas sujetadoras de presión.

6.2.2. Conectores miniatura.

Estos conectores (figura 42) son utilizados en longitudes relativamente cortas (usualmente de unos cuantos pies), en cables coaxiales flexibles y semirígidos, son utilizados generalmente para conectar aparatos de radio frecuencia ó de microrondas y en ensambles protegidos de las condiciones ambientales. Dependiendo del tamaño y de la impedancia a acoplar del cable y los conectores, estos pueden ser -- utilizados en frecuencias que van desde los 10 hasta los 30 GHz y -- con un voltaje a picos de 100 y 500 volts. Los cables coaxiales más comunmente utilizados con los conectores miniatura son los cables -- RG 174-180-316 y 371/U.

6.2.3. Conectores pequeños.

Estos conectores (figura 42) son utilizados con los cables coaxiales RG-58-59-62-122 y 223/U, en lugares expuestos al medio ambiente y en equipos pequeños, estos conectores están limitados a un voltaje a picos de 500 volts, excepto el tipo MHV que es para un -- rango de 5 KV para aplicaciones en conexiones rápidas los conectores BNC y TPS proveen características eléctricas razonablemente buenas tal y como se indica en la figura 45.

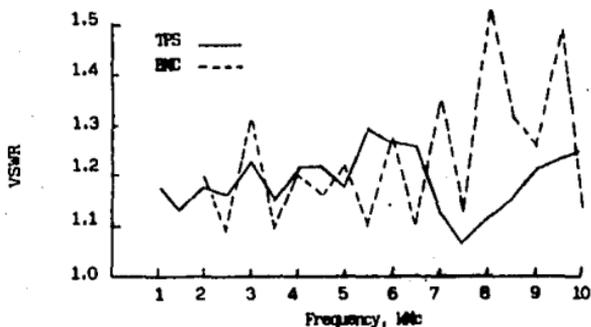


Figura 45. Comparación del VSWR entre los conectores BNC y TPS.

Los conectores BNC tienen un VSWR de 1.3:1 por lo que se ven limitados a una frecuencia máxima de 5 GHz, debido a que su sistema de acoplamiento de bayoneta de dos puntos no provee estabilidad eléctrica arriba de esta frecuencia. El conector TPS tiene un sistema de bayoneta de 3 puntos que provee características de VSWR similares a los conectores BNC, pero es más estable hasta los 10 GHz.

6.2.4. Conectores medianos.

Estos conectores se ilustran en la figura 43 y son comúnmente usados en los cables coaxiales RG 212, -213, y 214/U. Además hay diseños especiales para cables flexibles un poco más pequeños y de ma-

yor longitud como son: RG-58/U, RG 216 y RG-218/U, aunque también se pueden utilizar en cables semirígidos de tamaño medio. Este tipo de conectores son probablemente los conectores más usados para aplicaciones de radiofrecuencia y de interconexión entre antenas y receptores ó transmisores, tienen un rango de voltaje a picos de 1500 volts y un VSWR máximo de 1.3:1 hasta 10 Ghz. Debido a la inestabilidad mecánica del conector tipo C de bayoneta de 2 puntos, se ve limitado a una frecuencia de 5 Ghz. El conector C no tiene la ventaja de ser ensamblado rápidamente mientras que el N y SC usan cuerda fina que es más susceptible al daño mecánico, los conectores C y SC ofrecen una estructura con dieléctrico, mientras que el N utiliza como dieléctrico el aire y se puede acoplar a líneas de 75 y 50 Ohms.

6.2.5. Conectores grandes.

Este tipo de conectores se ilustran en la figura 43, la mayoría de ellos son de tipo especial. El tipo LT (no ilustrado) es similar al LC excepto que es designado específicamente para cables con teflón. Los conectores LC están limitados a aplicaciones en frecuencias hasta 1 Ghz, mientras que los conectores QM y QL pueden ser usados hasta 5 Ghz, tienen un rango de voltaje de 5 a 10 Kv, su valor máximo de VSWR es 1.3:1. estos conectores se utilizan en cables como el RG 189, -326, y 389/U. En la tabla 23 se especifican varios tipos de conectores disponibles para cables coaxiales.

