

## Apantallamiento de los cables.

- Las Interferencias Electromagnéticas (EMI).
- La efectividad de los blindajes o pantallas.
- Pérdidas por absorción y reflexión.
- Tipos de blindajes: Capacitivo, Inductivo y RF.
- Efecto de las aperturas en las pantallas.
- Tipos de apantallamiento.
- El blindaje en los cables apantallados.
- Elección del cable apantallado.
- Métodos de prueba de los cables apantallados.
- Resumen y conclusiones.

Apantallamiento de los cables.

## Conceptos: EMI y blindaje.

- **Definición:**
  - Son el resultado del acoplamiento de:
    - campos eléctricos (capacitivos),
    - campos magnéticos (inductivos) y
    - campos electromagnéticos (radiación)
  - sobre un conductor o conjunto de conductores.
- **Protección contra EMI:**
  - La protección se realiza mediante blindajes o pantallas metálicas.
- **Blindaje:**
  - Superficie metálica que separa dos regiones.

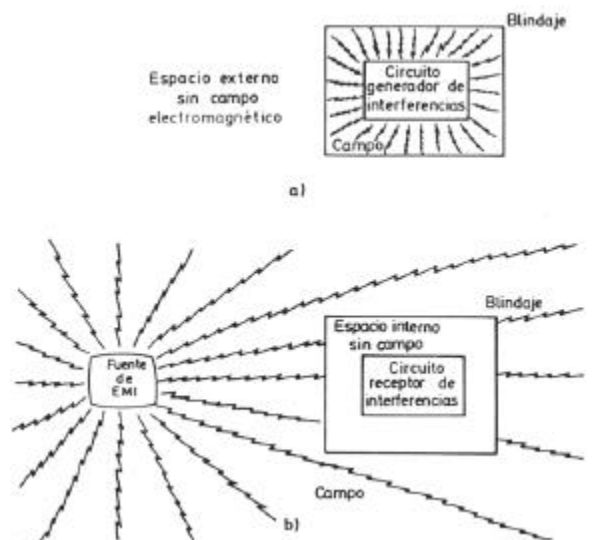
Apantallamiento de los cables.

## Objetivos , ámbitos y tipos de los blindajes:

- **Objetivos:**
  - 1°. No dejar salir el flujo electromagnético
  - 2°. No dejarlo entrar.
- **Ámbitos de los blindajes:**
  - Desde los Hz a los THz.
- **Tipos de blindajes:**
  - Cajas, armarios, juntas, láminas o pinturas conductoras, cables apantallados etc..

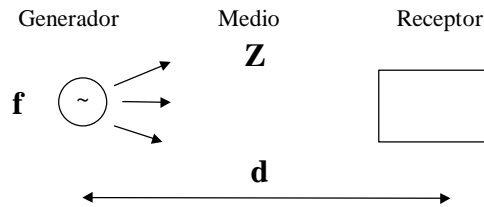
Apantallamiento de los cables.

## Blindaje figura:



Apantallamiento de los cables.

## Características de los Campos :



- Determinadas por:
  - La frecuencia del generador (  $f$  ).
  - La distancia del generador al receptor (  $d$  ).
  - La característica del medio (  $Z$  ).

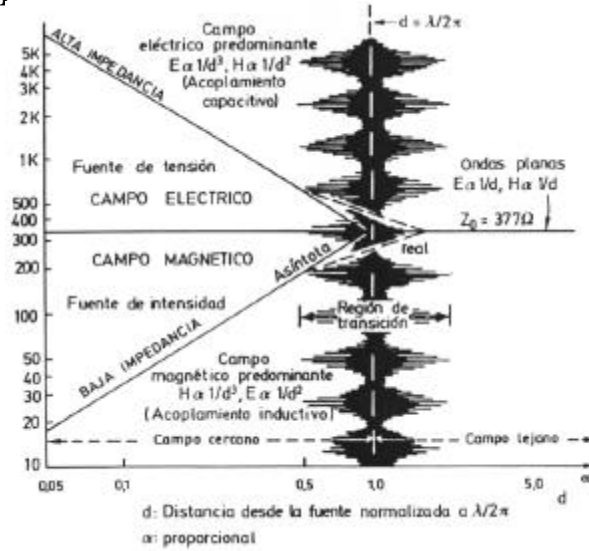
Apantallamiento de los cables.

