

## Formulación de los parámetros de una Línea de Transmisión coaxial

La instalación de una antena en la azotea de nuestra vivienda, o en el jardín, o en cualquier otro punto más o menos alejado del transceptor, comprende una línea de transmisión que enlace el equipo con la antena.

Esta línea, en el día de hoy, es normalmente un cable coaxial adquirido en el comercio. Lo normal es elegir un cable, lo más gordo posible para minimizar las pérdidas de potencia en el mismo y entregar a la antena el máximo de potencia posible. Su comportamiento al respecto siempre supone una estimación aún en el supuesto de que hayamos conseguido una adaptación perfecta, que casi nunca se alcanza y que es un tema para tratar en otro momento. Sabemos qué longitud de cable hemos instalado y las pérdidas del mismo las proporciona el fabricante pero casi nunca a la frecuencia que nos interesa por lo que tenemos que fijar una cifra de pérdidas, “más o menos”.

Pero siempre existe el OM curioso que le gustaría conocer la pérdida teórica de ese cable a una frecuencia determinada, así como el resto de parámetros que determinan sus características eléctricas. Principalmente a este tipo de radio aficionados y curiosos está dedicado este artículo. En él, trataremos de “fotografiar” al cable que tenemos en nuestra estación.

Un cable coaxial, como línea de transmisión, queda definida por los siguientes parámetros:

- L.-** Inductancia de la línea por unidad de longitud; Henrios/metro
- C.-** Capacidad entre conductores, por unidad de longitud; Faradios/metro
- $\epsilon_r$ -** Constante dieléctrica relativa del aislante; adimensional

Estos tres parámetros sólo dependen de la geometría y física de la línea (naturaleza y dimensiones de los conductores y del dieléctrico que los aísla).

- R.-** Resistencia óhmica de la línea a la RF.- Ohmios/metro
- G.-** Conductancia entre conductores a través del dieléctrico.- Siemens/metro
- $\alpha$ -** Atenuación a la frecuencia de interés.- dB/m
- Zo.-** Impedancia característica de la línea

Los datos de partida que podemos disponer de un cable coaxial, no son uniformes ya que los diversos fabricantes tienen criterios diferentes a la hora de proporcionar datos en sus hojas técnicas, existiendo además, ligeras variaciones en sus valores.

Afortunadamente, existe suficiente bagaje de fórmulas que suplen esta falta de datos.

Las hojas técnicas más completas que he encontrado han sido las de Belden y las de LMR.

Así mismo y dada la gran variedad de tipos de cable existentes en el mercado, nos vemos obligados a acotar los tipos de cable a analizar, por lo que nos fijaremos en uno en particular, de uso muy común en nuestro entorno como es el cable RG-213 fabricado por BELDEN con código 8267.

El fabricante, nos proporciona la siguiente información en su hoja de datos:

Diámetro conductor interior.-  $a = 2'2606 \text{ mm}$   
 Diámetro conductor exterior.-  $b = 7'239 \text{ mm}$  (igual que el espesor del dieléctrico)  
 Zo nominal.-  $Z_o = 50 \Omega$   
 Inductancia del cable.-  $L = 0'252637 \mu\text{H/m}$   
 Capacidad del cable.-  $C = 101'055 \text{ pF/m}$   
 Velocidad de propagación.-  $V_p = 0'66$   
 Constante dieléctrica.-  $\epsilon_r = 2'3$

Tabla de atenuaciones

Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/100m)
1	0.88587
10	1.80455
50	4.2653
100	6.2339
200	8.8587
400	13.4521
700	21.3265
900	24.9356
1000	26.248

El resto de los datos proporcionados, no son interesantes para nuestro propósito y vemos que en la tabla proporcionada por Belden, no figura la atenuación a ninguna de nuestras frecuencias (excepto los 10 y 50 MHz)

La formulación existente en la literatura técnica, considera la línea sin pérdidas que en la práctica no es el caso. Aunque en los cables coaxiales dedicados al transporte de RF y datos, este es un punto que se cuida al máximo, no podemos evitar la presencia de alguna atenuación y como esta pérdida es dependiente de la frecuencia, también sufriremos distorsión cuando se transmita una banda de frecuencias.