CABLE RG- /U	SERIE	CONECTOR MACHO	CONECTOR HEMERA	CONECTORES EN PANELES
6	C	626(6-1)A	633(7-2)A	630(11-1)A
	N	18(1-1)A 91#	20(2-1)A 92#	158(3-1)A 93#
11	SC	(35-1)A	(36-2)A	(38-2)A(square flange)
	BNC	96#		
	C	573(6-2)A 1752(6-11)C	572(7-1)A 1759(7-8)C	570(11-2)A 1777(11-8)C
	N	21(1-2)A (1-23)C 94#	23(2-2)A (2-26)C 95#	160(3-2)A (3-20)C 96#
22	SC	(35-2)A (35-13)C	(36-1)A (36-10)C	(40-21)C
	Twin	421	.....	423 422/R
23 ^h	Twin			
25	Pulsao	180	264/R	181
26	Pulsao	180	264/R	181
27	Pulsao	36	.....	158 or 1141 37 and 38/R
28	Pulsao	174	222/adapter	166
34	UHF	357	.....	358/R
58	BNC	88(16-1)A (16-13)C	89(17-1)A 1794(17-13)C	909(19-1)A 1804(19-13)C
	TNC	(26-1)A (26-10)C	(27-1) (27-10)C	(28-1)A (28-10)C
	C	708(15-2)A 1779(15-3)C	.....	704(9-2)A (9-3)C
	N	536	.....	566
	SC	.....	.....	(37-2)A (37-5)C
	TPS	1366	1415	1364
	SMA	(55-4)A (55-29)C	(57-4)A (57-29)C	(58-4)A (58-29)C
	BNC	260(16-2)A (16-15)C	261(17-2)A 1798(17-15)C	910(19-2)A 1808(19-15)C
	TNC	(26-2)A (26-12)C	(27-2)A (27-12)C	(28-2)A (28-12)C
	C	627(15-1)A	.....	631(9-1)A
N	603	602	583	

Tabla 23. Conectores para cables coaxiales

CABLE RG- /U	SERIE	CONECTOR MACHO	CONECTOR HEMERA	CONECTORES EN PANELES
62	SC	.....	.....	(37-1)A
	BNC	260(16-2)A (16-15)C	261(17-2)A 1799(17-15)C	910(19-2)A 1809(19-15)C
	TNC	(26-2)A (26-12)C	(27-2)A (27-12)C	(28-2)A (28-12)C
	C	627(15-1)A	.....	631(9-1)A
	N	603	602	593
63	SC	.....	.....	(37-1)A
	N	1003		
64	Pulsao	180	.....	181 264/R
65	C	1032		
71	BNC	260(16-2)A (16-17)C	261(17-2)A (17-17)C	910(19-2)A (19-17)C
	TNC	(26-2)A (26-14)C	(27-2)A (27-14)C	(28-2)A (28-14)C
	C	627(15-1)A	.....	631(9-1)A
	N	603	602	593
	SC	.....	.....	(37-1)A
108h	Twin			
114	N	1003		
115	N	1185	1186	1187
119	LN	530	.....	531
122	BNC	1033(16-3)A (16-16)C	1056(17-3)A 1800(17-16)C	1055(19-10)A 1810(19-16)C
	TNC	(26-3)A (26-13)C	(27-3)A (27-13)C	(28-3)A (28-13)C
	C	709(15-2)A	.....	704(9-2)A
	N	536	.....	556
	SMA	(55-3)A (55-27)C	(57-3)A (57-27)C	(59-3)A (59-27)C
125h	Low ca- pacitan- ce.			
130	Twin	1060	.....	1057/R
133	BNC	959		
142	C	573(6-2)A	572(7-1)A	570(11-2)A
	N	21(1-2)A	23(2-2)A	160(3-2)A
	BNC	88(16-1)A	89(17-1)A	909(19-1)A

Tabla 23. Conectores para cables coaxiales (continuación)

