

# LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y ACOPLADORES DE ANTENA

Por Miguel A. Zubeldía – LU1WKP  
silmig10@yahoo.com.ar

El llamado *Acoplador de Antena* (Transmatch) se utiliza especialmente cuando se desea alimentar una antena ligeramente fuera de su frecuencia de diseño, con antena multibanda, cuando se utiliza una línea de transmisión resonante para alimentar al irradiante, cuando se emplea una antena de conductor largo conectada directamente por un extremo al equipo de radio. La función específica del acoplador, es la de transformar la impedancia de la línea de transmisión y/o del irradiante, hasta el valor adecuado de impedancia de los equipos de radio, que es de 50 ohm. Al mismo tiempo, puede eliminar ó reducir la irradiación de armónicas y sintonizar el sistema línea de transmisión / antena a resonancia. Por otra parte, también contribuirá a la recepción de señales débiles en mejores condiciones.

Se debe tener muy en cuenta que el *Acoplador de Antena* no tiene nada que ver con la R.O.E en la línea de transmisión entre el equipo y la antena. La R.O.E es una medida de la desadaptación de impedancia que existe en una línea de transmisión entre el punto de alimentación de la antena y la impedancia característica de la línea, por lo tanto el acoplador no puede modificar estas condiciones. O sea, que si hay una elevada R.O.E en la línea de transmisión, la incorporación del *Acoplador de Antena* no mejorará el comportamiento. Este problema se resuelve exclusivamente adaptando la impedancia entre el punto de alimentación de la antena y la línea de transmisión que se utilice, que nada tiene que ver con la incorporación del acoplador.

Por lo tanto debemos tener claro el funcionamiento de las líneas de transmisión y como utilizarlas según cada caso en particular, hablemos de ello.

Para poder llevar la señal generada por el transmisor hasta la antena es necesario “conecta” ambos elementos, esto se efectúa con lo que denomina **línea de transmisión**. También es una línea de transmisión la que se utiliza para la recepción, obviamente es la misma cuando se utiliza la misma antena tanto para transmitir como para recibir.

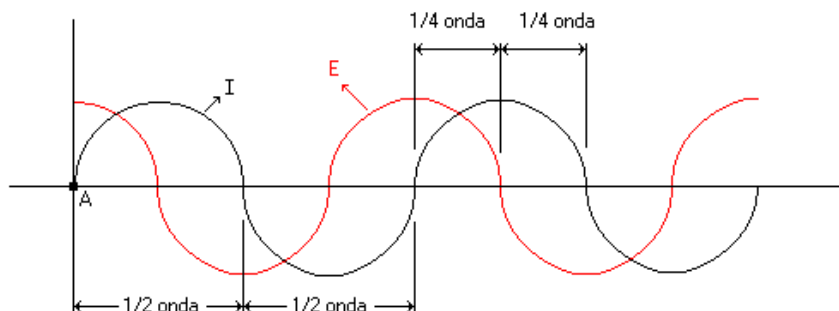
Según su construcción se dividen en líneas **bifilares** (con una construcción simétrica) ó **concéntricas** (de una construcción asimétrica), las primeras están construidas con dos conductores de igual diámetro separados una distancia constante y mantenidos de esta forma ya sea con un dieléctrico continuo (como las llamadas tipo cinta) ó con separadores aislantes a espacios regulares (llamadas líneas abiertas). Las concéntricas son los coaxiales.

Según su funcionamiento eléctrico se las denominan líneas **resonantes** ó **aperiódicas**.

Independiente del tipo de línea, todas tienen una característica propia que es su **impedancia característica** definida por sus particulares constructivas, en las líneas bifilares varían entre 100 y 650 ohm y en los coaxiales entre 30 y 120 ohm.

Para poder interpretar el funcionamiento de las líneas de transmisión primero debemos saber como se distribuye la tensión y la corriente a lo largo de ella.

Sabemos que la señal de R.F que recorre la línea es alternada y de una frecuencia



- Fig. 1 -

determinada correspondiéndole una longitud de onda dada por la ecuación:  $300/\text{Mhz}$ . La señal alternada recorre la línea según la figura 1.

