

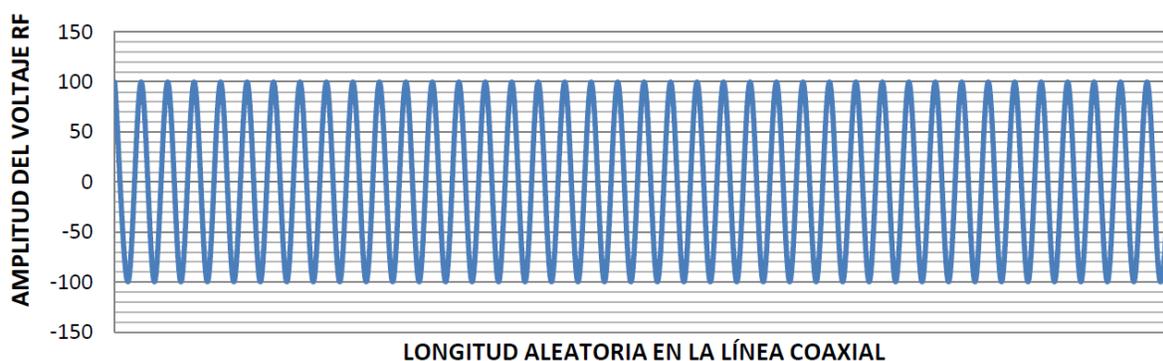
LONGITUD DEL CABLE COAXIAL Y NODOS

Un tema de discusión y controversia entre Radioaficionados, que en la actualidad se ha erradicado gracias al conocimiento de la teoría, es el de las longitudes físicas a usar en los cables coaxiales de nuestros sistemas de antenas. Existen diversas opiniones y argumentos sustentados sobre bases teóricas, por internet se consigue suficiente información técnica bien completa sobre el tema, con alto nivel de ingeniería y donde se demuestra la no dependencia de la longitud a usar cables coaxiales. Sin embargo cuando instalamos estaciones de radio, conseguimos situaciones aparentemente fuera de lógica (más notorias en HF de corta longitud de onda), también indicadas en la teoría y fácil de analizar, no tomadas en cuenta por muchos expertos, pero que nos hacen dependiente de la longitud en la línea, no la notamos y en muchos casos no la reconocemos. Debido a que no todos los lectores son conocedores del tema, trataré de explicar lo más sencillo y resumido posible sobre lo que considero que no es tomado en cuenta, así como las ventajas que implica el uso de nodos, solo para impedancias características de 50 ohmios y con velocidades de propagaciones típicas existentes en el mercado. (La mayoría de estudios y artículos sobre líneas de transmisión, se realizan considerando solo los sistemas ideales y terminología confusa para principiantes. En oportunidades usaré un lenguaje familiarmente comprensible, con sus debidas aclaratorias al inicio o final del artículo). Espero sea de utilidad y sirva de herramienta inicial para la optimización de nuestras estaciones de radio.

Algo de teoría

Un cable coaxial es de 50 ohmios, si al conectarle una carga puramente resistiva de 50 ohmios en uno de sus extremos, también veremos 50 ohmios puros en el extremo opuesto, independiente de su longitud física y de la frecuencia usada. En instalaciones de radio, esto solo aplica para el estricto caso donde la impedancia de antena sea 50 ohmios, sin componentes reactivos y con ROE perfecta (solo aplica para 1.0 ROE).

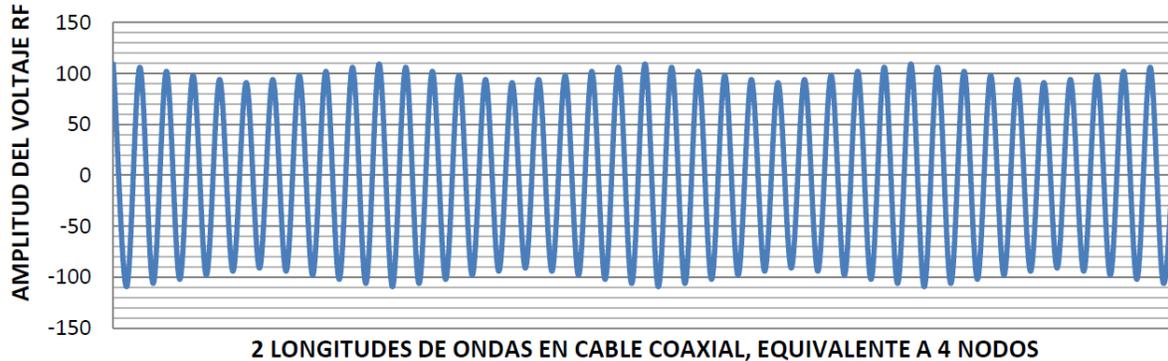
DISTRIBUCIÓN DEL VOLTAJE RF EN MODO PLANO, CON 100 WATTS, CARGA RESISTIVA DE 50 OHMIOS Y 1.0 ROE.



Si la impedancia de la carga (para este caso es la antena) no es igual a la del cable coaxial, en el extremo opuesto de éste

veremos la impedancia de la carga, más la que determine la línea en ese punto. El voltaje de RF y la corriente variarán con amplitudes (proporcional a la desadaptación) distintas en cada punto de la línea y que se repiten a cada 1/2 longitud de onda a lo largo de ésta. Esto aplica para cualquier instalación donde exista ROE (Relación de Ondas Estacionarias), por muy ligera que ésta sea (para 1.1 ROE la impedancia de antena se puede aproximar a 45.4 o 55 ohmios, con 1.5 ROE = 33.3 o 75 ohmios y para 2.5 ROE = 20 o 125 ohmios).

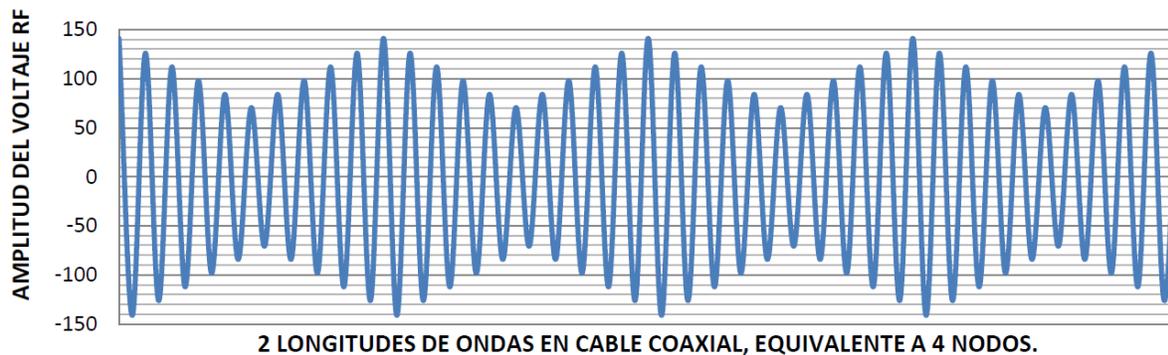
DISTRIBUCIÓN DEL VOLTAJE RF, CON 100 WATTS RF, CARGA RESISTIVA DE 60 Ó 41.6 OHMIOS Y 1.2 ROE.



Al igual que las antenas, las líneas de transmisión tienen longitudes resonantes (uso de nodos). Una línea también se hace resonante cuando es de longitud aleatoria, pero con ROE perfecta (1.0).