CABLE RG- /U	SERIE	CONECTOR MACHO	CONECTOR HEMERA	CONECTORES EN PANELES	
144	TNC	(16-14)C (26-1)A (26-11)C	1797(17-11)C (27-1)A (27-11)C	1807(19-11)C (28-1)A (28-11)C	
	C	709(15-2)A	.....	704(9-2)A
	N	536	.....	556
	SMA	(55-4)A (55-28)C	(57-4)A (57-28)C	(59-4)A (59-28)C	
	BNC	959			
	C	573(6-2)A 1752(6-11)C	572(7-1)A 1759(7-8)C	570(11-2)A 1777(11-8)C	
	N	21(1-2)A (1-23)C (35-2)A (35-13)C	23(2-2)A (2-26)C (36-1)A (36-10)C	160(3-2)A (3-20)C (402)C	
	156	PuLee	1291	1292/R
	157	PuLee	1295	1296/R
	158 ^h	PuLee			
	164	C	708(6-5)A		
		N	167(1-4)A		
		LC	1258	352/R
	165	BNC	959		
C		573(6-2)A 1753(6-12)C	572(7-1)A 1760(7-9)C	570(11-2)A 1788(11-9)C	
N		21(1-2)A (1-21)C (35-2)A (35-11)C	23(2-2)A (2-24)C (36-1)A (36-7)C	160(3-2)A (3-18)C (40-19)C	
174		SMA	(55-2)A (55-26)C	(57-2)A (57-26)C	(59-2)A (59-26)C
174		SMB	Under consideration for MIL-C-39012		
	SMC	See Specification MIL-C-22587			
176	C	1032			
177	C	708(6-5)A			
	N	167(1-4)A			
	LC	1258	.....	352/R
178	SMA	(55-1)A (55-25)C	(57-1)A (57-25)C	(59-1)A (59-25)C	
	SNC	1460	1462	1463	
179 ^h	SMB	Under consideration for MIL-C-39012			
	SNC	See Specification MIL-C-22587			

Tabla 23. Conectores para cables coaxiales (continuación)

CABLE RG- /U	SERIE	CONECTOR MACHO	CONECTOR HEMERA	CONECTORES EN PANELES
180h	Twin	1253	.....	422/R
181				
185h				
186	C	1032		
189	LC	1189	.....	352/R
	QL	1372	.....	1533(47-2001)/R
210	BNC	260(16-2)A	261(17-2)A	910(19-2)A
		(16-15)C	1799(17-15)C	1809(19-15)C
	TNC	(26-2)A	(27-2)A	(28-2)A
		(26-12)C	(27-12)C	(28-12)C
	C	(627(15-1)A	.....	631(9-1)A
	N	603	602	593
SC	.....	.....	(37-1)A	
211	C	711(6-4)A	.....	569(14-1)/R
	SC	(35-4)A	.....	(42-1)/R
	LT	1305	.....	1314
212	C	626(6-1)A	633(7-2)A	630(11-1)A
		1748(6-7)C	1758(7-7)C	1773(11-4)C
	N	18(1-1)A	20(2-1)A	159(3-1)A
		(1-16)C	(2-19)C	(3-13)C
	SC	(35-1)A	(36-2)A	(40-1)A
		(35-10)C	(36-9)C	(40-14)C
213	BNC	959		
	C	573(6-2)A	572(7-1)A	570(11-2)A
		1749(6-8)C	1754(7-3)C	1774(11-5)C
	N	21(1-2)A	23(2-2)A	160(3-2)A
(1-17)C		(2-20)C	(3-14)C	
SC	(35-2)A	(36-1)A	(40-2)A	
		(35-11)C	(36-7)C	(40-15)C
214	BNC	959		
	C	573(6-2)A	572(7-1)A	570(11-2)A
		1750(6-9)C	1755(7-4)C	1775(11-6)C
	N	21(1-2)A	23(2-2)A	160(3-2)A
		(1-18)C	(2-21)C	(3-15)C
	SC	(35-2)A	(36-1)A	(40-2)A
		(35-12)C	(36-8)C	(40-16)C
216	BNC	959		
	C	573(6-2)A	572(7-1)A	570(11-2)A
	N	21(1-2)A	23(2-2)A	160(3-2)A
		(1-24)C	(2-30)C	(3-21)C