Por las características de la corriente alternada, siempre la tensión en un punto cualquiera de la línea se encuentra desplazada en  $\frac{1}{4}$  de ciclo respecto a la corriente en el mismo punto, por ejemplo a partir de un instante inicial como el **A**,  $\frac{1}{2}$  longitud de onda después la corriente volverá a ser mínima y la tensión será máxima, pero  $\frac{1}{4}$  de longitud de onda mas tarde la corriente será máxima, mientras que la tensión ahora será mínima.

Según el gráfico vemos los valores de tensión y corriente que pasan por un valor cero, en la práctica estos puntos están muy próximos a los teóricos y por ello hablamos de valores mínimos para dichos puntos en lugar de valores cero.

Recordemos que la impedancia es el cociente entre la tensión y la corriente, por ello en una antena dipolo la impedancia es mínima en el centro (máxima corriente y mínima tensión) con un valor del orden de los 72 ohm y es de impedancia máxima en los extremos (mínima corriente y máxima tensión) con un valor del orden de los 2500 ohm.

Teniendo en cuenta lo comentado anteriormente si disponemos de una línea de  $\frac{1}{2}$  longitud de onda para una frecuencia determinada, comprobamos que la impedancia en los extremos es la misma independientemente de la impedancia característica de la línea en cuestión ó sea que la línea repite el valor de la impedancia cada  $\frac{1}{2}$  longitud de onda. Pero si la línea tiene  $\frac{1}{4}$  de longitud de onda la impedancia en un extremo será máxima y en el otro mínima.

Cuando se conecta una línea de transmisión, de cualquier longitud, cuya impedancia característica es igual a la impedancia de la antena en su punto de alimentación, toda la energía se disipa en la antena por radiación y se dice que dicha línea es **aperiódica**, la distribución de la tensión y de la corriente por la línea son homogéneas. Cuando esto no ocurre se dice que la línea es **resonante**, en este caso parte de la energía es devuelta desde la antena al transmisor por la línea de transmisión provocando puntos de tensión y de corriente no homogéneos, el cociente entre la máxima y mínima tensión (ó de corriente) a lo largo de la línea se lo conoce como R.O.E. (**R**elación de **O**ndas **E**stacionarias).

Cuanto mayor es el grado de desadaptación de impedancia entre la línea y el punto de alimentación de la antena, mayor será la R.O.E. siendo la línea resonante.

Las líneas resonantes tienden a provocar interferencias varias por lo cual siempre es recomendable el uso de líneas aperiódicas. Hablando estrictamente, una línea es aperiódica solo para la frecuencia de diseño de la antena y alimentada en un punto donde la impedancia de la misma es igual a la impedancia característica de la línea de transmisión, a medida que nos alejamos de dicha frecuencia la distribución de tensión y corriente en la antena cambia y por lo tanto la impedancia en el mismo punto de alimentación será diferente siendo ahora una línea resonante. Desde el punto de vista práctico se considera que las líneas son aperiódicas hasta un valor de  $R.O.E = 1:1,5$ .

### **Aplicaciones Prácticas:**

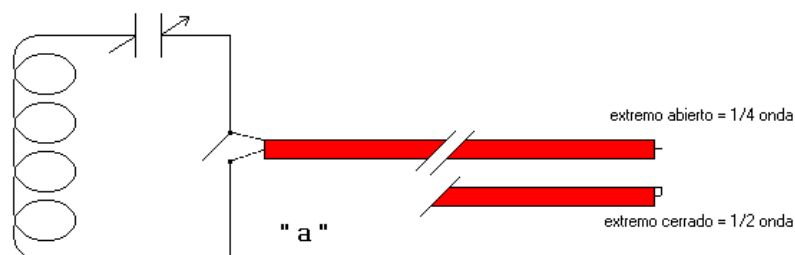
Las aplicaciones prácticas van desde conocer la impedancia de la antena en un punto de alimentación con una línea de  $\frac{1}{2}$  longitud de onda ó múltiplo de ella hasta el enfazado de varias antenas y la adaptación de impedancias, líneas de transmisión armónicas, prolongación de líneas, etc.. Pero para ello debemos conocer la longitud física de las líneas.