## Estudio del campo electromagnético.

- Se diferencian tres zonas:
  - Campo Cercano ( $d < \lambda / 2\pi$ ) :
    - Influencia especial de la fuente del campo.
    - Si (Alta corriente y baja tensión)  $E/H < 377$  , predomina H
    - Si (Alta tensión y baja corriente)  $E/H > 377$  , predomina E
  - Campo Lejano ( $d > \lambda / 2\pi$ ) :
    - Influencia del medio de propagación.
    - $E/H = 377$  si el medio es aire o vacío.
  - Región de transición ( $d \sim \lambda / 2\pi$ ).
- Notas:
  - $\lambda$  (m) =  $C/f = 2,997925 * 10^8$  (m/s)/f (Hz)
  - Impedancia de onda se define como :  $E/H$

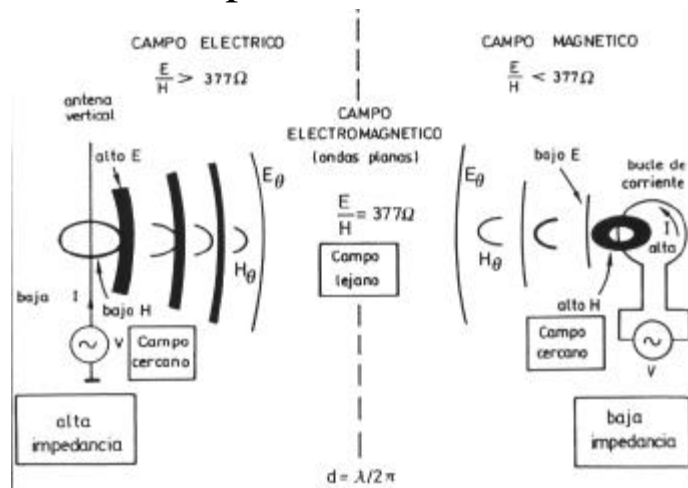
Apantallamiento de los cables.

## Impedancia de onda en función de d.



Apantallamiento de los cables.

## Comportamiento de E/H en función del tipo de fuente:



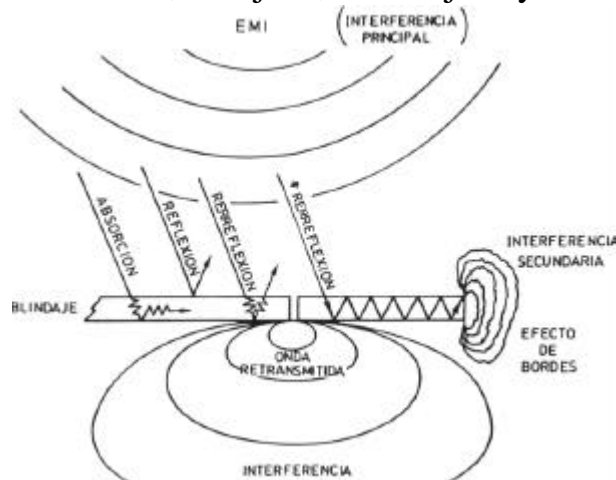
Apantallamiento de los cables.

## Efectividad de los blindajes

- Está definida por la atenuación de los campos eléctricos y magnéticos:
  - $S = 20 \log (E_0 / E_1)$  (dB) y  $S = 20 \log (H_0 / H_1)$  (dB)
  - donde  $E_0$  y  $H_0$  son las intensidades de campo incidente y  $E_1$  y  $H_1$  son las intensidades de campo que pasa el blindaje.
- La efectividad depende de:
  - La frecuencia
  - La geometría del campo
  - La posición de la medida y el tipo del campo
  - La polarización y la dirección de la incidencia.

Apantallamiento de los cables.

## Onda transmitida, reflejada, rerreflejada y absorbida



- Efectividad total (S):  $S = A + R + B$  (dB)

Apantallamiento de los cables.

## Las pérdidas por Absorción:

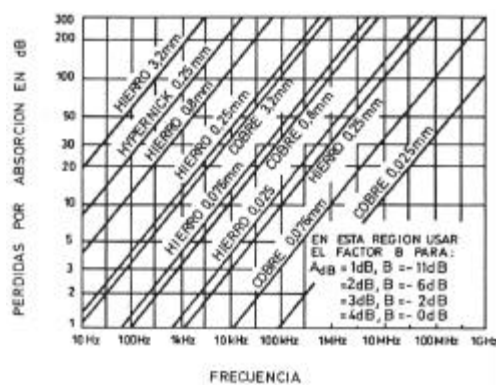
- Definición:
  - Es la atenuación que sufren los campos al atravesar el blindaje y es debida a las corrientes inducidas en el mismo.
- Profundidad de penetración ( $\delta$ )
  - Se define como la distancia requerida para que la intensidad de campo se atenúe el 36,7% ó ~ 9dB.
  - $\delta = (2 / (\omega \mu \sigma))^{1/2} = 0,0066 / (\mu_r \sigma_r f)^{1/2}$  [f en MHz]
- Son importantes en BAJA FRECUENCIA.
  - $A = 1314,3 t (\mu_r \sigma_r f)^{1/2}$  (dB)
    - t espesor en cm y f en MHz.