Una línea es de impedancia transparente, solo cuando no hay pérdidas y cuando su longitud es múltiplo de 1/2 longitud de onda. una línea resonante, o terminada en nodo no transforma impedancia. La relación entre el voltaje RF y la corriente determinará la impedancia en cualquier punto. Observe en el gráfico como se repiten valores a cada 1/2 onda o nodo:

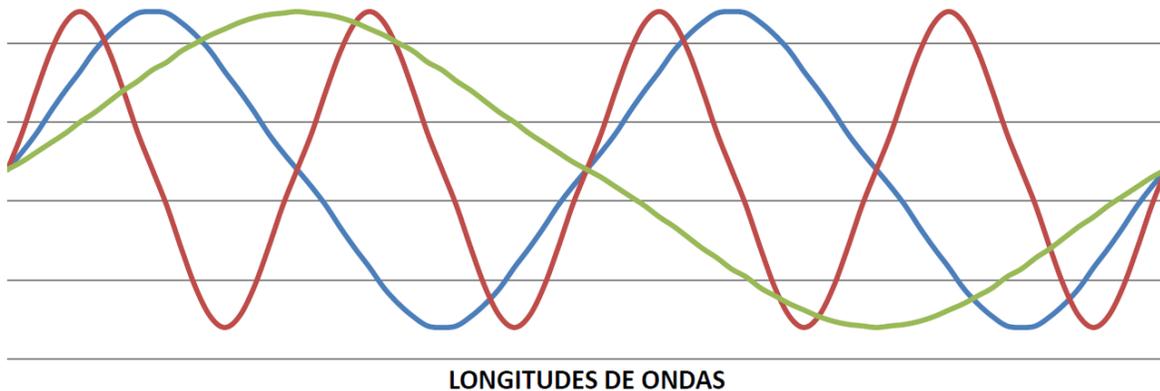
DISTRIBUCIÓN DEL VOLTAJE RF, CON 100 WATTS RF, CARGA RESISTIVA DE 100 Ó 25 OHMIOS Y 2.0 ROE.



La longitud eléctrica del cable coaxial está determinada por el número de longitudes de ondas que caben en él. Es decir, un tramo de cable coaxial de aproximadamente 55 metros de largo, es solo 1 longitud de onda para banda de 80 metros (cable corto), en la

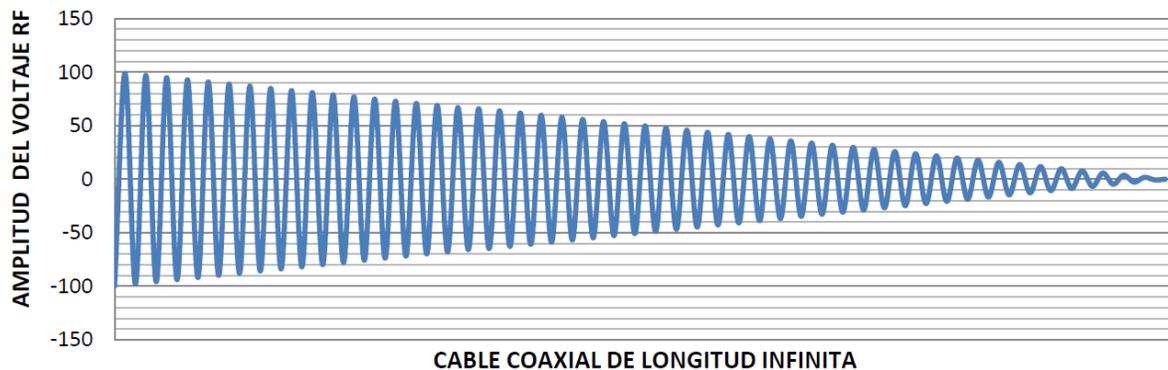
gráfica puede observar que el mismo tramo de cable en banda de 20 metros equivale 4 longitudes de ondas y para banda de 2 metros serían aproximadamente 40 longitudes de ondas (cable muy largo). Esto no está indicado en el gráfico.

**LONGITUD ELÉCTRICA DE UN CABLE COAXIAL EN: BANDA DE 80MTS (VERDE),
BANDA DE 40MTS (AZUL) Y BANDA DE 20MTS (ROJO).**



Una línea coaxial de longitud que tiende a infinito, sabiendo que no existe carga conectada en dicho extremo que tiende a infinito, desde el extremo que conecta al transmisor se verá su impedancia característica. Esto explica por qué en VHF y UHF en adelante, con líneas muy largas, debido a la gran pérdida por atenuación que ofrece la longitud física del cable coaxial, indiferentemente del desequilibrio existente entre línea-carga, siempre predominará la impedancia característica del cable coaxial y desde el extremo del transmisor observamos un buen equilibrio.

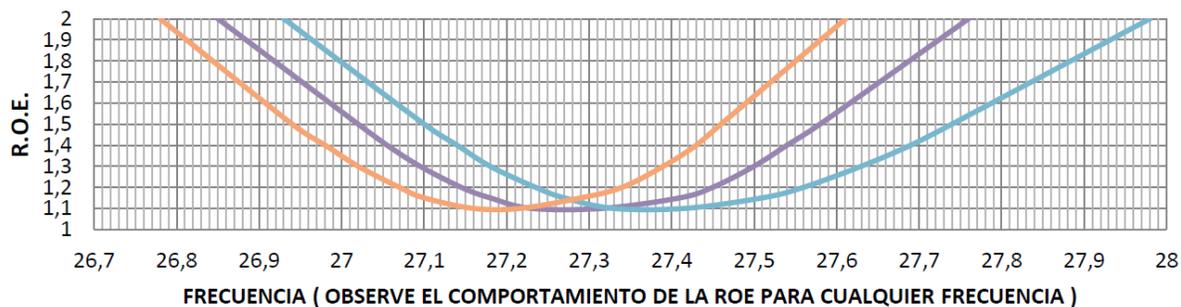
**DISTRIBUCIÓN DEL VOLTAJE RF, PARA 100 WATTS, CON LÍNEA DE IMPEDANCIA
CARACTERÍSTICA DE 50 OHMIOS**



La impedancia y resonancia pueden cambiar al variar la longitud física del cable coaxial, pero la ROE debería ser constante a lo largo de la línea y solo cambiaría si existen pérdidas (aclarado en la el sexto y octavo párrafo), el cable no garantiza impedancia, está mal construido, irradiando (la mayoría de antenas verticales, o cualquier otra que genere irradiación en la línea, resulta casi imposible adaptar la carta de Smith para analizar) y transportando corrientes de modo común.

No siempre la frecuencia de resonancia de la antena, es la misma frecuencia de resonancia vista desde el extremo del transmisor. Ejemplo: si ajustamos una antena para 27.4MHz, directamente al analizador o con una línea terminada en nodo y logramos 1.1 ROE, al conectarle un cable coaxial de longitud aleatoria, la 1.1 ROE continuará constante para cualquier longitud de línea, pero desde el extremo del transmisor, la acción transformadora del cable coaxial hará ver desplazada la frecuencia de resonancia (color naranja del gráfico = 27.18MHz), para este caso indicándonos 1.33 ROE en 27.4MHz y que debemos reajustar recortando la longitud en la antena, hasta lograr volver a 1.1 ROE en 27.4MHz. Igualmente, si recortamos la longitud de la línea podemos normalizar el sistema: color violeta = ancho de banda al recortar 25cm en el cable coaxial y color azul = segundo recorte de 25cm en el cable coaxial.

EJEMPLO DEL DESPLAZAMIENTOS DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA AL RECORTAR LA LONGITUD DEL CABLE COAXIAL DE UNA ANTENA PARA 27.4 MHz (LA MINIMA ROE PERMANECE CONSTANTE PARA CUALQUIER LONGITUD DE LÍNEA)



Cuando un circuito (o una antena) se hace resonante, la impedancia quedará puramente resistiva, haciendo que la corriente que circula por dicho circuito (o antena) y el voltaje estén en fase, esto debido a que las magnitudes de la reactancia capacitiva (XC) y reactancia inductiva (XL) toman iguales valores, pero ambos se encuentran desfasados 180 grados (se cancela la componente reactiva). La combinación de medidas resonantes en la antena y cable coaxial garantizan mayor ancho de banda y posibilidad de componente puramente resistiva en la frecuencia de resonancia original de la antena.

Longitud del cable coaxial

Las ondas electromagnéticas, en el espacio libre viajan a la velocidad de la Luz, pero dicha velocidad puede variar dependiendo del medio en que se propague. La RF que se transporta por la línea de transmisión, tiene una velocidad de propagación un poco más lenta (60% a 95% menos).