Es bien sabido que las ondas de radio se propagan mas lentamente sobre un conductor que en el espacio libre, en el caso de una línea de transmisión la capacidad entre los conductores reduce aún mas la velocidad de propagación, también tiene mucha influencia las características del dieléctrico que mantienen físicamente separados los conductores de la línea siendo este último el de mas influencia dado la variación de construcción como su variación de características en la antigüedad del mismo. Esta diferencia en la velocidad de propagación se lo conoce como **VP** (factor de velocidad de propagación) siendo un número menor que 1, por lo tanto la longitud física de una línea de transmisión de una longitud de onda estará dada por:  $(300/\text{Mc.}) \times \text{VP}$ .

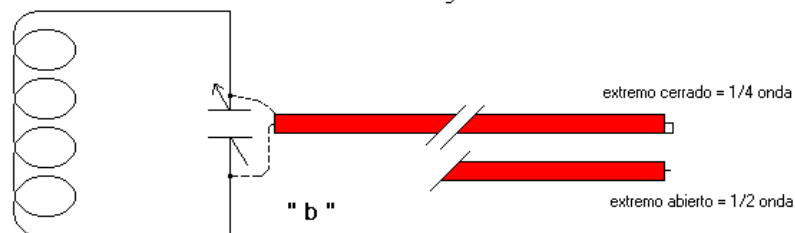
El valor numérico de VP utilizado es de 0,66 para los coaxiales, 0,95 para las líneas bifilar abierta y de 0,87 para líneas bifilares de polietileno como la línea de 300 ohm usadas en TV. ó la de 75 ohm para transmisión.

Debido a las variaciones constructivas y características de los dieléctricos estos valores suelen ser orientativos, por ejemplo en los coaxiales la diferencia de longitud física puede llegar al 20% respecto a la ecuación.

¿Cómo podemos, entonces, saber cual es la longitud física de una línea de transmisión de una longitud de onda determinada? Volvamos al gráfico 1, en los puntos de la línea donde la corriente es máxima y mínima la tensión (impedancia cero) se puede poner en cortocircuito dicho punto que el funcionamiento de la misma será exactamente igual, análogamente en los punto de máxima tensión y mínima corriente no podemos cortocircuitarla (impedancia infinita). Para saber si estamos en un punto de máxima corriente ó de máxima tensión podemos utilizar un tradicional circuito serie para la frecuencia deseada.



- Fig. 2 -



En la fig.2 cuando el circuito está en resonancia la circulación de corriente por el mismo es máxima y también es máxima la tensión en los extremos del capacitor y de la bobina. Para determinar la longitud de onda de una línea operamos de la siguiente manera:

1º) Con el circuito cerrado ponemos en resonancia el mismo con un dip meter, por ejemplo.

2º) En el caso "a" alimentamos la línea en un punto de máxima corriente abriendo el circuito e intercalando la línea (sin tocar la posición del capacitor).

3º) Si necesitamos una línea coaxil de  $\frac{1}{4}$  de onda cortamos el cable según la ecuación  $(75/\text{Mhz.}) \times 0,66$  más un 10% y comenzamos a recortar el mismo dejando el extremo abierto. Cuando el circuito vuelva a entrar en resonancia en la misma frecuencia, debido a la disminución de la longitud del cable, la longitud física de la línea será de  $\frac{1}{4}$  de onda dado que la reactancia de la línea y del circuito serán iguales, un extremo estará en un punto de máxima corriente y el abierto en un punto de máxima tensión.

4º) Si necesitamos una línea coaxil de  $\frac{1}{2}$  onda cortamos el cable según la ecuación  $(150/\text{Mhz.}) \times 0,66$  más un 10%, repetimos el punto 2º, y comenzamos recortando la línea ahora poniendo en cortocircuito el extremo, cuando el circuito entre en resonancia nuevamente en la misma frecuencia la línea tendrá  $\frac{1}{2}$  longitud de onda dado que ambos extremos estarán en un punto de máxima corriente.

5º) En el caso "b" alimentamos la línea en un punto de máxima tensión conectando la misma en paralelo con los extremos de la bobina (sin tocar la posición del capacitor). En este

caso, operando como en los puntos 3° y 4°, con el extremo abierto obtenemos ½ longitud de onda y con el extremo en cortocircuito ¼ de onda.

En todas estas mediciones es muy importante la precisión del instrumento a utilizar, especialmente en VHF. Este procedimiento se puede salvar si disponemos de un analizador de antena el cual interpreta automáticamente este análisis.