Tabla 23. Conectores para cables coaxiales (continuación)

CABLE RG- /U	SERIE	CONECTOR MACHO	CONECTOR HEMERA	CONECTORES EN PANELES
217	SC	(35-2)A	(36-1)A	(40-17)C
	C	707(6-3)A		
	N	204(1-3)A		
218		(1-19)C	(2-22)C	(3-16)C
	SC	(35-3)A	.....	(40-4)A and (40-
	QM	1394(49-2001)	.....	1399(49-2001)
	C	708(6-5)A		
	N	167(1-4)A		
220	SC	(35-5)A	.....	(40-5)A
	LC	1258	.....	352/R
	QL	1392(44-2001)	.....	1397(45-2001)
	LC	156	.....	1370/R
222	QL	1393(44-2002)	.....	1398(44-2002)
	C	626(6-1)A	633(7-2)A	630(11-1)A
223	N	18(1-1)A	20(2-1)A	159(3-1)A
	BNC	88(16-1)A	89(17-1)A	909(19-1)A
		(16-14)C	1795(17-14)C	1805(19-14)C
225	TNC	(25-1)A	(27-1)A	(28-1)A
		(25-11)C	(27-11)C	(28-11)C
	C	709(15-2)A	.....	704(9-2)A
		1780(15-4)C	.....	1788(9-4)C
	N	536	.....	566
226 h 280 h 281 h 301 h 302	SC	.....	.....	(37-2)A
				(37-6)C
	TPS	1412	1416	1413
	SMA	(55-4)A	(57-4)A	(59-4)A
		(55-28)C	(57-28)C	(59-28)C
225	BNC	959		
	C	573(6-2)A	572(7-1)A	570(11-2)A
		1751(6-10)C	1756(7-5)C	1776(11-7)C
	N	1185(1-5)A	1186(2-3)A	160(3-2)A
		(1-22)C	(2-25)C	(3-19)C
226 h 280 h 281 h 301 h 302	SC	(35-2)A	(36-1)A	(40-2)A
		(35-12)C	(36-8)C	(40-16)C
	BNC	(16-18)A	(17-18)A	(19-18)A
	(16-20)C	(17-20)C	(19-20)C	

Tabla 23. Conectores para cables coaxiales (continuación)

CABLE RG- /U	SERIE	CONECTOR MACHO	CONECTOR HEMERA	CONECTORES EN PANELES	
303	TNC	(26-2)A (26-12)C	(27-2)A (27-12)C	(28-2)A (28-12)C	
	C	627(15-1)A	.....	631(9-1)A
	N	603	602	593	
	SC	.....	.....	(37-1)A
	BNC	(16-11)A (16-13)C	(17-11)A (17-13)C	(19-11)A (19-13)C	
	TNC	(26-4)A (26-10)C	(27-4)A (27-10)C	(28-4)A (28-10)C	
	C	709(15-2)A 1779(15-3)C	.....	704(9-2)A 1767(9-3)C
	N	536	.....	566
	SC	.....	.....	(37-2)A (37-5)C
	TFS	1366	1415	1364	
	304	SMA	(55-5)A (55-29)C	(57-5)A (57-29)C	(59-5)A (59-29)C
		C	626(6-1)A 1746(6-6)C	633(7-2)A 1757(7-6)C	630(11-1)A 1772(11-3)C
N		18(1-1)A (1-10)C	20(2-1)A (2-11)C	159(3-1)A (3-7)C	
SC		(35-1)A (35-10)C	(36-2)A (36-9)C	(40-1)A (40-14)C	
307h		SMA	(55-2)A	(57-2)A	(59-2)A
316			(55-26)C	(57-26)C	(59-26)C
326	QL	1832	1876	1533(47-2001)/R	
327h					
328h					
329h					

Tabla 23. Conectores para cables coaxiales (continuación)

NOTAS:

- /R sin receptáculo para cable
- a Ver MIL-HDBK-216 para información adicional en conectores receptáculos y adaptadores para varias familias.
- b Los números que no están en paréntesis son números UG; los números en paréntesis están abreviados.
MIL C-39012 números de parte (ejemplo (G-1) es (06-0001)) véase párrafo 1.2.3. de la especificación MIL-C-39012 para mayor explicación.
- c Los conectores de esta lista son clase 2 los cuales dan protección mecánica para un circuito de radiofrecuencia.
- d Conectores de presión, norma MIL-C-39012 designados con la letra C son categoría C.
- e Son conectores sin dispositivos de presión de la norma MIL-C-39012 y son categoría A, y no requieren herramientas para su ensamble.
- g Conectores para 70 Ohms
- h Conectores estandar no disponibles.

6.2.6. Conectores de precisión.

De especial interés son los conectores de precisión de 14 y 7 mm usados para mediciones de alta frecuencia ó en aplicaciones críticas de transmisión. La sección transversal y los valores de VSWR de estos conectores se muestra en la figura 46.

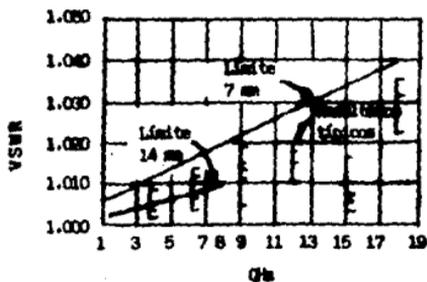
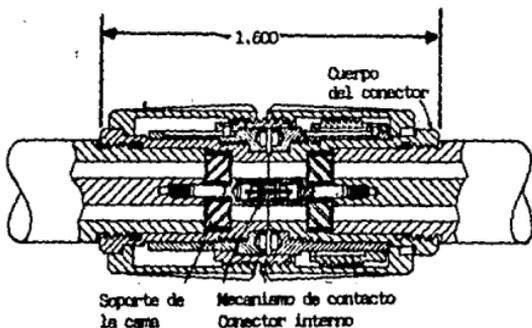


Figura 46. Sección transversal y VSWR para conectores de precisión de 14 y 7 mm.

6.3. Requerimientos generales de ensamble.

La eficiencia eléctrica y estabilidad de una línea de transmisión coaxial consiste en un cable terminado en cada uno de sus extre

mos con un conector que permita una impedancia acoplada igual, por lo que el acoplamiento de la impedancia entre el conector y el cable no depende precisamente de sus valores de impedancia individual, sino que también requieren un procedimiento exacto de ensamble, ya que un mal ensamble puede producir discontinuidades que resulten en reflexiones hacia la fuente.

A continuación se muestra un método de protección para el ensamble de cables coaxiales:

- 1) Los conectores deberán ser propiamente ensamblados al cable.
- 2) Después de que dos cables son conectados, se aplicará cinta atrás del conductor para dar un contorno suave entre el conector y el cable, ver figura 47a.

- 3) Aplíquese varias capas de cintas, con un 50% de traslape sobre toda la unión, las cintas deberán ser aplicadas en direcciones contrarias y con un mínimo de 4 capas.

- 4) Las cintas aplicadas deberán extenderse en cada conector en una distancia igual a 8 a 12 veces el diámetro del cable y tendrán un contorno suave y simétrico, como se muestra en la figura 47b.

- 5) La cinta deberá ser de $\frac{1}{2}$ plg. ó $\frac{3}{4}$ de plg. de ancho en color negro, con un espesor de 0.007" plg. de acuerdo a la especificación MIL-I-7798.



(a)



(b)

Figura 47. Método de protección para un ensamble entre dos cables

Por último se debe enfatizar que se use o no la protección adicional, el ensamble apropiado del conector es primordial para lograr una operación satisfactoria tanto del conector como del cable en conjunto.

CAPITULO VII. Pruebas de laboratorio

Los métodos de prueba que a continuación se explican, están basados en la especificación 24-3395-4 a 24-3460-2 para cables coaxiales de radiofrecuencias editada por la gerencia de normas y especificaciones de Teléfonos de México.