Para cualquier impedancia de cable coaxial, la longitud resonante se calcula usando múltiplos de 1/2 longitud de onda, multiplicado por la velocidad de propagación (VP) del tipo de cable coaxial que se use (longitud equivalente al nodo). Por ejemplo, para la banda de 40 metros, usando 7,1MHz como frecuencia central del rango y

empleando cable coaxial RG8/U con VP de 0.66, el cálculo sería 150 dividido entre 7,1 y multiplicado por 0,66, el resultado es 13,94 metros. (las medidas posibles a usar son 13.94 metros, 27.88mts, 41.82mts, etc.).

$$\text{NODO} = \frac{150}{\text{FRECUENCIA (MHz)}} \times \text{VP}$$

Generalmente en el mercado se consiguen tres tipos de cables coaxiales, con diferentes VP (0.66, 0.70 y 0.82), visualmente reconocible por el material empleado como aislante central. Si dicho aislante es transparente o se observa que es de cualquier material polietileno, la VP es 0.66 (imagen siguiente izquierda). Para aislante de teflón sólido la VP es 0.70 (imagen central). Para espuma de teflón, la VP es 0.8 (imagen derecha). No siempre, pero en este caso se adiciona papel de aluminio entre la malla y el aislante central. Existen otros tipos de aislantes, tales como hule, aire con separadores espirales de diferentes materiales, etc. La gráfica siguiente muestra (en color verde) longitudes físicas equivalentes a un nodo, o medidas múltiplos a usar para los tres tipos de cables coaxiales típicos en el mercado:

**LONGITUDES FÍSICAS EQUIVALENTES A UN NODO PARA DISTINTAS FRECUENCIAS DE RADIOAFICIONADOS
(1/2 LONGITUD DE ONDA EN UN CABLE COAXIAL, DEPENDE DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL MISMO)**

| VP | HF | | | | | | | | VHF | | | UHF |
|------|--------|--------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|-------|--------|--------|--------|
| | 3.8MHz | 7.1MHz | 10.12MHz | 14.2MHz | 18.12MHz | 21.3MHz | 24.94MHz | 28.35MHz | 52MHz | 146MHz | 223MHz | 435MHz |
| 0.66 | 26.05 | 13.943 | 9.782 | 6.971 | 5.463 | 4.647 | 3.969 | 3.492 | 1.903 | 0.678 | 0.443 | 0.227 |
| 0.70 | 27.631 | 14.788 | 10.375 | 7.394 | 5.794 | 4.929 | 4.210 | 3.703 | 2.019 | 0.719 | 0.470 | 0.241 |
| 0.82 | 32.368 | 17.329 | 12.154 | 8.661 | 6.788 | 5.774 | 4.931 | 4.338 | 2.365 | 0.842 | 0.551 | 0.282 |



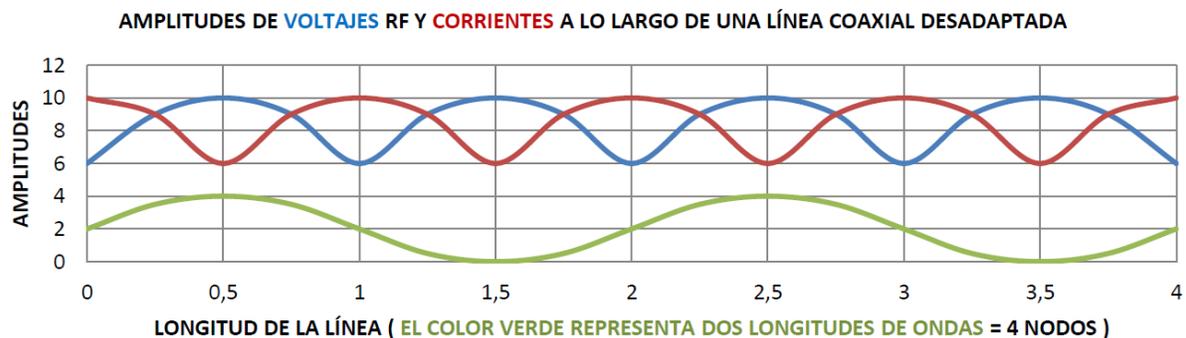
¿Porque el uso de nodos?

Nosotros, los radioaficionados, aplicamos diferentes técnicas para instalar sistemas de antenas sin depender de la longitud resonante en el cable coaxial y por ende transmitir fuera del nodo. En HF por lo general usamos cables coaxiales de 50 ohmios, a cualquier medida, de pocas longitudes de ondas, con antenas dipolos horizontales o en V invertida y corregimos las desadaptaciones, ajustando parámetros, recortando o alargando los extremos en la antena, hasta optimizar con mínima ROE en la banda de mayor uso, que es lo que realmente se requiere, sin darle prioridad a las debidas longitudes resonantes en el cable coaxial (en oportunidades imposibles de lograr en MF 160 metros y HF 80 metros) y de la misma antena, en la práctica siempre ha sido así y

pocos reconocemos la importancia. En frecuencias más altas, con menores longitudes de onda (por ejemplo, antenas comerciales de longitudes fijas, para la banda de 11 metros) generalmente usamos antenas verticales, montadas a una altura de varias longitudes de onda sobre el suelo y con líneas que sí presentan pérdidas por longitud física significativamente apreciables, después que se ha realizado dicho montaje, resulta casi imposible corregirla en impedancia, ajustarle el adaptador (en caso de tenerlo) o recortarle y alargarle longitudes para optimizarlas, por esta razón muchos de nosotros nos conformamos con la desadaptación que nos quede, solucionamos acoplando con equipos sintonizadores, ajustamos el circuito Pi en la salida del transmisor, y otros colegas que aun conociendo la teoría, sin aparente explicación lógica, logran un buen acople entre el transmisor y la línea, (matchear) recortando el coaxial y no en la antena.

En la práctica, nuestros sistemas de antenas, por diversos factores, inevitablemente tendremos el típico desequilibrio ($> <$ de 1.0 ROE), que no logramos suprimir y que consideramos como normal. Un tramo de cable coaxial con longitud terminada en nodo, nos ayuda a minimizar la mayoría de situaciones desfavorables, en especial al realizar ajustes, debido a que, si variamos parámetros en la antena, las lecturas de éstos valores continúan siendo garantizados a cada $1/2$ longitud de onda (nodos), a lo largo de la línea de transmisión. Si en un extremo de la línea cortocircuitamos, abrimos el circuito, o conectamos cualquier carga con impedancia diferente a la del resto del sistema (desadaptada), en el extremo opuesto de ésta, solo se apreciará su valor real, si dicha línea es de longitud terminada en nodo, de lo contrario lo que se verá, será la impedancia de la carga (antena) más la que determine la línea a dicha longitud física aleatoria.

En el gráfico siguiente, se representan las amplitudes de voltajes (azul) y corrientes (rojo), distribuidos a lo largo de una línea coaxial desequilibrada (con ROE), equivalente a 2 longitudes de onda (4 nodos), observe que dichas magnitudes se encuentran desfasadas 90 grados y sus amplitudes son similares solo en los puntos 1, 2, 3 y 4 del eje X (cada uno distanciados a $1/2$ longitud de onda). En este caso, suponiendo que no hay pérdida de potencia por longitud, y que empleamos línea coaxial de longitud aleatoria, la relación entre el voltaje RF y la corriente nos harán ver una impedancia errónea de la antena.