Cuando se ajusta una antena el medidor de R.O.E. se debería colocar en el punto de alimentación de la misma a los efectos de asegurar la correcta medición dado que de hacerlo en un punto cualquiera de la línea se corre el riesgo de estar en un punto de tensión y corriente resultante entre la reflejada y la directa y por lo tanto la medición de la R.O.E. no será la correcta. Pero no siempre resulta práctico esa posición del medidor, pero si colocamos una línea de ½ onda (ó múltiplo) la impedancia en el punto de alimentación de la antena se verá repetida en el otro extremo independientemente del valor de la impedancia característica de la línea utilizada. Una vez ajustada la antena se puede colocar la línea adecuada de cualquier largo dado que ahora será aperiódica.

Las líneas de transmisión además de poder ser **resonantes** ó **aperiódicas**, según su funcionamiento, también funcionan diferentes si son **bifilares** ó **concéntricas**.

Las líneas bifilares se alimentan en forma equilibrada de manera que el campo magnético generado por uno de los conductores se anule por el generado en el conductor paralelo, ello significa que las corrientes que circulan por ambos conductores de la línea deben estar exactamente fuera de fase. Por otro lado, para que se cumpla lo anterior, la línea debe ser aperiódica de manera que en la misma no exista retorno de R.F. (R.O.E), y además para que cada conductor se pueda comportar del mismo modo el punto de alimentación en la antena debe ser eléctricamente simétrico, de esta forma la línea bifilar no producirá irradiaciones de ningún tipo.

Aunque la antena se “vea” de una construcción simétrica, puede ocurrir que eléctricamente no lo sea, es el caso de la cercanía de objetos como árboles, torres metálicas, líneas telefónicas ó de corriente domiciliaria, etc., que provoca una distorsión en la distribución de la corriente en la antena y con ello el desequilibrio de la misma.

Es por ello que la utilización de líneas bifilares requiere que la antena esté lo suficientemente alejada de todo tipo de objetos, del punto de vista práctico ½ longitud de onda. Pero también la misma línea debe estar libre de objetos cercanos ( una distancia de 1m del objeto más cercano suele ser suficiente para evitar la distorsión del campo magnético de los conductores), de esta forma las líneas bifilares no producen irradiación.

Debido a estas consideraciones que es necesario tomar para el correcto funcionamiento de las líneas bifilares, y que no siempre es posible lograrlas, es que las mismas no gozan de buena reputación a pesar de su alto rendimiento.

Las líneas concéntricas, los coaxiales, trabajan en forma muy diferente. Estas son líneas blindadas por su forma de construcción y si bien las corrientes son del mismo valor tanto en el conductor interno como por el externo, malla, el campo electromagnético se halla contenido dentro de la línea y por lo tanto no produce irradiación, si la misma funciona adecuadamente. Al no tener campo electromagnético externo no son afectadas por objetos cercanos y por lo tanto pueden recorrer cualquier superficie sin afectar su funcionamiento.

