

El DIELECTRICO en los coaxiales de bajas pérdidas

Por José Luis Giordano, CA4GIO.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la gran variedad existente de líneas de transmisión coaxiales, hay un grupo denominado "de bajas pérdidas" (Low Loss Coax) al que pertenecen coaxiales cuyo dieléctrico es **espuma de polietileno, PE(F)**. En este artículo se explica el motivo por el cual se utiliza este material y cuál es la principal característica que debe observarse cuando se busca un coaxial de bajas pérdidas.

LAS PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES DE UN COAXIAL

En varias ocasiones he escuchado que los coaxiales que usan PE(F) tienen menos pérdidas porque el aire en las burbujas de la espuma es mejor aislante eléctrico que el **polietileno sólido (PE)**. Si bien es cierto que debido a la presencia del aire en las burbujas, la resistividad eléctrica media del material es un poco mayor, no es eso lo que relaciona a los dieléctricos de espuma con los coaxiales de bajas pérdidas, como se muestra a continuación.

El **efecto pelicular** en una línea coaxial hace que la corriente fluya en un sentido por una capa superficial del conductor central, y en el sentido contrario en una capa superficial interior del conductor de la malla o blindaje (que está en contacto con el dieléctrico). El espesor atravesado por la corriente se vuelve más delgado conforme aumenta la frecuencia f de operación, disminuyendo la sección transversal efectiva y consecuentemente aumentando la resistencia eléctrica. Por lo tanto, debido al efecto pelicular, las pérdidas aumentan con la frecuencia. No obstante, como el diámetro d del conductor central es al menos unas 3 veces menor que el diámetro interior D del blindaje, **aproximadamente el 75% de las pérdidas producidas por el efecto pelicular se generan en el conductor central.**

Para justificar esa afirmación supongamos (para simplificar) que el conductor central y el blindaje están compuestos por el mismo material conductor no magnético (cobre o aluminio) de conductividad eléctrica σ_c y permeabilidad magnética $\mu_c = \mu_0$ (siendo μ_0 la permeabilidad en vacío, una constante universal). Entonces, a una dada frecuencia f de opera-

ción, si la resistencia eléctrica específica total R' de una línea de transmisión coaxial es la suma entre la resistencia específica R_d' del conductor central (de diámetro d) y la resistencia específica R_D' del interior del blindaje (de diámetro D), se puede demostrar que[1]

$$R' = R_d' + R_D' = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \sqrt{\frac{\pi f \mu_c}{\sigma_c}}$$

Las comillas son para indicar que son cantidades "específicas", es decir por *unidad de longitud* (en Ω/m en este caso). Luego, teniendo en cuenta que

$$D \sim 3d$$

reemplazando en R_D' se ve que R_d' prácticamente al menos es 3/4 de R' . Es decir, 3/4 partes o más de las pérdidas del coaxial se generan en el conductor central, como se había anticipado.

REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS

La dependencia con d y con D que se ve en la expresión de R' , indica lo que se debe hacer para fabricar un coaxial con menos pérdidas. Uno de este tipo, como por ejemplo el cable LMR-400, logra tener menor atenuación que cables de similar diámetro $\emptyset$ como el RG8 o el RG213, gracias al aumento del diámetro d del conductor central. Como ejemplo, se pueden ver las dimensiones de varios coaxiales en la Tabla 1, donde se comparan algunos coaxiales de 50 Ω . Hay 3 grupos según su diámetro exterior total: $\emptyset \sim 5$ mm, $\emptyset \sim 10$ mm, y $\emptyset \sim 15$ mm. Se compara primero el cable RG58C/U (Datasheet de Pasternack) con el "Low Loss Flexible RG8X Type" PE-C240 (Pasternack). Luego se comparan el RG8A/U y el RG213/U (Pasternak) con el LMR-400 "Flexible Low Loss Communications Coax" (Times MS). Finalmente, como referencia, se incluyen 2 cables mayores de bajas pérdidas: LMR-600 (Times MS) y LDF4-50A, Heliac® (Commscope). La última columna muestra la atenuación en dB para 100 m de cable a 150 MHz.

Coaxiales y sus parámetros mencionados en el artículo							
Coaxil	$\varnothing$ (mm)	Diel.	d (mm)	D (mm)	V_F (%)	$\ln(D/d) V_F$ (adim.)	dB/100m @ 150MHz
RG58C/U	4.95	PE	0.91	2.95	65.9	0.78	20.10 [2]
PE-C240 (RG8X)	6.10	PE(F)	1.42	3.94	84.0	0.86	11.15
RG8A/U	10.29	PE	2.16	7.24	66.0	0.80	8.07 [2]
RG213/U	10.29	PE	2.29	7.24	66.0	0.76	8.77
LMR-400	10.29	PE(F)	2.74	7.24	84.0	0.82	5.00
LMR-600	14.99	PE(F)	4.47	11.56	85.0	0.81	3.20
LDF4-50 Helix®	16.00	PE(F)	4.83	12.95	88.0	0.87	2.67

Se observa que coaxiales con pérdidas menores aún que las pérdidas de los coaxiales de $\varnothing \sim 10\text{mm}$, se logran con un diámetro exterior $\varnothing$ mayor, que les permite tener un conductor central también mayor (como los LMR-600 y LDF4-50 Helix®).