Apantallamiento de los cables.

## Tablas de $\delta$ y de pérdidas por Absorción

Frecuencia	$\delta$ para aluminio	$\delta$ para cobre	$\delta$ para aluminio	$\delta$ para Aluminio
100 Hz	0,028	6,60	8,46	0,66
1 kHz	0,008	2,08	2,67	0,20
10 kHz	–	0,66	0,84	0,08
100 kHz	–	0,20	0,28	0,02
1 MHz	–	0,08	0,08	0,008
10 MHz	–	0,02	0,01	0,002

( $\delta$  en mm)

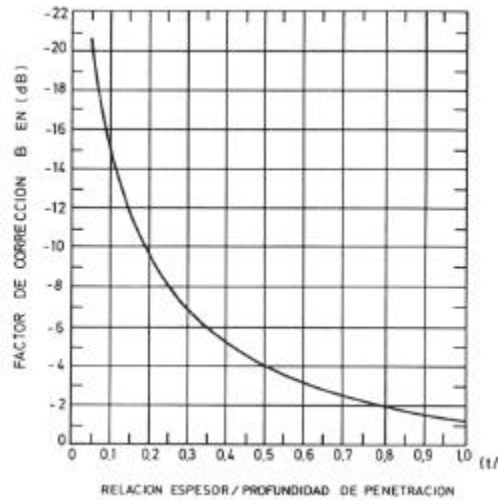


- $\delta$  de varios materiales
- Absorción en función de f

Apantallamiento de los cables.

## Factor de corrección B

- Definición:
  - El factor de corrección es debido a las multirreflexiones
  - $B = 10 \log (1 - e^{-2t/\delta})$  (dB)



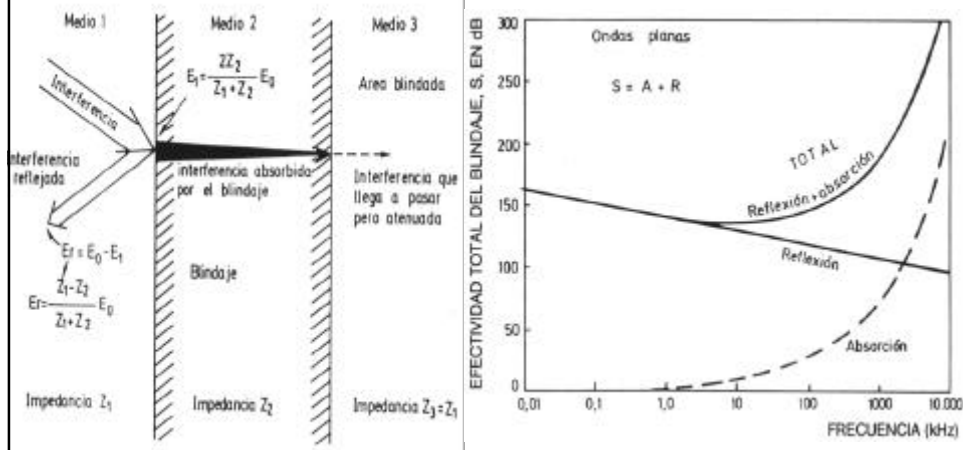
Apantallamiento de los cables.

## Pérdidas por Reflexión ( R )

- Origen de las pérdidas:
  - Las pérdidas por reflexión se producen por el cambio de medio ( impedancias características ). Dependen fuertemente del espesor del blindaje t frente a la profundidad de penetración  $\delta$  .
- Impedancia característica Z:
  - $|Z| = E/H = 3,68 \cdot 10^{-7} (f)^{1/2} (\mu_r / \sigma_r)^{1/2}$ , donde f (Hz).
- Cálculo de las pérdidas:
  - Campos eléctricos:  $R = 141,7 - 10 \log (\eta f^3 d^2 / s_r)$  dB
  - Campos Magnéticos:  $R = 74,6 - 10 \log (\eta / f d^2 s_r)$  dB
  - “ electromagnéticos:  $R = 108,1 - 10 \log (\eta f / s_r)$  dB