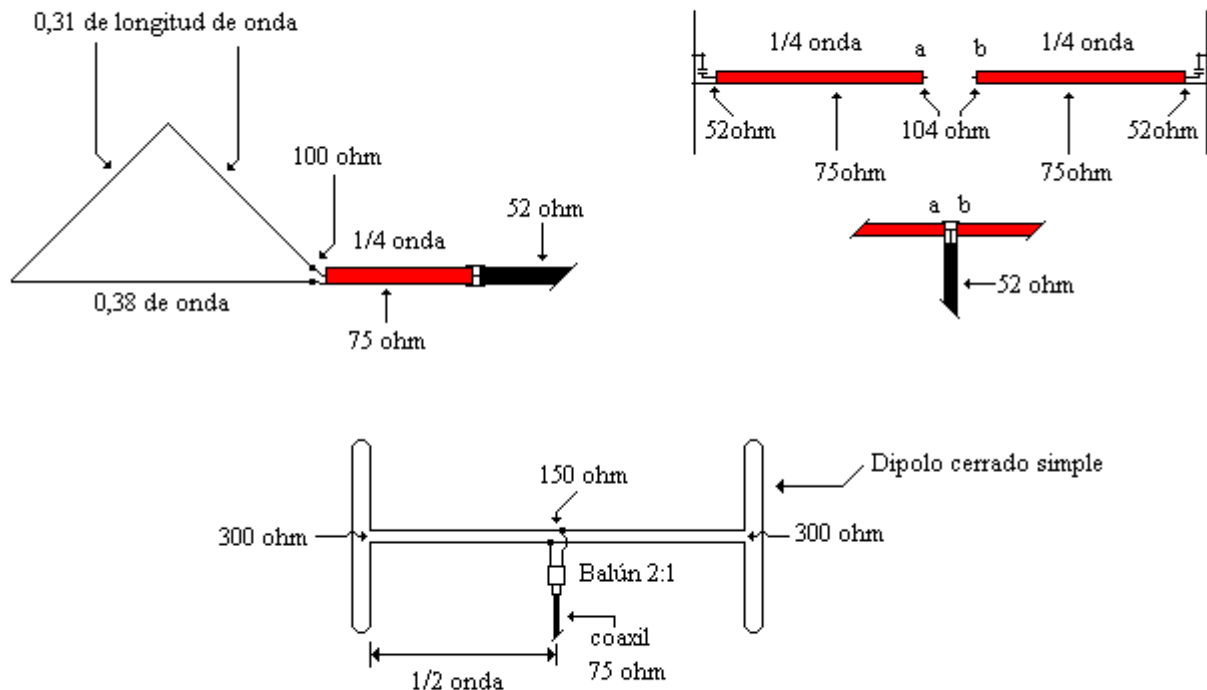
Conociendo como funcionan las distintas líneas de transmisión y como medir una determinada longitud de onda, podemos utilizar las mismas para adaptar impedancias.

Un transformador de impedancia simple, es la línea de cuarto de onda. Si la impedancia característica de una línea de ¼ de onda es igual a la media geométrica entre dos impedancias desiguales que se pretenden adaptar, la línea actúa como un transformador de impedancia quedando ambas correctamente adaptadas, o sea :

$$Z_L = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \quad (1)$$

$Z_L$  = impedancia característica de la línea adaptadora.  
 $Z_1$  y  $Z_2$  = impedancias que se pretenden adaptar.

Por otro lado sabemos que las impedancias se suman y se restan igual que las resistencias. Combinando ambas características podemos colocar en paralelo, enfazadas, dos o más antenas. Tomemos dos caso como ejemplo: en el primero caso deseamos alimentar una antena delta por un vértice inferior (polarización vertical) con una línea de transmisión coaxil de 52 ohm. Según la formula (1) tenemos que  $Z_1 = 100$  ohm (impedancia de la delta) desbalanceado,  $Z_2 = 52$  ohm. Luego de efectuar la cuenta resulta  $Z_L = 72,2$  ohm, podemos utilizar un coaxil de 75 ohm de  $1/4$  de onda y luego continuar con el de 52 ohm hasta el equipo.



En el segundo ejemplo deseamos colocar en paralelo dos antenas Yagis con una separación de  $5/8$  a  $3/4$  longitud de onda. Estas antenas tienen en su punto de alimentación, luego de ajustarlas independientemente, 52 ohm. Aplicamos la formula (1) donde  $Z_1 = 52$  ohm,  $Z_2 =$  el doble del valor de la impedancia de la línea de alimentación que llegará al equipo, a los efectos que al conectar en paralelo la otra mitad del conjunto irradiante, el valor de la impedancia final sea igual al de la línea de transmisión que se utilizará, en este caso 52 ohm;  $Z_2 = 104$  ohm. Finalmente, luego de efectuar las cuentas, la línea enfazadora de  $1/4$  de onda deberá ser de 73,6 ohm utilizándose en la práctica coaxil de 75 ohm.

Tengamos en cuenta que estas líneas adaptadoras de  $1/4$  de onda se pueden prolongar agregando tramos de  $1/2$  longitud de onda dado que este agregado no influye en el funcionamiento de la primera por ser la línea de  $1/2$  onda una repetidora de impedancias, por lo tanto las líneas adaptadoras de  $1/4$  de onda pueden ser múltiplos impares de ellas :  $1/4, 3/4, 5/4, 7/4,$  etc.

Las variantes pueden ser muchas, pero siempre se utiliza la ecuación (1) y el resultado de impedancias en paralelo.