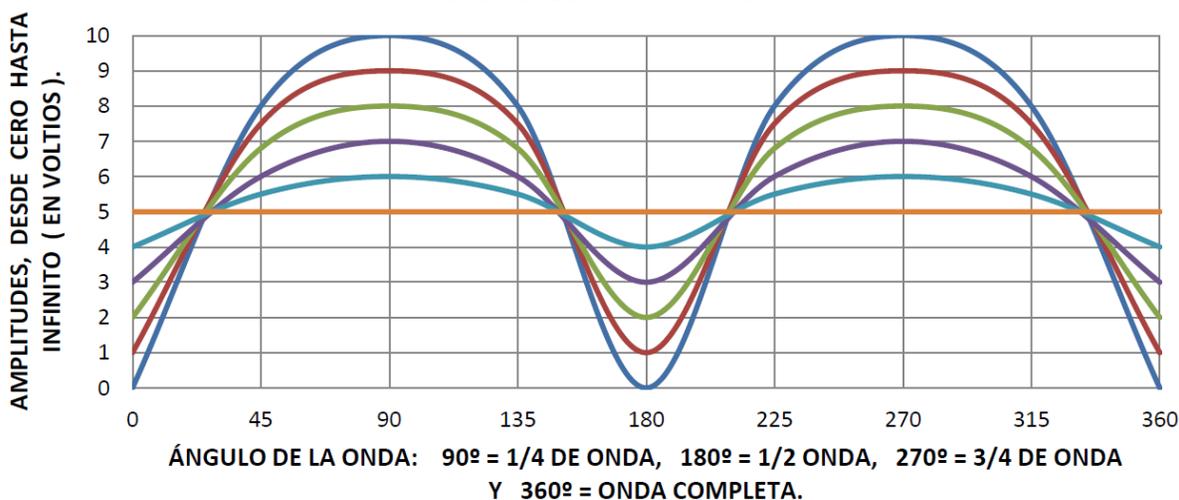


Otra ventaja es que nuestro tramo de cable quedará sintonizado específicamente para frecuencias de bandas para radioaficionados y futuramente nos permitirá usarlo como herramienta para ajustar o analizar antenas (para radioaficionados). Por ejemplo, una longitud calculada para banda de 80 metros, igualmente quedará sintonizada para bandas de 40, 20, 15, 10 metros y otros, es decir, la línea también permitirá menor desequilibrio al usarla en frecuencias armónicas). En las fotografías siguientes muestro un ejemplo de cable RG8/U (de mi antena de HF), calculado para transmitir en banda de 40 metros (7.1MHz), cortocircuitado en el extremo que conecta a la antena (igualmente sucederá con carga diferente de 50 ohmios). Observe que solo hay resonancia (donde $X=0$ ohmios, o aproximado) en frecuencias armónicas, mientras que en banda de 80 metros no hay resonancia (3.8MHz, $X=219$ ohmios).



La relación entre el voltaje de RF y la corriente, determinan la impedancia en cualquier punto de la línea de transmisión, en el gráfico siguiente se representa solo la distribución del voltaje RF (en el eje Y, 10 representa voltaje infinito) en un tramo de línea equivalente a una longitud de onda o dos nodos (Eje X = 360 grados). En el extremo 360° colocamos una carga que puede variar su valor resistivo desde 0 hasta 50 ohmios. El color naranja muestra amplitudes constantes del voltaje RF a lo largo de toda la línea de transmisión (línea adaptada = 1.0 ROE = 50 ohmios en la carga), en la medida que incrementamos la desadaptación, hasta llegar al valor de carga en cero ohmios (cortocircuito), en la misma proporción se reduce el voltaje en dicha carga, hasta llegar a cero volts (color azul). La relación existente entre las amplitudes máximas y mínimas, determinan la relación de ondas estacionarias (ROE). Si la carga es un cortocircuito, observe que en 270° y 90° el color azul toma amplitudes de voltajes que tienden al infinito (similar a un circuito abierto), mientras que en 180° y 0° las amplitudes de los voltajes se repiten y siempre serán las mismas que en la carga (360°). Este efecto será igual para la corriente, pero desfasado a 90° , como se indica en el gráfico anterior.

EJEMPLO AMPLITUDES DE VOLTAJES RF, EN UNA LÍNEA DE DOS NODOS, CON DIFERENTES DESADAPTACIONES.



Un ejemplo semi-abstracto, pero típico en HF de corta longitud de onda, sería: un transmisor de 100 vatios, para operar con carga de 50 ohmios, entregaría a la línea coaxial de 50 ohmios, 70.7 volts, con una corriente de 1.4 amperes, pero si en el otro extremo de la línea conectamos una antena monobanda con impedancia de 60 ohmios, la desadaptación línea-carga será: 60 dividido 50 = 1.2 ROE. Una antena o cualquier carga de 60 ohmios, con los mismos 100 vatios, requiere 77.45 volts y una corriente de 1.29 amperes. Debido a que en presencia de ROE, las amplitudes de los voltajes y las corrientes no son constantes a lo largo de la línea y sabiendo que la relación entre estas magnitudes determinaran la impedancia en cualquier punto de dicha línea, entonces si matcheamos recortando la longitud física en el cable coaxial, podemos conseguir el punto exacto donde la impedancia sea la que mejor se adapte a la salida del transmisor. Esta es la explicación lógica de lo que muchos colegas en CB 11 metros, le llaman "matchear en el cable coaxial". Debemos recordar que existen otras situaciones que pueden alterar la impedancia y desplazar la frecuencia con mínima ROE vista desde el extremo del transmisor al variar la longitud física de la línea, situación que sería imposible para el caso de una línea trabajando en modo plano (color naranja del gráfico anterior) donde, indiferentemente de la longitud física, la línea también se hace resonante, hay un perfecto equilibrio (1.0 ROE), con acoples de impedancias iguales en ambos extremos de la línea, sin las típicas pérdidas, con amplitudes de los voltajes y corrientes constantes a lo largo de dicha línea (sistema ideal), esta es la razón principal, por la que muchos colegas técnicos y radioaficionados conocedores de la teoría, toman como un mito el procedimiento antes descrito, que es típico y usado en CB 11 metros. Analizando esto y si conoce la carta de Smith, también le explicaría de forma sencilla, la razón de los cortes (Matchear en el cable coaxial).

Otro de los motivos por la cual muchos radioaficionados consideran esta situación como un mito, es que resulta poco apreciable y

antieconómico el corte de longitud del cable coaxial en bandas con grandes longitudes de onda, donde en oportunidades no contamos con la distancia necesaria que nos determine por lo menos un nodo y donde los recortes de 10 o 20 centímetros serían eléctricamente tan pequeños, que no observaríamos cambios significativos, sino que habría que realizar recortes de 1 y hasta de 2 metros por cada tramo (generalmente RG8/U, RG213 o equivalente), razones por las cuales para bandas de HF hasta 40 metros, garantizar y facilitar el ajuste de nuestros sistemas de antenas en condiciones normales, convendría mejor respetar el uso de nodos en cables coaxiales. Para el caso de HF 80 metros o MF 160 metros y situaciones de condiciones extremas en espacio, baja altura o cualquier otra que afecte la impedancia ideal, aportar un poco más de dinero y adquirir equipos o instalar dispositivos que resuelvan problemas de acoples transmisión-línea (transmatch).

Entre otros motivos a considerar como mito, es para los colegas que solo instalan antenas fijas VHF y UHF en adelante, debido a su pequeña longitud de onda generalmente las líneas son eléctricamente largas, dificultando las medidas exactas para determinar nodos, principalmente habrán mayores pérdidas de potencia a causa de su longitud física, haciendo que la pérdida por ROE sea despreciable, minimizando la posibilidad de apreciar el verdadero desequilibrio existente en el extremo que conecta en la antena, por consecuencia típicamente apreciarán buen o excelente equilibrio (aparente modo plano), mínimos riesgos de daños en el transmisor y además el predominio de la impedancia característica del cable coaxial hará que el uso de nodos o acoples de impedancias transmisor-línea no les representen mayores problemas.

De no respetar el uso de nodos

No hay que preocuparse, de lograr perfecto equilibrio (1.0 ROE real), la línea también se hará resonante y no será afectada por los problemas explicados en el presente artículo.

Si logra buen equilibrio con mínima ROE (desde 1.1, hasta 1.5), el sistema será óptimo y aunque la antena esté fuera de su longitud resonante original, la acción transformadora del cable coaxial hará que el sistema funcione bien y con pocos riesgos de daños en la etapa final de la radio.

Una antena con parámetros alterados no necesariamente emite mal, uno de los problemas sería para el caso en que los ajustes generen acortamiento significativo en su longitud física (generalmente apreciable en antenas móviles y de considerables longitudes reducidas), posiblemente afecte negativamente su diagrama de radiación (diferencias desproporcionales entre la medición de ROE e intensidad de campo alrededor de la antena). También habrá mayor posibilidad de desadaptación al cambiar de bandas, entre otros detalles cuya importancia resultan de poca relevancia para muchos colegas instaladores de antenas.