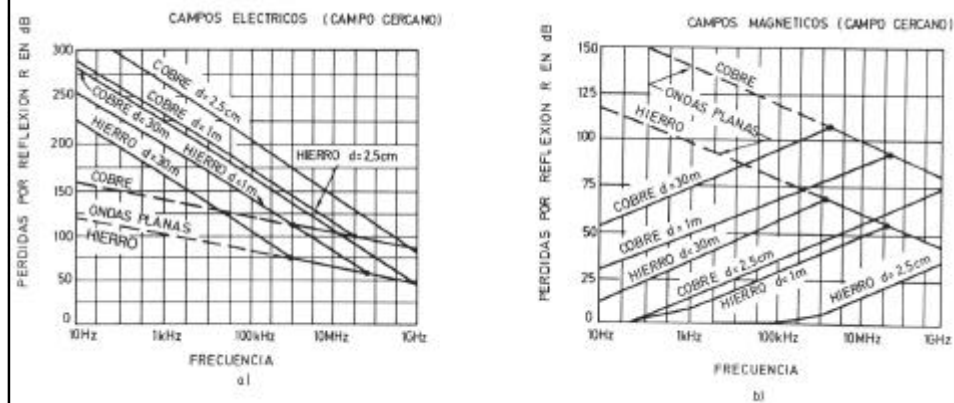
Apantallamiento de los cables.

## Pérdidas por reflexión.



Apantallamiento de los cables.

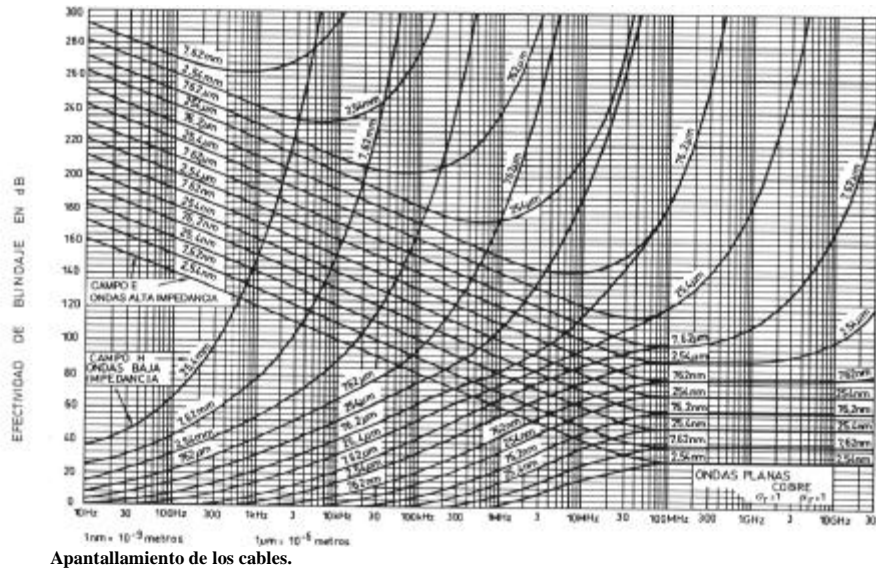
## Pérdidas por Reflexión Curvas características



Apantallamiento de los cables.



## Efectividad de un blindaje, curvas características.



## Clasificación de los Blindajes: I

- Capacitivo:
  - Evitar acoplamientos eléctricos (Jaula de Faraday).
  - Usan materiales conductivos (cobre, aluminio).
  - Importante la puesta a tierra.
- Inductivo:
  - Evitar acoplamientos magnéticos.
  - Usan materiales con alta permeabilidad.
  - Minimizar el área efectiva de bucles, cables próximos al plano de tierra

Apantallamiento de los cables.

## Clasificación de los Blindajes: II

- Radiofrecuencia:
  - Se utilizan en muchos casos dos blindajes, uno con alta conductividad y otro con alta permeabilidad, con objeto de maximizar las pérdidas por reflexión y absorción respectivamente.
  - Se utilizan materiales como:
    - ferromagnético galvanizado --> altas pérdidas por absorción.
    - Cobre dirigido hacia la fuente --> altas pérdidas por reflexión.

Apantallamiento de los cables.

## Efecto de las aperturas en las pantallas

- ¿Por qué hay aperturas ?
  - Por necesidades de ventilación
  - Por requisitos mecánicos.
- Efecto de éstas en la efectividad.
  - Disminución de la efectividad del blindaje debido al paso de las ondas electromagnéticas.
  - Poseen más importancia cuando se pretende apantallar campos magnéticos que eléctricos.