EL ROL DE LA ESPUMA

Cuando se comparan dos coaxiales de aspecto similar pero donde uno es de bajas pérdidas y el otro no, para ser considerado como "reemplazo" o compatible con los mismos conectores y sitios de instalación, el coaxial de bajas pérdidas debe mantener un diámetro exterior total $\varnothing$ similar, y sobre todo manteniendo la misma impedancia característica Z_0 (50 o 75 Ω por ejemplo). Para ver la relación entre las dimensiones y el dieléctrico, consideramos la expresión

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

de la impedancia característica,[1] siendo la inductancia específica (en H/m):

$$L' = \mu \frac{\ln(D/d)}{2\pi}$$

y la capacitancia específica (en F/m):

$$C' = \varepsilon \frac{2\pi}{\ln(D/d)}$$

En estas expresiones μ y ε son respectivamente la permeabilidad magnética y la permitividad eléctrica del dieléctrico. Como los polímeros no son magnéticos, es $\mu = \mu_0$, y además $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$, donde ε_r es la constante dieléctrica del dieléctrico y ε_0 es la permitividad en vacío (otra constante universal). Luego, reemplazando y arreglando los términos se obtiene

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{2\pi} \times \ln\left(\frac{D}{d}\right) \times \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

donde la constante η_0 es la impedancia intrínseca en el vacío:

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \approx 376.73 \Omega$$

y donde el tercer factor es el factor de velocidad de la línea de transmisión:

$$V_F = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

Consecuentemente, se ve que para mantener constante el valor de Z_0 cuando se cambian los diámetros, debe ser

$$\ln\left(\frac{D}{d}\right) \times \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} \approx \text{constante}$$



Luego, al aumentar el diámetro d del conductor central sin cambiar tanto el diámetro D (para que el diámetro exterior $\emptyset$ no cambie demasiado), disminuirá la relación D/d y entonces disminuirá también el logaritmo $\ln(D/d)$. Por lo tanto, para compensar habrá que aumentar V_F , es decir hay que disminuir la constante dieléctrica ϵ_r . Como para el PE es $\epsilon_r \approx 2.3$, [3] una forma de disminuir ϵ_r es usar el mismo material pero con burbujas de aire (es decir, mezclarlo con la permitividad $\epsilon_r = 1$ del aire). De este modo el valor medio de la constante dieléctrica puede ser $\epsilon_r \approx 1.5$ o menor. Por esta razón, muchos cables coaxiales de bajas pérdidas tienen un conductor central de mayor diámetro rodeado por un dieléctrico de espuma de PE (lo cual hace que, en los coaxiales de bajas pérdidas, el factor de velocidad sea 0.82 o mayor).

Por lo tanto, un factor de velocidad igual o superior a 0.82 o que el dieléctrico sea de espuma, son las dos características visibles que nos indican que se trata de un coaxial de bajas pérdidas. Sin embargo, el rol de la espuma no es disminuir las pérdidas sino mantener el valor Z_0 cuando se ha aumentado el diámetro d del conductor central, que es lo que realmente hace que las pérdidas sean menores.

Dentro de los cables mayores como los Heliax®, hay algunos cuyo blindaje es un tubo de cobre corrugado que tiene cavidades con aire para disminuir la constante dieléctrica media y así permitir un conductor central con diámetro mayor manteniendo los 50 Ω (Existen otros métodos para incorporar aire en el dieléctrico, pero son menos comunes en los cables usados por radioaficionados).

REFERENCIAS

[1] Ver, por ejemplo, Fawwaz T. Ulaby and Umberto Ravaioli, Fundamentals of Applied Electromagnetics 8th Ed., Global Ed. (Pearson: Essex, 2023).

[2] Valores de atenuación extrapolados con el método publicado por el autor en "Atenuación de un cable coaxial a una frecuencia diferente", Radioaficionados, Julio 2023, 16.

[3] La constante dieléctrica se obtiene del factor de velocidad publicado en las hojas de especificaciones de los coaxiales.

¿Desea colaborar escribiendo para la Revista RCA?

Lo invitamos a compartir con la comunidad de lectores sus artículos técnicos o de actualidad

Solicite la guía editorial a revistarca@lu4aa.org

BOLETÍN ELECTRÓNICO DEL RCA

El Radio Club Argentino

edita para todos los radioaficionados un boletín electrónico que se distribuye periódicamente, con informaciones, comentarios y artículos de carácter general.

Para recibirlo, enviá un correo electrónico a la dirección
newsletter@lu4aa.org
sin ningún texto, indicando en el asunto la palabra "suscribir".