¿Qué longitud de cable coaxial debería usar?

Es de libre escoger entre depender o no, de la longitud resonante en el cable coaxial. Particularmente recomiendo en HF, con pequeñas longitudes de onda (por ejemplos, antenas comerciales, de longitud fija, para bandas 10, 11 y 15 metros), usar antenas cortadas a la medida teórica y cables coaxiales con medidas ligeramente más largas de las que se aproximen a uno de sus nodos. Luego que se realice el montaje, preferiblemente cortar un fragmento de cable coaxial y si varían satisfactoriamente las lecturas en los instrumentos, continuar matcheando en el cable coaxial, hasta conseguir mínima ROE en la frecuencia central del rango original de la antena. Al culminar, verifique también que haya mejorado el ancho de banda.

Para el resto de las bandas HF (no siempre posible en 80 y 160 metros), recomiendo usar cables coaxiales cortados a medidas teóricas (puede usar múltiplos de las medidas sugeridas de la tabla indicada en el artículo, longitudes resonantes calculadas, o si es posible use el analizador) y en caso de antenas caseras dipolos, cortarlas un poco más largas de las medidas teóricas y en el momento del montaje matchear en dicha antena, variando sus longitudes físicas y ajustando parámetros, hasta optimizar con mínima ROE en la frecuencia central del rango deseado. Si cuenta con instrumento analizador, éste nos ayuda a conseguir la longitud resonante de la antena, independientemente de la desadaptación de impedancias que nos quede. Para corregir dicha desadaptación, existen técnicas para modificar la relación de conversión de impedancias en balunes.

Para minimizar desequilibrios al cambiar de bandas, en caso de transmitir con antenas dualband, multibandas o por armónicos, sugiero usar medidas que se aproximen al mínimo común múltiplo de las frecuencias, por ejemplo, para un dipolo multibanda (10, 15, 20, 40 y 80 metros), con cable coaxial RG8/U de VP 0.66, sería conveniente usar medida aproximada a 27.88 metros, 55.76 metros, 83.64 metros, etc.

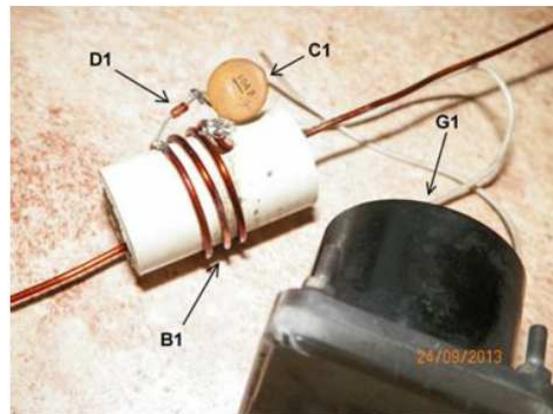
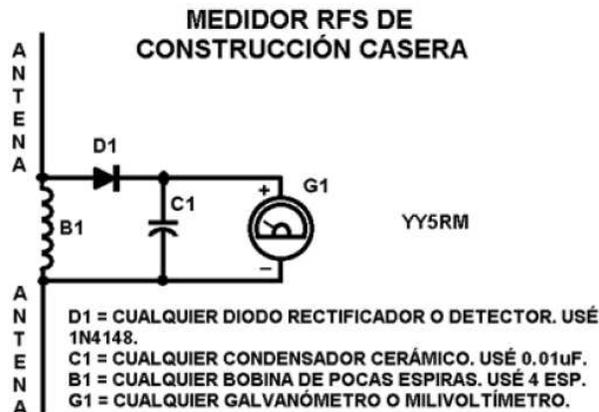
En caso de antenas móviles para automóviles, por la incorporación de bobinas y ajustes de longitud física, no sugiero medida específica en el cable coaxial, pero dependiendo de la longitud de onda (en especial CB 11 metros), igualmente se puede probar matchear en el cable y dará resultado (resultaría mejor que recortar la longitud física de la antena), puede comprobarlo midiendo señal RFS cercana de la antena. Para saber hacia cual dirección emite mejor señal, con ayuda del mismo medidor RFS puede girar 360 grados alrededor del automóvil, a una distancia constante de la antena y verificar la dirección con mayor escala. Para antenas fijas VHF y UHF, antes de realizar el montaje, sugiero ajustar dicha antena empleando un cable patrón (línea eléctricamente corta y aproximadamente terminada en nodo) y al culminar los ajustes es conveniente conectar el cable definitivo para volver a chequear las mediciones. Si eventualmente instala antenas VHF y UHF, de ser posible compruebe los cables patrones con instrumento analizador. Si cuenta con instrumento analizador, puede conectarlo directamente instalado en la antena.

Al emplear instrumentos medidores de ROE en VHF y HF de corta longitud de onda, recuerde que al desconectarlo puede quedar desplazada la frecuencia de resonancia y de mínima ROE, por lo tanto sugiero leer las instrucciones, en relación de la longitud sugerida para el tramo de cable coaxial asociado al instrumento. En caso de desconocerlo, puede probar con longitudes resonantes.

Verificar la transparencia del cable coaxial (posibilidad que tiene la línea para transformar impedancias). Sugiero comprobar resonancia cortocircuitándolo en el extremo que conecta a la antena y el otro extremo directo al analizador: debería indicar aproximado cero ohmios resistivos y reactivos (dependiendo de la calidad del cable y longitud física), de no ser así, recomiendo matchear recortando la longitud del mismo cable coaxial hasta obtener resonancia (donde la indicación X tiende a cero ohmios). Recuerde que igualmente indicará resonancia en frecuencias armónicas y que no siempre es posible en bandas HF, donde la longitud de la línea no determine por lo menos un nodo. A continuación, un ejemplo, con resonancia en 7.1MHz, observe que desde 6.975MHz y 7.187MHz ligeramente comienza a perder resonancia.



Para cualquiera de los procedimientos anteriores, sugiero comenzar a matchear, en la frecuencia más baja del rango y de ser posible complementar con la mayor indicación RFS alrededor de la antena. Si lo desea, el siguiente medidor RFS de construcción casera (Improvisado) lo he sugerido en varios artículos publicados en la WEB, el mismo se construye con material de desecho y de poca importancia en los valores de componentes (no requiere selectividad de frecuencia, solo medir RF).



Compruebe experimentando

Primera prueba: si empleamos una carga resistiva (carga fantasma sin componentes reactivos) de igual impedancia a la del cable coaxial, simplemente con uso del medidor ROE se comprueba que es real la teoría y con cualquier longitud física de la línea, en cualquier frecuencia, dicha ROE será mínima y constante, por consiguiente, son 100% confiables todas las informaciones publicadas en artículos sobre el tema, pero solo aplicable en sistemas ideales.

Compruebe las situaciones no tomadas en cuenta

Segunda prueba: si en su estación cuenta con una antena VHF 2 metros, con menos de 14 longitudes de onda en cable coaxial (RG58/U con aproximadamente 20 metros de largo), con ligera indicación de ROE y desea desplazar la frecuencia de resonancia o con mínima ROE (por ejemplo, con 144.5MHz en el centro de su ancho de banda y desea desplazarlo a 146.5MHz):

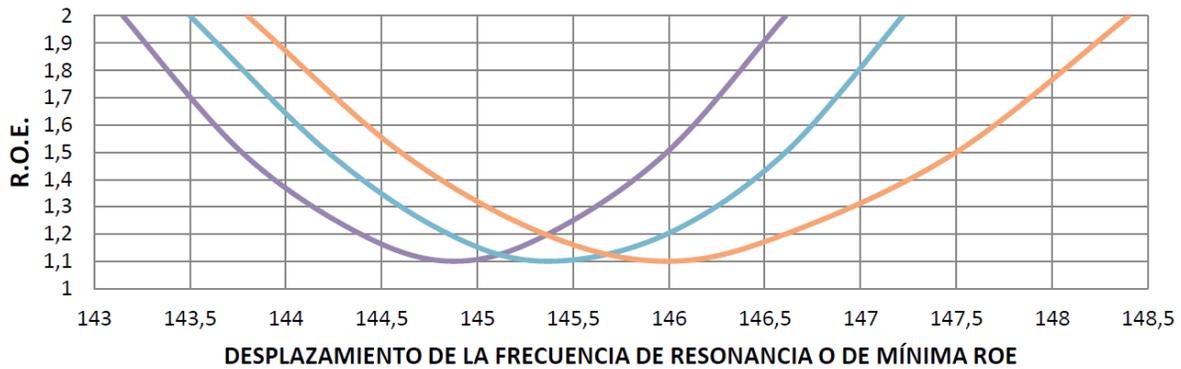
A- Desde el conector, marque 1/2 longitud de onda en el cable coaxial (allí se repetirán las mediciones).