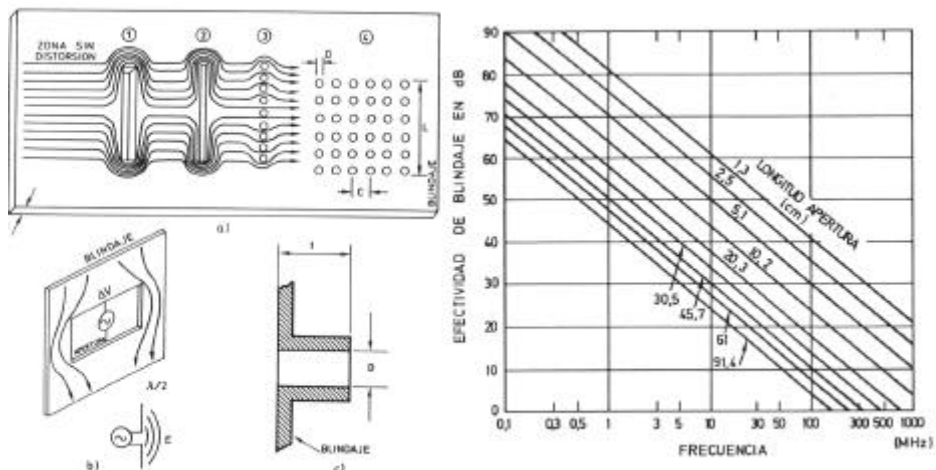
Apantallamiento de los cables.

## Efecto de las aperturas en las pantallas

- Características de las aperturas:
  - Suponen una pérdida de efectividad del blindaje.
  - La pérdida esta mas relacionada con la geometría de las aperturas que con el área de las mismas.
  - Son peores las ranuras rectangulares que las circulares.
  - Una ranura rectangular de longitud ( $l = \lambda/2$ ) equivale a un generador.
  - Existe una mejora de la efectividad si los agujeros tienen forma de guía de ondas.

Apantallamiento de los cables.

## Efecto de las aperturas y efectividad de los blindajes (gráficas)



Apantallamiento de los cables.

## Otras técnicas de apantallado.

- Juntas elásticas conductoras.
  - Gasket (junta metálica) ó malla tejida.
- Cajas de plásticos conductores.
  - Policarbonato, fibra de acero. Eficiencias > 40dB.
- Galvanizado selectivo.
  - Metales tales como: cobre, níquel, cobalto etc...
- Pinturas conductoras.
  - Basadas en grafito, cobre níquel y plata (70dB).
- Láminas conductoras. (adhesivas)
- Otras técnicas de depósito de capas conductoras.

Apantallamiento de los cables.

## El blindaje de los cables apantallados.

- Objetivo:
  - Evitar que las EMI se introduzcan o sean generadas por el cable en un medio concreto.
- Problema:
  - El problema es la dependencia de la efectividad de la pantalla de las frecuencias de las EMI.
- Construcción de los blindajes de cables:
  - Se realiza recubriendo los mismos con mallas de tejido metálico de distintas características en función de con que estén mezclados ( plásticos o fibras metalizadas).
  - Cuanto mayor contenido metálico mayor eficiencia.

Apantallamiento de los cables.

## Efectividad frente a la frecuencia

- Cable trenzado apantallado:
  - Usados hasta  $f \sim 100\text{KHz}$ .
- Cable coaxial:
  - Usados de CC hasta frecuencias de UHF.
  - En altas frecuencias se comporta como triaxial por el efecto pelicular.
- Cable tricoaxial:
  - Usado para obtener mejores relaciones Señal/Ruido.
- Cable cuadraxial:
  - Usado para transportar señales de pequeño nivel en ambientes con grandes interferencias.

Apantallamiento de los cables.

## Blindajes trenzados:



- Contrucción:
  - Grupos de cobre o aluminio trenzados en sentidos horarios y anti-horarios.
- Efectividad:
  - Bajas frecuencias por tener menor resistividad.
  - Usados en audio y RF.
- Otras características:
  - Cobertura habitual 80% y 95%.
  - Son más pesados, voluminosos y difíciles de conectar.

Apantallamiento de los cables.

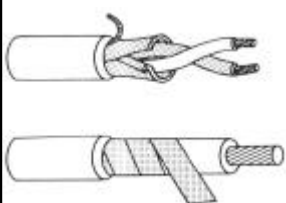
## Blindajes en forma espiral:



- **Construcción:**
  - Se trata de un conductor en forma de espiral dispuesto alrededor del conductor interno.
- **Efectividad:**
  - Posee mayor cobertura 97% y es más flexible.
- **Aplicación:**
  - Baja frecuencia y audio.
  - No se debe usar con frecuencias superiores a 20KHz por efecto inductivo de la espiral.

Apantallamiento de los cables.

## Blindajes laminados:



Los cables laminados espirales tienen mayor inductancia.

Apantallamiento de los cables.

- **Construcción:**
  - Se construyen con una capa de aluminio laminado junto a una película de poliéster o polipropileno.
- **Efectividad:**
  - Tienen mayor solidez mecánica, mayor cobertura, menor peso y volumen.
  - Mayor resistencia en continua.
- **Aplicación:**
  - Usados para protecciones electrostáticas apantallando cables de pares.
  - Reducir la diafonía.
  - Efectivos en RF.