La determinación de los parámetros de una línea en el mundo real pasa por considerar de una manera un tanto complicada para nuestro cable a una frecuencia concreta.

Este cable es bastante uniforme en su constitución, dado que sólo emplea cobre en sus conductores ya que hay otros cables que incluyen además, aluminio y/o cobre plateado.

Así mismo su dieléctrico es polietileno (PE) macizo de baja densidad (LDPE).

Su "camisa" es de PVC resistente a los rayos UV.

El fabricante, proporciona una tabla de frecuencia/atenuación a unas determinadas frecuencias, como se puede observar en la tabla de Belden.

Veamos un ejemplo:

Vamos a determinar la atenuación teórica de 25 metros de cable coaxial, RG213 (Belden) para una frecuencia de 21,15 MHz

Formulación de todos los parámetros

	Frecuencia de trabajo.- F (MHz)	21,15	MHz
DATOS DEL FABRICANTE	Diámetro del conductor externo (espesor dieléctrico).- "b"	7'239	m/m
	Diámetro del conductor interno	2'2606	m/m
	Zo	50	$\Omega$
	Capacidad.- C	101'055	$\rho F/m$
	Inductancia.- L	0'252637	$\mu H/m$
	Factor de velocidad de propagación.- Vp	0,66	
CONSTANTES ELECTRICAS	Permitividad del vacío.- $\epsilon_0$	$8'8542 \times 10^{-12}$	F/m
	Permitividad relativa del dieléctrico (polietileno sólido).- $\epsilon_r$	2'3	
	Factor de disipación o tangente de pérdidas.- Tg $\delta$	0'0003	
	Permeabilidad del vacío.- $\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$	H/m
	Conductividad del cobre.- $\sigma_{cu}$	$5'813 \times 10^7$	S/m
	Velocidad de propagación en el vacío.- Vo	$3 \times 10^8$	m/s
CALCULOS y RESULTADOS	b/a	3,491	
	Resistividad del cobre a 21'15 MHz.- Rs	0,001198491	$\Omega/m$
	Resistencia distribuida del cable.- R	0,23661	$\Omega/m$
	Conductancia.-G	0,00000022	S/m
	Constante de fase.- $\beta$	0,664446846	rad/m
	Atenuación nominal en Nepers y decibelios.- $\alpha$	0,002366	Np/m
		0,020551607	dB/m
	Atenuación de los 25 mts de cable	<b>0,514</b>	dB

Si suponemos que nuestro transmisor proporciona 100 Watios a la línea, los 0'514 decibelios de pérdida en los 25 metros de longitud, suponen 11'2 Watios perdidos en forma de calor en el cable y que la antena se alimenta con 88'8 Watios, supuesta una adaptación perfecta.

La atenuación teórica es de 2'06 dB/100m (0'02055x100) y la aproximada, 2 dB.

Las magnitudes que se emplean en la formulación deben expresarse mientras se opera con ellos, en metros, faradios, henrios, ohmios, siemens y hertzios. Me refiero

expresamente al diámetro o radio de los conductores, que normalmente se expresan en milímetros y hay que convertirlos a metros, así como la capacidad que se suele expresar en pico faradios y también hay que convertirlas a faradios .

Por otra parte, el factor de disipación o tangente de pérdidas, empleado en el cálculo de la atenuación del cable, es un dato que sólo se da en contadas ocasiones, por lo que deberemos calcularlo. Viene determinado por la inversa del Q del cable y se expresa como:

$$tg\delta = 2\pi fR_s C$$

En este caso y para esta frecuencia ha tenido que ser calculado ya que el fabricante no lo proporciona.