También se puede utilizar las líneas de  $1/4$  de onda bifilares, en este caso todo el sistema debe ser balanceado (simétrico) y finalmente pasar a desbalanceado (coaxil) por medio de un balún adecuado.

Pero, según el caso, también se puede enfazar antenas con líneas de una onda, es el caso de antenas de una impedancia de 300 ohm (dipolos cerrados, por ejemplo). Las dos antenas se unen con una línea bifilar de una longitud de onda de cualquier impedancia característica, en el centro de dicha línea de una onda ó sea a 1/2 onda la impedancia será de 150 ohm; esto es debido a que el tramo de 1/2 onda repite el valor de impedancia en sus extremos sin importar el valor de su impedancia característica, o sea que es igual que conectar en paralelo dos resistencias de 300 ohm, ó sea 150 ohm. A partir de aquí, se coloca un balún 2:1 y se alimenta con coaxil de 75 ohm ( para pasar a línea desbalanceada).

De las líneas coaxiales casi absolutamente utilizaremos la de 50/52 ohm, pero es de suma importancia cual de ellas nos conviene a nuestro propósito. Todos los coaxiales poseen un aislante que separa el conductor central de la malla exterior, dicho aislante en mayor ó menor medida permite la circulación de la corriente de R.F. es decir que tienen pérdidas; también tenemos las pérdidas por radiación, por temperatura principalmente cuando utilizamos mucha potencia, por la resistencia propia de los conductores. De todas ellas la más importante es debida al aislante, pero no solo depende de las características físicas del mismo, también de la frecuencia.

Las pérdidas de los distintos coaxiales se suelen expresar cada 30m de longitud y existen tablas que muestran dichos valores.

El cociente entre la potencia de entrada a la línea y la potencia de salida de la misma, se denomina “Eficiencia de la línea de transmisión”, por lo tanto se deberá buscar una solución de compromiso entre el precio comercial y las pérdidas de la línea a los efectos de que la eficiencia sea el de mayor valor. De nada vale colocar mucha potencia ( de gran valor económico) en una línea barata (de mucha pérdida), estaremos desperdiciando nuestro equipo tanto en transmisión como en recepción al ser menores las señales que llegan al receptor por las pérdidas en la línea. Es mucho más económico tener una línea de muy bajas pérdidas con un equipo económico a disponer de mucha potencia con líneas de muchas pérdidas.

Por lo tanto una línea de transmisión deja de ser aperiódica cuando la **Relación de Ondas Estacionarias**, del punto de vista práctico, supera el valor 1:1,5 siendo ahora una línea resonante (una línea con R.O.E) Por lo tanto para poder conectar una línea resonante al transmisor será necesario intercalar un *Acoplador de Antena*.

### **Acoplador de Antena I:**

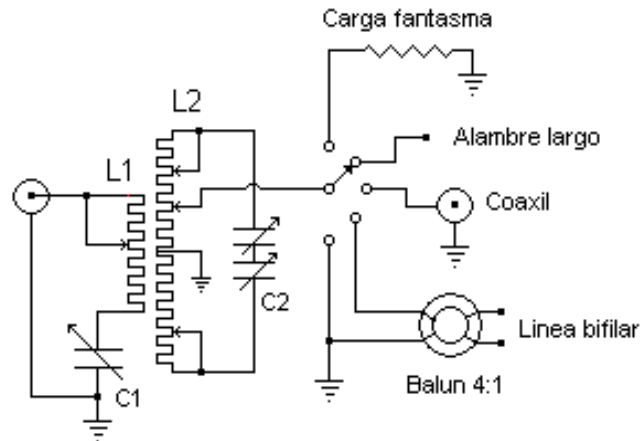
Muchos son los circuitos que se pueden utilizar dependiendo del rango de impedancia que se pretende adaptar, en este artículo comentaremos dos circuitos muy utilizados. El primero de ellos, inductivo, se construye con una inductancia L2 de 55mm de diámetro con 44 espiras de alambre de 2mm espaciadas c/u de ellas un diámetro para la banda de 80m, 18 espiras de ellas para 40m, 10 espiras de ellas para 20m, y 6 espiras de ellas para 15m y 10m; tener en cuenta que siempre estas espiras tienen la derivación a masa en su parte central, por lo tanto las derivaciones se tomarán a medias a cada lado de la masa. La inductancia L1 es interior a L2 y en su centro, construida con alambre esmaltado de 1mm de diámetro a espiras juntas y tiene las siguientes: 18 espiras para 80m, 6 espiras para 40m, 3 espiras para 20m, y 2 espiras para 15m y 10m; las derivaciones se efectuarán sacándolas fuera de L2 y por medio de pinza miniatura tipo cocodrilo.