7.1. Pruebas físicas y mecánicas.

7.1.1. Conductor interno

- a) El conductor interno debe ser un alambre ó alambres de cobre suave comercialmente puro, estañado o sin estañar y que cumpla con lo especificado por las normas NOM J-8 ó NOM J-36.
- b) Los conductores que sean un reunido de varios alambres deben satisfacer lo indicado en la norma NOM J-12.
- c) Las dimensiones del conductor interno se determinan como se indica en las normas NOM J-66 ó NOM J-129.

7.1.2. Dieléctrico

- a) El conductor interno debe aislarse con polietileno sólido - natural ó polietileno celular, estos materiales deberán satisfacer los siguientes requerimientos:
- b) Pruebas dimensionales:
Se debe tomar un tramo de cable que no haya sufrido maltrato mecánico, ni alargamiento previo, a este tramo se le hará un corte perpendicular y se le quitará la cubierta exte-

rior y el conductor externo, dejando al descubierto de 20 a 30 mm del dieléctrico, después se realizarán 5 mediciones del diámetro en 5 planos diferentes, perpendiculares a la sección transversal del cable, estas mediciones se realizarán en un comparador óptico.

	POLIETILENO SOLIDO		POLIETILENO
	BAJA DENSIDAD	ALTA DENSIDAD	CELULAR
* Esfuerzo a la tensión mínima Kg/mm ²	0.984	1.687	0.360
* Elongación final % mín.	300	200	250
* Doblez en frío 20 hrs a -10° C, fallas	0	0	—
* Pruebas de calor 7 días en aire a 100 +1° C, fallas	0	0	—
* Contracción máxima mm	3.18	3.18	—
* Adhesión mínima kg	1.36	1.36	4.54

Tabla 24. Requerimientos del polietileno sólido y celular

7.1.3. Conductor externo

a) De malla trenzada

El conductor exterior deberá ser de cobre suave estañado ó sin estañar o plateado, construido de acuerdo a la hoja de especificación de cada cable, también se deberá satisfacer el porcentaje de cubrimiento especificado el cual se verifica con el procedimiento que se describió en el inciso 5.3.3.

b) De cinta metálica

La cinta metálica deberá ser del material indicado en la --
hoja de especificación de cada cable y debe tener un traslapo de aproximadamente del 25 % del ancho de la cinta.

7.1.4. Cubierta exterior

- a) La cubierta exterior del cable debe ser de una capa extrudada de policloruro de vinilo, la cual debe satisfacer los siguientes requisitos.

PRUEBA	VALOR REQUERIDO	NORMA
* Esfuerzo de tensión mínimo	1.05 Kg/mm ²	NOM J-178
* Porcentaje mínimo respecto al valor inicial después de 120 hrs en aire a 100 ± 1 °C	85 %	NOM J-178
* Alargamiento final, mínimo inicial	100 %	NOM J-178
* Negro de humo, mínimo	0.9 %	(Para cubiertas de color negro)
* Doblez en frío 20 hrs a -10 ± 1 °C, Falles	0	
* Prueba de calor 7 días en aire a 100 ± 1 °C Falles	0	

Tabla 25. Requerimientos del PVC utilizado en cubiertas para cables coaxiales.

- b) El espesor de la cubierta exterior se determinará de acuerdo al método de prueba indicado en la norma NOM J-177.

7.2. Pruebas eléctricas

7.2.1. Esfuerzo del dieléctrico del núcleo.

Se deberá usar un equipo de alta tensión capaz de proporcionar el valor de tensión requerido, este valor deberá ser aplicado con -- una frecuencia de 60 Hz entre el conductor interno y el conductor exterior durante 60 segundos, después de esto el dieléctrico no debe -- presentar ruptura.

7.2.2. Prueba de arco de la cubierta.

La tensión aplicada durante la prueba de arco deberá ser al momento de la extrusión de la cubierta y el valor de esta prueba se especifica en la tabla 26.