B- Realice cortes en el cable coaxial, de aproximadamente 5 centímetros cada uno y verifique si desplaza favorablemente el ancho de banda, hacia frecuencia la deseada.

El experimento anterior lo apliqué al cambiar de lugar una antena Yagi, con aproximadamente 20 metros de longitud en cable coaxial, teóricamente calculada para la frecuencia de 146.9MHz, e inicialmente ajustada con cable patrón (tramo de cable coaxial eléctricamente corto, o de pocas longitudes de onda), determinando 1.02 ROE con resonancia en 146.8MHz, la cual estuvo montada en la punta superior de un mástil (1.08 ROE) y que luego se trasladó quedando con cable coaxial de mayor longitud y una torre detrás del elemento reflector, alterando sus parámetros (solo debió haber modificado la relación frente-espalda, pero la frecuencia de resonancia se trasladó a 144.45MHz). Bajo estas circunstancias, hay que decidir entre volver a subir varias veces en la torre para reajustar la antena, o desde la seguridad y comodidad del cuarto de radio, matchear en el cable coaxial.

Resultados: en la medida que recorto el cable coaxial, la mínima ROE se mantiene constante, pero la resonancia se traslada hacia otra frecuencia, iniciando en 144.45MHz, primer recorte en 144.88MHz, segundo recorte en 145.37MHz, tercer recorte 145,99MHz y último recorte finalizando en 146.610MHz. Igualmente observe como mejora el ancho de banda en la medida que aproximo a la frecuencia de resonancia original de la antena = 146.8MHz.

RECORTANDO LINEA COAXIAL EN ANTENA YAGI VHF 2 METROS



Tercera prueba: si en su estación cuenta con una antena de parámetros standard, en longitud, altura, impedancia similar al cable coaxial (50 Ohm), preferiblemente de HF en bandas 10 u 11 metros, con menos de 6 longitudes de onda en cable coaxial (44 metros), etc., en la frecuencia de resonancia debería tener una impedancia puramente resistiva (con pequeños residuos reactivos), una ROE aceptable y probablemente algo de irradiación en la línea. Si le agregamos un tramo equivalente a una longitud de onda en el cable coaxial y a éste le recortamos pequeños tramos de 10 o 15 centímetros cada uno, en cada medición seguramente se aprecien cambios en la frecuencia de resonancia, ancho de banda, impedancias y sin causa aparente también en la ROE para una frecuencia específica.

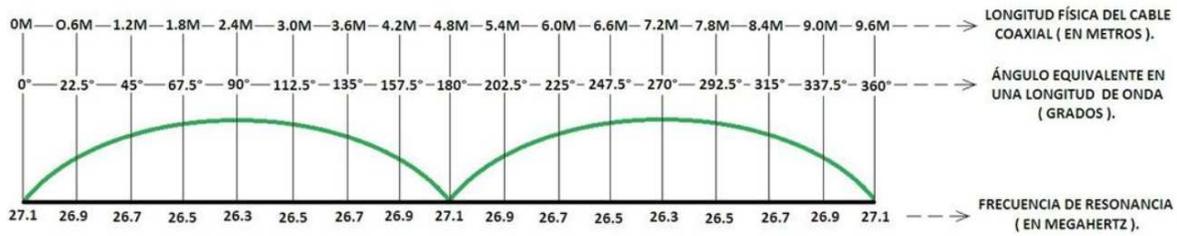
Los procedimientos anteriores aplican para cualquier banda (no aplicables para modo plano), mientras mayor sea la ROE y a mayor frecuencia, menor cantidad de cable coaxial debe recortarse para desplazar la frecuencia de resonancia (vista desde el extremo del transmisor). En las imágenes siguientes muestro solo un corte de 15 centímetros, con 1.3 ROE en la frecuencia de resonancia 26.491MHz. Observe como se conserva la misma ROE, pero se desplaza la frecuencia de resonancia hasta 26.640MHz. Si continúo recortando puedo llevarla hasta la frecuencia de resonancia original de la antena (27.205MHz = canal 20 de CB 11 metros).



En el gráfico siguiente muestro un caso típico de posible respuesta desde 1.1 hasta 1.2 ROE. Analizando se dará cuenta que si intenta ajustar la antena con longitud aleatoria en cable coaxial (fuera del nodo), la longitud física de la antena quedará

con menor tamaño para la cual se calculó, pero si dicha antena es de longitud fija, deberá usar otro método para corregir.

DESPLAZAMIENTO DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA TÍPICO, EN UN FRAGMENTO DE LÍNEA COAXIAL (EQUIVALENTE A UNA LONGITUD DE ONDA = DOS NODOS) DE 0.82 VP, CON 1.2 ROE Y CONECTADO A UNA ANTENA COMERCIAL DE 5/8 DE ONDA PARA CB 11 METROS

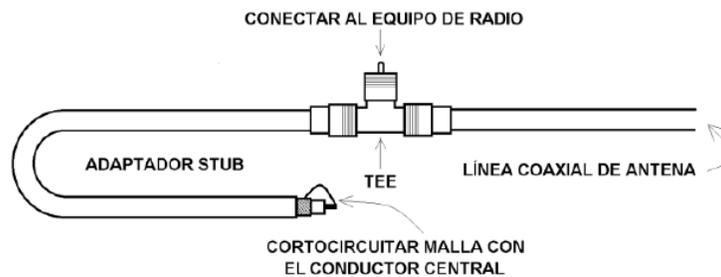


¿Qué otro uso puedo darle a las longitudes específicas en el cable coaxial?

Usar su antena en frecuencias vecinas de la original: de resultarle positivos los experimentos anteriores (imposibles cuando hay perfecto equilibrio o modo plano), no se preocupe, ni intente corregir, puede aprovechar la situación para usar su antena HF 15 metros, CB 11 metros, VHF 2 o 6 metros (o similares), con respuestas aceptables en frecuencias vecinas, con solo adicionar tramos de cables coaxiales en serie a la línea.

Usar su antena fuera del ancho de banda original: igualmente pueden lograr desplazamientos significativos, pero bajo otros principios teóricos de acoplamiento (admitancias) con resultados garantizados. Para estos casos se adicionan adaptadores stub, que consisten en conectar en paralelo a la línea, instalando una Tee en el conector de salida del transmisor, donde se conectará un tramo de cable coaxial de 1/4 de longitud de onda, cortocircuitado en el extremo más distante (igualmente se puede emplear un tramo de 1/2 longitud de onda, abierto en el extremo). De ser necesario se debe matchear recortando la longitud del stub.