## Blindajes combinados:



- **Construcción:**
  - Se construyen combinaciones de los anteriores.
  - Especialmente lámina/trenza.
- **Efectividad:**
  - Cobertura 100%, baja resistencia en continua.
- **Aplicación:**
  - Unos tipos especiales son los cables absorbentes: equilibrados ( líneas paralelas) y los coaxiales.
  - Coaxiales absorbentes sustituyendo el aislante por absorbente de ferrita que se comporta como un filtro paso bajo.

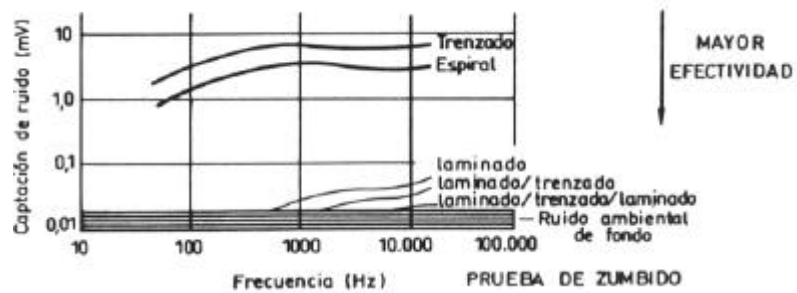
Apantallamiento de los cables.

## Acoplamiento capacitivo:

- **Se debe a:**
  - Los conductores del cable y a la fuente.
- **Efectos en función de la frecuencia:**
  - $f < 100\text{KHz}$  efecto es debido al acoplamiento directo del campo eléctrico. Se puede determinar por medio de la prueba de zumbido.
  - $f > 100\text{KHz}$  existen acoplamientos capacitivo e inductivo. Se puede determinar por la impedancia de transferencia.
- **Efectividad de los blindajes:**
  - Se bloquea con alto porcentaje de cobertura de los blindajes.
  - La efectividad de blindajes:
    - laminado / trenzado / laminado > laminado > espiral > trenzado.

Apantallamiento de los cables.

## Acoplamiento capacitivo:



Apantallamiento de los cables.

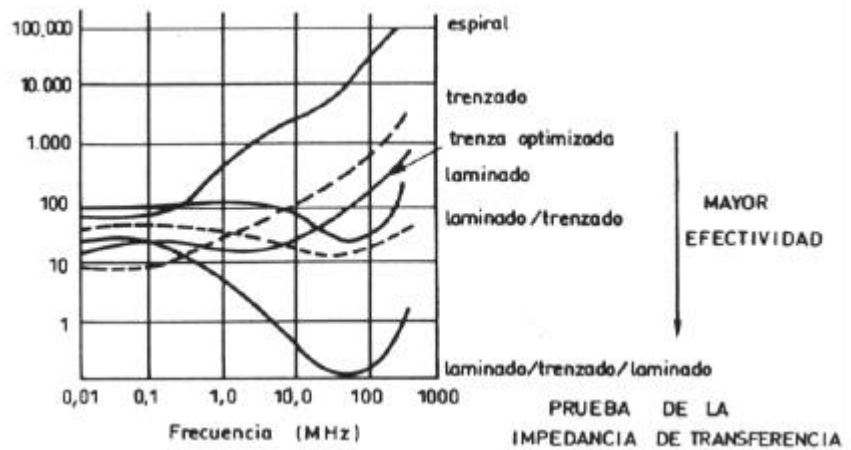
## El acoplamiento por conducción:

- Se debe a:
  - La resistencia del apantallamiento en bajas frecuencias.
  - Se denomina también: acoplamiento por difusión.
- Modelado:
  - $V_t = Z_t * I_o$ .
  - $V_t$  es la tensión de interferencia inducida por la corriente  $I_o$  circulando por el blindaje.
- Efectividad contra este tipo de acoplamientos:
  - Mayores efectividades cuanto mayor sea la conductividad del blindaje.
  - Mejor trenzado que laminado.  $F < 100\text{Hz}$

Apantallamiento de los cables.