De todas maneras dado su pequeño valor, también se puede obviar el sumando en el que interviene, sin variación apreciable en el resultado y entonces,

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} \text{ y en este caso, } \alpha = 0'002366 \text{ Np/m que es una diferencia inapreciable}$$

Comentario final.-

Supongo que la exposición de las fórmulas anteriores puede ser un tema árido para algunos lectores pero éstos, se pueden limitar a copiar las fórmulas que aparecen en la hoja de cálculo “tal cual”, y hacerse un pequeño calculador en excel, que aunque sea como curiosidad, si este tema le despierta alguna inquietud, para profundizar un poquito más en el conocimiento del comportamiento de su instalación de antenas.

Obtendrá todos los parámetros de su cable introduciendo solamente la frecuencia de trabajo, la longitud y los datos del fabricante. Aunque yo lo he resuelto para el RG213, el calculador vale para cualquier cable.

La formulación teórica de los parámetros eléctricos de un cable coaxial, suponen a éste construido de una forma ideal. Quiere decir esto, que suponemos por ejemplo, que el conductor exterior es un tubo cuya superficie interior es perfectamente lisa, sin óxido y de un espesor mucho mayor que la profundidad de penetración en el metal de las ondas electromagnéticas, en la gama de frecuencias de trabajo.

Por otra parte, el aislante, normalmente de polietileno, al inyectarlo para formar el cuerpo de separación entre conductores, atrapa en su interior, moléculas de aire y otras impurezas que modifican su constante dieléctrica y su factor de disipación, (lo que varía las pérdidas previstas del cable) y la velocidad de propagación de manera imprevisible, dependiendo del cuidado que tenga el fabricante en su manipulación y alejándolo de los valores teóricos que suponen la perfección de los materiales.

-----

Nota.-

Se puede construir una hoja de cálculo en Excel como la que se presenta a continuación, como ejemplo, en la que en la columna C se muestran las fórmulas empleadas, en formato de Excel y copiada de la que yo utilizo.

	A	B	C	D	E
1		<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE UN CABLE COAXIAL</b>			
2		DATOS PARA RG 213			
3		Frecuencia		MHz	Dato a introducir o calculado
4		b (radio cond. exterior)		m/m	Dato fábrica
5		a (radio cond. Interior)		m/m	Dato fábrica
6		b/a	=C4/C5	relacion	<a href="#">Cálculo</a>
7		Z <sub>0</sub>		Ohmios	Dato fábrica
8		C		ρF/m	Dato fábrica
9		tg δ	=2*PI()*C3*1E6*C16*C8*1E-12	adimensional	<a href="#">Calculo</a>
10		ε <sub>r</sub>		adimensional	Dato fábrica
11		ε <sub>0</sub>	=8'8542*1E-12	F/m	Dato constante
12		ε	=C10*C11	F/m	<a href="#">Cálculo</a>
13		μ <sub>0</sub>	=4*PI()*1E-7	H/m	Dato constante
14		σ <sub>cu</sub>	=5'813*1E7	S/m	Dato constante
15		V <sub>0</sub>	=3*1E8	m/s	Dato constante
16		L	=C13*ln(C6)/2/PI()	H/m	<a href="#">Cálculo</a>
17		R <sub>s</sub>	=RAIZ(2*PI()*C3*1E6*C13/2/C14)	Ω/m	<a href="#">Cálculo</a>
18		R	=C17*(1/(C4*1E-3)+1/(C5*1E-3))/2/PI()	Ω/m	<a href="#">Cálculo</a>
19		G	=2*PI()*C3*10^6*C8*C9	S/m	<a href="#">Cálculo</a>
20		β	=2*PI()*C3*1E6*RAIZ(C10)/C15	Radianes/m	<a href="#">Cálculo</a>
21		α	=(18/2/C7)+C20*C9/2	Neper/m	<a href="#">Cálculo</a>
22			=C21*8'686	dB/m	<a href="#">Cálculo</a>
23		Pot. Transmisor		Watios	Dato a introducir
24		Long. del cable		metros	Dato a introducir
25		Pot. En Antena	=C23/10^(C22*C24/10)	Watios	<a href="#">Cálculo</a>

73's

Armando García EA5ND (ex EA5BWL)

---