ESPESOR NOMINAL DE LA CUBIERTA (MM)	TENSION DE PRUEBA RMS (Kv)	TENSION DE PRUEBA C.D. (Kv)
0.5 y menor	No requiere prueba	No requiere prueba
Mayor de 0.5 hasta 0.8	3	4.2
Mayor de 0.8 hasta 1.0	5	7.0
Mayor de 1.0	8	11.3

Tabla 26. Pruebas de arco para cubiertas

7.2.3. Resistencia del aislamiento en seco.

En esta prueba se aplicará una tensión al conductor interno, -- aterrizando el conductor externo, todo esto conforme a la norma --- TELMEX Básica 7, y la medición de la resistencia del aislamiento con

un megóhmetro, en el cual la lectura debe estar conforme al valor indicado por la hoja de especificación del cable.

7.2.4. Prueba de descarga.

Esta prueba se realizará con un equipo de alta tensión capaz de proporcionar la tensión requerida a una frecuencia de 60 Hz, junto - con un osciloscopio de entrada mayor de 1 mA .

Durante la prueba si la tensión es de 3000 volts ó menor, esta debe incrementarse a una razón máxima de 50 volts/seg; cuando la tensión sea mayor de 3000 volts la razón de incremento máxima, será de 100 volts/seg, la duración total de la prueba no deberá ser mayor de 5 minutos.

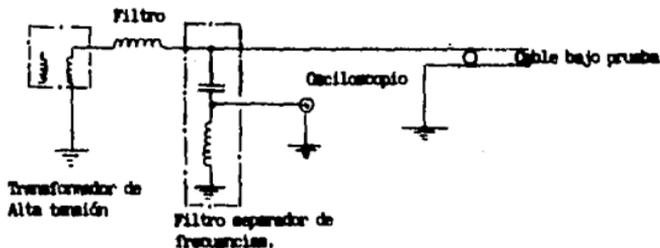


Fig. 48 Circuito de la prueba para descarga.

7.2.5. Impedancia característica.

La impedancia característica Z_0 , debe ser medida a 200 Mhz si la hoja de especificación del cable no indica una frecuencia diferente, este debe medirse por el método indicado a continuación:

En este método la capacitancia debe medirse a una frecuencia entre 500 Hz a 1 Mhz.

a) Equipo:

Generador de señales, capaz de proporcionar la frecuencia requerida.

Detector aperiódico

b) Preparación de la muestra:

Cuando la capacitancia es medida en una muestra cuya longitud es una fracción apreciable de la longitud de onda, el valor debe corregirse tomando en cuenta la longitud eléctrica de la muestra. En caso contrario se utilizará una bobina completa.

c) Procedimiento:

Conectar la longitud adecuada de cable al generador de señales y al detector aperiódico.

- El generador debe ser previamente calibrado a la frecuencia deseada.

- Observar la lectura del detector, con el extremo del cable abierto o cortocircuitado, la variación de la frecuencia resulta en un cambio periódico de la impedancia de entrada del cable, la cual se manifiesta como una variación periódica de la lectura del detector. La diferencia de frecuencia entre dos mínimos (o dos máximos) indica la longitud eléctrica del cable y por lo tanto la velocidad de propagación en este.

d) Calcular la impedancia media Z_m , con la diferencia de frecuencias y la capacitancia C de la longitud del cable bajo -

prueba de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Z_m = \frac{1}{2 \Delta f C}$$

Donde:

Z_m = Impedancia media ó impedancia característica

Δf = Diferencia de frecuencias en Hz

C = Capacitancia del cable en farads

7.2.6. Capacitancia

Esta se determinará como se indica en la norma NOM J-261

- El puente de capacitancia debe proporcionar una señal con frecuencia de 500 Hz a 1 Mhz.
- La medición debe hacerse con una exactitud de $\pm 1\%$ sobre la longitud mínima igual a 100 veces el diámetro sobre el dieléctrico.