## El acoplamiento por conducción:



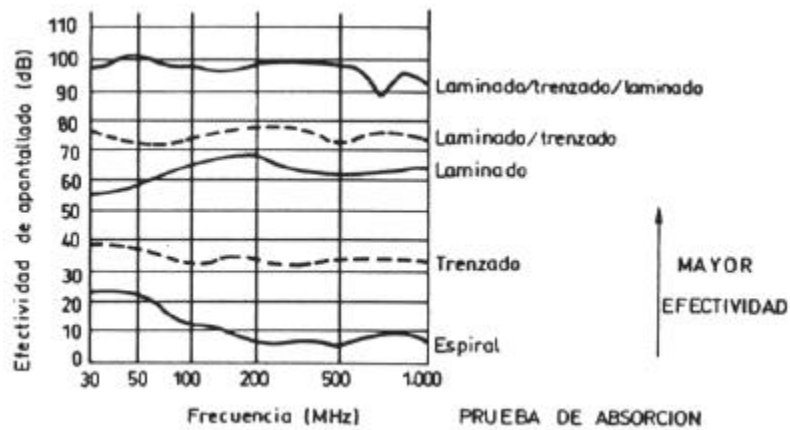
Apantallamiento de los cables.

## El acoplamiento inductivo:

- Se debe a:
  - Al acoplamiento magnético a través de las hendiduras de la estructura del blindaje.
- Interpretación:
  - Es la parte reactiva de la impedancia de transferencia a altas frecuencias.
  - Predomina a frecuencias  $> 70\text{MHz}$ .
- Características de los distintos tipos de blindajes:
  - Espiral: debido al efecto inherente de bobina.
  - Trenzado: debidos al acoplamiento en las hendiduras, al efecto residual de espirales opuestas y la posición radial (dentro, fuera) de las espiras.
  - Laminados: debido a la hendidura longitudinal solapada y al pequeño efecto de bobina de la lámina.

Apantallamiento de los cables.

## El acoplamiento inductivo:



Apantallamiento de los cables.

## Selección de los cables apantallados. I

- **Cable apantallado laminado:**
  - Protección contra acoplamiento capacitivo.
  - Interferencias de tipo: TV, diafonías, radiotransmisores, luces fluorescentes o equipos de ordenadores.
  - Usado para señales de vídeo, redes locales, etc..., donde las EMI son reducidas.
- **Cable apantallado trenzado:**
  - Protección contra acoplamientos por conducción. Donde se requiera que la  $R_{dc}$  sea baja.
  - Cuando las fuentes de EMI exhiban bajas impedancias características como cargas inductivas y controladores de motores.
  - Usados para interconectar ordenadores y periféricos, instrumentación o aplicaciones de control.

Apantallamiento de los cables.

## Selección de los cables apantallados. II

- **Cable apantallado en espiral:**
  - Indicado para blindar acoplamientos capacitivos y por conducción en audiofrecuencias.
  - Cuando las fuentes de EMI son líneas de distribución de electricidad y luces fluorescentes.
  - Usados en cables de micrófonos y audio en general.
- **Cable apantallado combinado:**
  - Indicado para acoplamientos por inducción en alta frecuencia y para descargas electrostáticas.
  - Interferencias de tipo radio transmisores, estaciones de TV etc.
  - Usado para señales de vídeo, redes locales, cables de E/S y en general donde los niveles de EMI son elevados.

Apantallamiento de los cables.

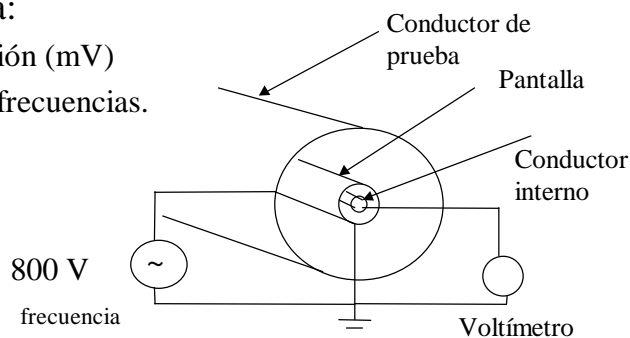
## Métodos de prueba de cables apantallados

- **Tipos de pruebas:**
  - Prueba de zumbido o de acoplamiento capacitivo.
  - Impedancia de transferencia.
  - Prueba de absorción.
  - Prueba de antena.
  - Prueba a las descargas electrostáticas.

Apantallamiento de los cables.

## Prueba de zumbido.

- Objetivo:
  - Medir la efectividad del blindaje contra el acoplamiento de campo eléctrico a baja frecuencia.
- Metodología:
  - Medir tensión (mV)
  - a distintas frecuencias.



Apantallamiento de los cables.