ADAPTADOR STUB (1/4 DE LONGITUD DE ONDA)



Cuidados al incorporar stub o dispositivos en la línea coaxial: la medición de RF en el cuarto de radio, a causa de irradiación en el cable coaxial (suprimible pero no en totalidad con ferritas, o choques RF), resulta más crítico al incorporar equipos o dispositivos en la línea coaxial dentro del mismo cuarto de radio, razón por la que sugiero la puesta a tierra en los equipos, en caso de optar por el uso de stubs o cualquier adaptador que acople impedancias entre la línea y el transmisor (igualmente se debe

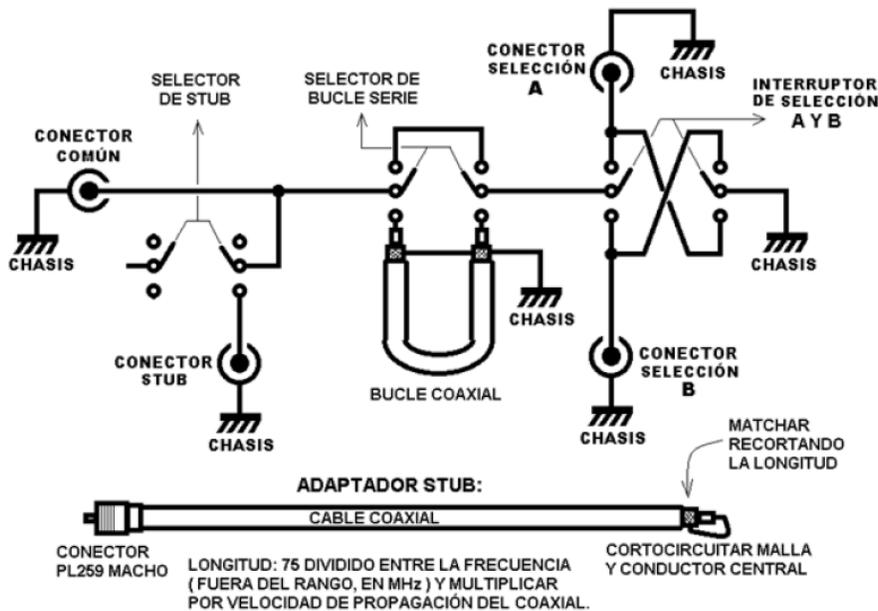
colocar el borde del stub lo más distanciada posible del cuarto de radio).

Ejemplo y forma de medir presencia de RF en el cuarto de radio: usando una antena vertical Antron99 ajustada para banda de 10 metros, incorporando un stub para transmitir con 1.05 ROE en banda de 15 metros. Colocando un medidor de intensidad de campo (del tipo detector. Usé un vatímetro-roímetro RFS común para CB 11 metros) sobre el radio o aproximado a la línea (sin conectar a nada).



Si desea, en la WEB he publicado la construcción de un sencillo adaptador línea-transmisor, que permite usar cualquier antena de corta longitud de onda, en frecuencias vecinas y de su ancho de banda original, con solo agregar o combinar tramos de diferentes longitudes de cables coaxiales, el mismo lo construí con el propósito que el lector pueda comprobar algunas de las situaciones que suelen presentarse al variar la longitud física del cable coaxial o al adicionar pérdidas en el sistema. A continuación, el dibujo del circuito

SELECTOR + ADAPTADOR DE ANTENAS

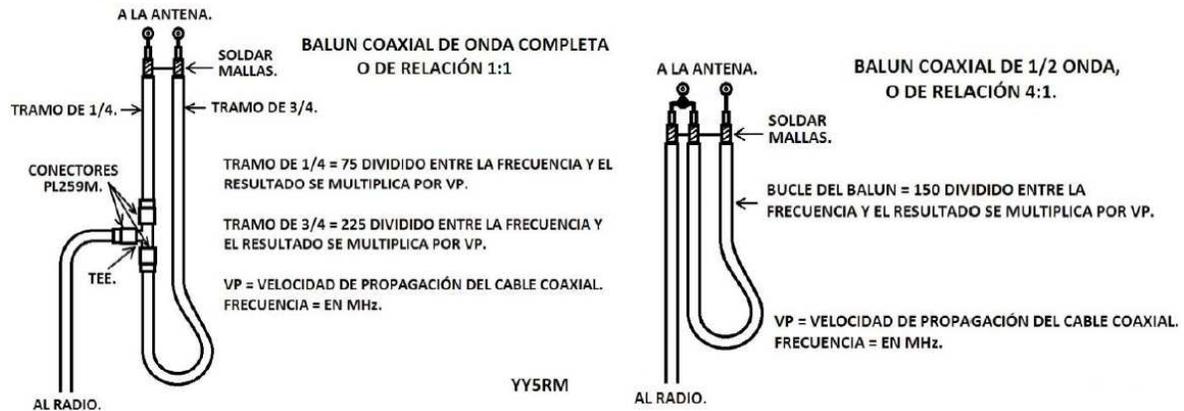


El cable coaxial de longitud específica se puede emplear para balancear o transformar impedancias en dipolos y otros sistemas de

antenas, los balunes coaxiales más populares son los de relaciones 1:1 y 4:1:

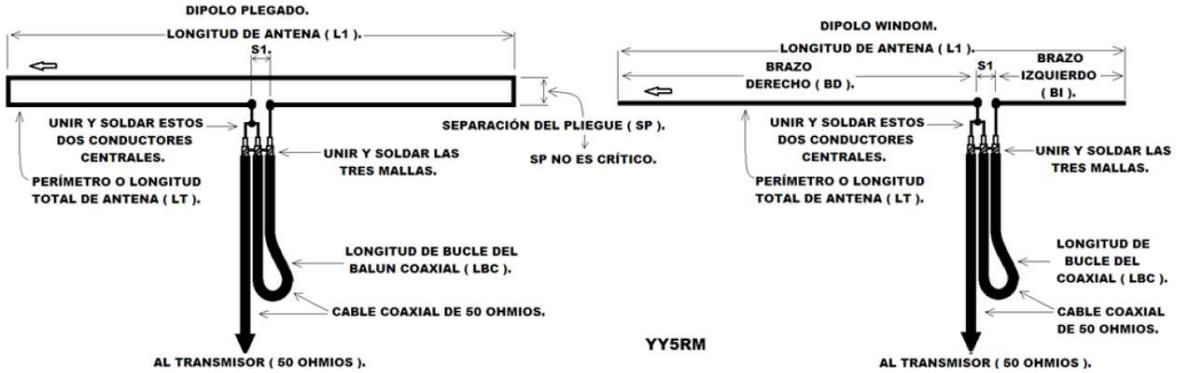
El balun coaxial relación 1:1 no transforma impedancias, consiste en un arnés de una longitud de onda y que se conecta a 1/3 de ésta. La relación entre el voltaje RF y la corriente en sus extremos, son similares a los de la entrada.

El balun coaxial de relación 4:1 consiste en un bucle de 1/2 longitud de onda, donde a causa del desfase de 180 grados, se duplica el voltaje de RF, por lo tanto, la relación es de 2:1 entre sus extremos y por consiguiente, la relación de conversión de impedancias es 4:1 (2 es la raíz cuadrada de 4).



Diseñar sistemas fuera de los standard: en la web he publicado dos antenas comunes (windom y dipolo plegado) modificadas en longitud, superando los diseños originales gracias a las bondades que nos ofrece el uso de longitudes específicas tanto en el cable coaxial, como en el balun y en la misma antena. Sus principios de funcionamiento se deben a que solo para sistemas de 50 ohmios, el balun coaxial de longitud reducida (171 grados, normalmente 180 grados) cumple doble función, la primera es realizar relación de conversión de impedancias de 3.8:1 (190 ohmios a 50 ohmios y viceversa, normalmente 4:1, ejemplo: 200 ohmios a 50 ohmios) y la segunda es cancelar perfectamente las componentes reactivas causadas por la antena de longitud reducida ($\lambda -10\%$, normalmente $\lambda -5\%$) situación que determina excelente factor de calidad ($Q =$ relación existente entre impedancias reactivas y resistiva) en casi todo su extraordinario ancho de banda.