7.2.7. Atenuación

La atenuación se determinará como a continuación se explica:

a) Equipo:

- Generador de señales capaz de proporcionar la frecuencia requerida en la hoja de especificación del cable.
- Atenuador calibrado
- Atenuadores resistivos (atenuadores Pad)
- Detector

b) Preparación de la muestra

- Tomar una longitud de cable con una atenuación mínima de - 10 db, la cual se colocará entre los atenuadores resistivo pad.

c) Procedimiento

- Armar el circuito del diagrama de bloques mostrado en la figura 49.
- Colocar una longitud adecuada de cable con una atenuación mínima de 3 db entre los atenuadores pad.
- Ajustar el generador de señales y el atenuador calibrado - para producir una indicación razonable en el detector, --- cuando el detector está sintonizado.
- Anotar la lectura del detector y registrar el nivel de salida del atenuador calibrado.
- Quitar el cable bajo prueba y completar el circuito con conectores (ó un cable de longitud muy corta)
Con el detector sintonizado, el atenuador calibrado es reajustado para producir la señal original en el detector --- cuando estaba el cable), y el nivel de salida del atenuador es nuevamente registrado.
- Calcular la atenuación con la siguiente fórmula:

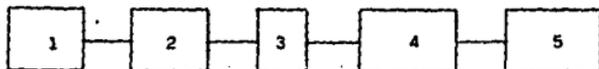
$$A = \frac{\text{Diferencias de lecturas en el atenuador calibrado}}{L}$$

A = Atenuación por unidad de longitud

L = Longitud del cable bajo prueba en metros

d) Resultado

- Expresar la atenuación en db/m y su valor debe estar de acuerdo a lo indicado en la hoja de especificación del cable probado.



1. Generador de señales y atenuador calibrado
2. Atenuador Pad
3. Cable
4. Atenuador Pad
5. Detector

Figura 49. Diagrama de bloques para la medición de la atenuación

CAPITULO VIII. Conclusiones

El principal objetivo de esta tesis, fué el dar al ingeniero to da una serie de parámetros que lo puedan ayudar, para seleccionar el tipo de cable coaxial que más se acomode a sus necesidades, ya sean de diseño, de proceso ó de sistema, por lo que haciendo un exámen so mero de este trabajo podemos entresacar las siguientes conclusiones:

- Los factores principales que intervienen en las características eléctricas de un cable coaxial referidos a su geometría son: el diámetro del conductor interno, el diámetro sobre el dieléctrico y - el material dieléctrico a utilizar, el cual nos definirá la constante dieléctrica, por lo que es de vital importancia cuidar las dimensiones anteriormente citadas, tanto en el diseño como en proceso de manufactura de un cable coaxial, para así poder reducir al mínimo -- las variaciones de ambos diámetros, para mantener las características eléctricas del cable constantes y evitar al máximo las pérdidas de transmisión en la señal.

- Otro factor importante, el cual se debe tener en consideración al momento de instalar un cable coaxial, es el acoplamiento de impedancias entre el cable, el sistema de transmisión y el conector, ya que si la impedancia de alguno de estos tres componentes es diferente, esto dará lugar a pérdidas por reflexión de onda.

- Una cuidadosa selección de los materiales utilizados en la -- construcción de un cable coaxial, es un factor importante para optimizar el funcionamiento de sus parámetros físicos, mecánicos y eléctricos.

- La extensa experiencia acumulada en los sistemas que utilizan cables coaxiales, permite asegurar que de acuerdo con los desarrollos actuales, este tipo de cables son de bastante confiabilidad en las líneas de transmisión de señales.

BIBLIOGRAFIA

- Brand Rex
Wire and cable
Engineering Guide
Publication WC - 78
Ernest F. Low
1978

- Manual of coaxial cable
Standard wire and cable, Los Angeles
January 1969

- Manual de cables coaxiales
Condux, Planta cables especiales

- Cable Television
John E. Cunningham
Second Edition, 1982
Editorial: Howard W Sams and Co. Inc.

- Handbook of wiring, cabling, and interconnecting
for electronics
Charles A. Harper, 1972
Mc Graw - Hill Book Company

- Servicio de Información Técnica
Csir Apartado Postal 395, Pretoria 0001

- Normas MIL C - 17

- Electric Cables Hand Book

McAllister

Mc Graw - Hill Book Company