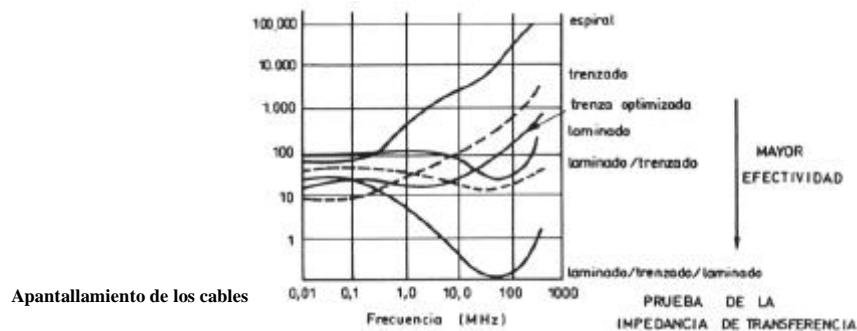
## Impedancia de transferencia. I

- Es la más ampliamente utilizada.
- Objetivos:
  - Evaluar blindajes contra descargas electrostáticas, contra radiaciones electromagnéticas entre 1Hz y 1GHz, contra acoplamiento por conducción y para medir el acoplamiento capacitivo entre 30MHz y 1GHz.
- $Z_t = (1/I_o) (dv_t/dz)$ 
  - donde  $I_o$  Intensidad de interferencia introducida por un generador en la superficie externa de la pantalla.
  - $dv_t/dz$  es la tensión por unidad de longitud generada por  $I_o$  en la superficie interna de la pantalla.

Apantallamiento de los cables.

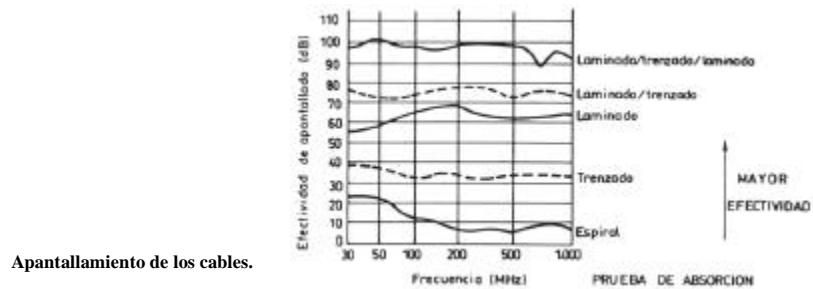
## Impedancia de transferencia. II

- Interpretación de  $Z_t$ :
  - Bajas frecuencias: Representa la resistencia lineal de la pantalla.
  - A altas frecuencias existen dos efectos:
    - $Z_t$  decrece debido al efecto pelicular.
    - $Z_t$  aumenta debido a la estructura de una pantalla trenzada.



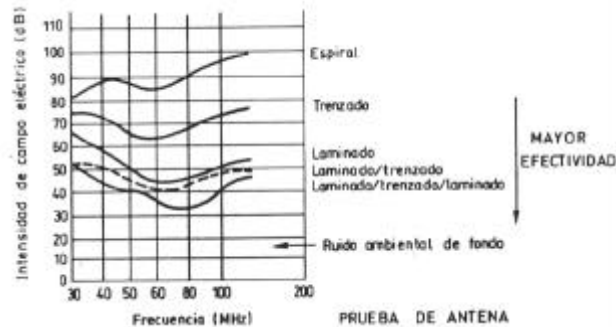
## Prueba de absorción.

- Objetivo:
  - Detectar fugas de señal de forma inductiva.
- Metodología:
  - Se mide con un detector de campos electromagnéticos a lo largo del cable de prueba.
  - Se registran los valores máximos y se comparan con los que se miden en un cable con las mismas características sin blindaje.
  - La efectividad se mide como la diferencia entre ambas medidas.



## Prueba de la antena.

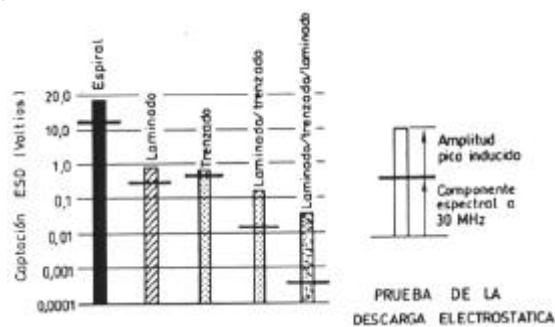
- **Objetivo:**
  - Ver las radiaciones emitidas por el cable como antena.
- **Metodología:**
  - Se coloca el cable en posición vertical con plano de tierra aplicando la señal de un generador y se mide con una antena móvil y un analizador de espectro electromagnético. Se analiza en el margen de frecuencias (30MHz a 1GHz).



Apantallamiento de los cables.

## Prueba a descargas electrostáticas.

- **Objetivo:**
  - Medir el comportamiento del cable ante descargas electrostáticas.
- **Metodología:**
  - Se aplican a un extremo del blindaje descargas y se mide en el cable central mediante un osciloscopio de banda ancha. Cuanto menor es la tensión detectada mejor es la eficiencia.



Apantallamiento de los cables.