ANTENAS DIPOLOS CON BALUNS COAXIALES, PARA IMPEDANCIAS DE 50 OHMIOS (MAYOR ANCHO DE BANDA Y ROE PERFECTA)



MEDIDAS Y CALCULOS:

- * LONGITUD DE ANTENA: $L1 = 135 / \text{FRECUENCIA (MHz)}$.
- * LONGITUD DE BUCLE DEL BALUN: $LBC = 142,5 / \text{FRECUENCIA (MHz)} \times VP$.
- * PERIMETRO DEL DIPOLO PLEGADO: $LT = 270 / \text{FRECUENCIA (MHz)}$.
- * SEPARACION DE BORNES DE ANTENA: S1 = USAR LA TRADICIONAL EN DIPOLOS COMUNES.
- * LONGITUD DEL BRAZO DERECHO: $BD = 90 / \text{FRECUENCIA (MHz)}$.
- * LONGITUD DEL BRAZO IZQUIERDO: $BI = 45 / \text{FRECUENCIA (MHz)}$.
- * EN DIPOLO PLEGADO $BD = BI$ (BRAZOS SIMÉTRICOS. ANTENA ALIMENTADA EN EL CENTRO.
- * SEPARACION DEL PLIEGUE: SP = USAR LA TRADICIONAL EN DIPOLOS PLEGADOS COMUNES.
- * SP SUGIERO: 3,5MHz - 4,5MHz = 22cm, 7MHz = 16cm, 14MHz = 11,5cm, 30MHz = 9cm, 50MHz = 7cm, 146MHz = 5 A 6cm, UHF < 5cm.

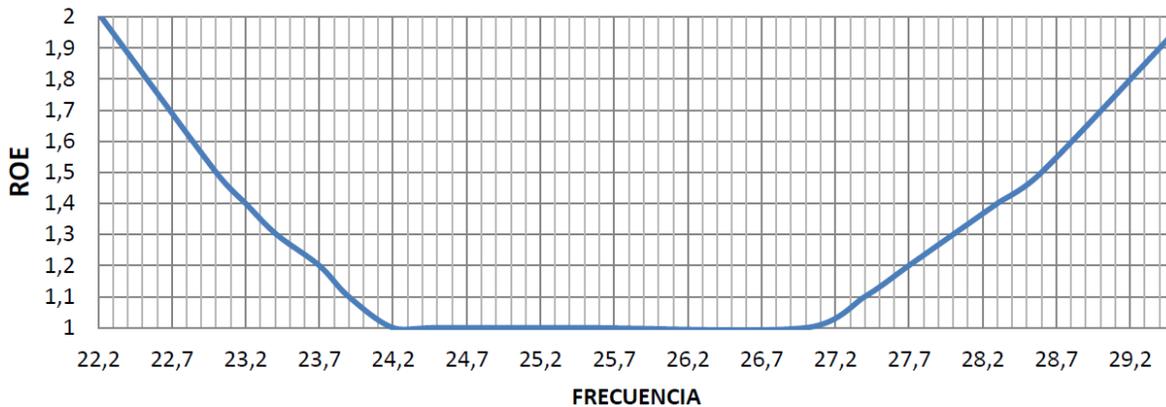
NOTAS:

- * LAS LONGITUDES FISICAS EN ESTOS DOS TIPOS DE DIPOLOS, SON 5% MÁS CORTAS QUE EN DIPOLOS COMUNES, ES DECIR, LAMBDA - 10%.
- * EN EL DIPOLO PLEGADO, LA LONGITUD DE ANTENA (L1), SE TOMA DESDE EL CENTRO DE LOS SEPARADORES EN LOS EXTREMOS DEL PLIEGUE (SP).
- * LOS BALUNS COAXIALES ESTAN CALCULADOS PARA DESFASE DE 171 GRADOS (EN DIPOLOS PLEGADOS COMUNES SE USA 180 GRADOS = 1/2 ONDA).
- * VP = VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL CABLE COAXIAL (DEPENDE DEL MATERIAL AISLANTE ENTRE DEL CONDUCTOR CENTRAL Y LA MALLA, TRADICIONALMENTE: ESPUMA DE TEFLÓN = 0,82, TEFLÓN SÓLIDO = 0,70, POLIETILENO = 0,66.
- * \leftarrow = BRAZO PRINCIPAL. ORIENTAR HACIA ARRIBA EN CASO DE POLARIZACIÓN VERTICAL.
- * LA POTENCIA MÁXIMA SE LIMITA POR LA CALIDAD DE SOLDADURAS Y DEL MATERIAL A USAR.
- * MAYOR INFORMACIÓN EN www.qrz.com/db/YY5RM.



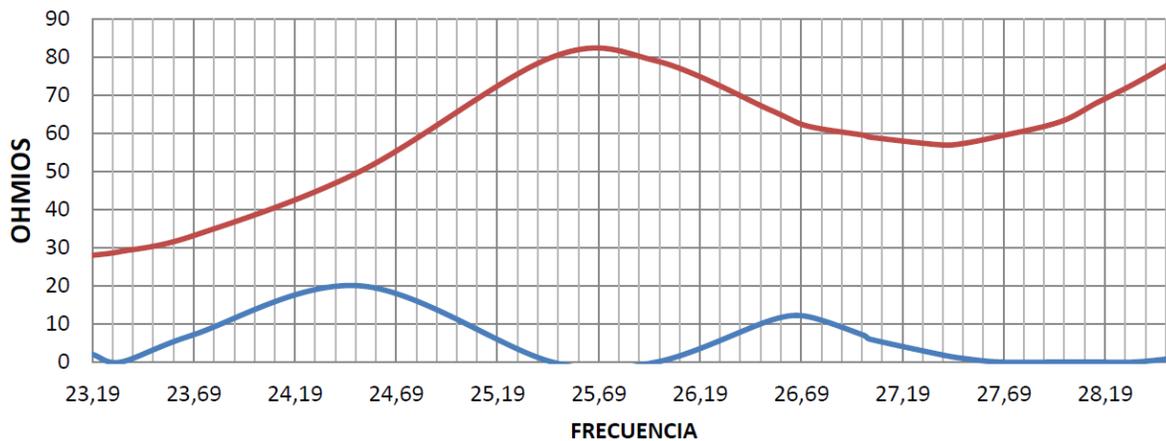
Ancho de banda visto con roímetro y aproximadamente 20 Watts de RF:

ANCHO DE BANDA EN ANTENA DIPOLO PLEGADO CON BALUN COAXIAL 4:1



Visto con 20 miliwatts del analizador (rojo= componente resistiva, azul= componente reactiva):

FACTOR "Q" EN DIPOLO PLEGADO CON BALUN 4:1, PROBADO EN HF



Por estas razones, más las extraordinarias relaciones señal-ruido, me permito recomendarlas como excelentes antenas (hasta el momento no he determinado parámetros instalada como V invertida, solo la he usado para diseños de antenas HF de corta longitud de onda, VHF, UHF, incluso en WiFi 2.4GHz).

Aclaratorias y comentarios

Cuando generalizo el término "impedancia", para el caso de cables coaxiales, realmente se trata de impedancias características y para el resto de los casos generalmente puede tratarse de impedancia compleja, la cual puede tener presencia de componente reactiva y resistiva. Para el debido entendimiento, solo he tomado en cuenta la componente resistiva, debido a que la componente reactiva casi no absorbe potencia del transmisor. Matchear recortando la longitud física del cable coaxial no siempre es lo mejor, pero en casos específicos es preferible que volver a desmontar la antena para solucionarlo, además los resultados son satisfactorios.

Para culminar

Desde temprana edad, como entusiasta y futuro radioaficionado, participé en instalaciones de estaciones de radio, siempre admirando las técnicas y cálculos (incluyendo el uso de nodos) realizados por colegas expertos de la época. Luego, en mi adolescencia, con el conocimiento heredado y como estudiante de electrónica, en el área de las comunicaciones tuve particular interés en aprender la teoría que me permitió analizar situaciones y fenómenos casi inexplicables, que comúnmente afectan o favorecen nuestras instalaciones de antenas. En la actualidad, con mayores recursos para el aprendizaje y con más de 37 años optimizando empleando las bondades que nos ofrece el uso de longitudes resonantes en cables coaxiales, como aporte para mis colegas radioaficionados y profesionales que trabajan en el área de las comunicaciones, tuve la iniciativa de escribir el presente artículo, empleando recursos y lenguaje lo más sencillo posible (sin perder lo didáctico), con la finalidad que el lector adquiera

conocimientos básicos o aclarar posibles dudas, igualmente sirve de reflexión para colegas profesionales expertos que desinteresadamente y de buena voluntad publican en la web opiniones, comentarios o artículos para el conocimiento, pero considerando estas realidades como un mito, creando confusiones y discusiones innecesarias entre colegas.

Autor: Ramón Miranda (YY5RM)