El capacitor variable C1 es de 300 Pf y el C2 de estator dividido (tándem) de 140 Pf c/u. No siempre resulta fácil la obtención de estos capacitores pero se pueden construir con varilla roscada, separadores, bujes de teflón, soporte aislante y chapas galvanizadas ó de aluminio, adecuadas.

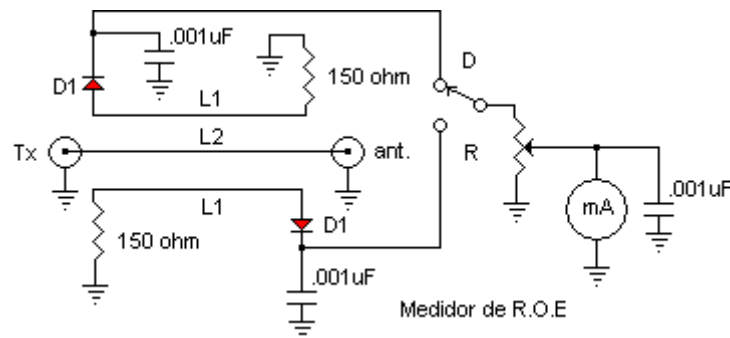
El balún 4:1 se puede adquirir en el mercado ó construirlo con una varilla de ferrite de 1cm de diámetro (de las utilizadas en radios de AM) ó con un toroide de ferrite. La llave selectora es conveniente que sea de porcelana en especial si se ha de utilizar una potencia superior a los 100W.

A los efectos de disponer un *Acoplador de Antena* completo se adjunta el circuito de un medidor de R.O.E, el mismo deberá situarse lo suficientemente aislado de las bobinas si se ha de armar como parte del acoplador, por ejemplo debajo del chasis donde se arma el conjunto. El circuito se puede armar en una plaqueta con película de cobre de 10cm x 10cm, dibujar el

circuito y utilizar Cloruro Férrico Concentrado para la fabricación del circuito impreso. Los diodos D1 son 1N34 ó similar, las resistencias de ½ W, el potenciómetro de 10.000 ohm, L1 es un alambre de cobre rígido de 3mm de diámetro y 10 cm de longitud y L2 de igual longitud de caño de cobre de 4mm de los utilizados en combustible. La separación entre los conductores es de 5 mm y el miliamperímetro de 0 – 1ma.

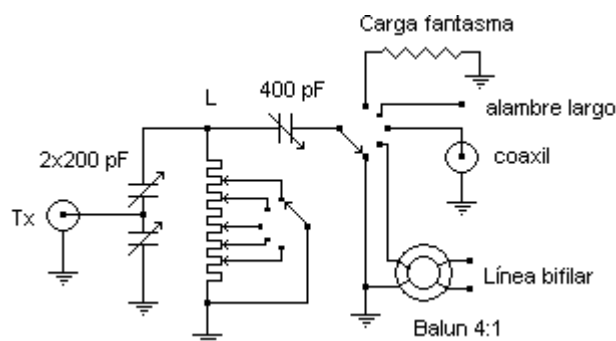


El medidor de R.O.E se instala a continuación del equipo de radio, luego el *Acoplador de Antena* y finalmente la línea de transmisión. Para cada banda el ajuste del *Acoplador de Antena* se comienza con los capacitores a medio recorrido y la derivación que va a la antena cerca del punto medio de la bobina L2, se retoca el capacitor C2 a los efectos de lograr una mínima R.O.E en el instrumento colocado en posición reflejada (R), luego se retoca C1 con el mismo objetivo. El proceso se repite alternativamente hasta logra un mínimo de R.O.E, en caso de no llegar a un mínimo absoluto se corre la derivación una espira repitiendo el proceso. Una vez logrado un R.O.E. 1:1 para cada banda se registra las distintas posiciones de manera que al cambiar de banda el ajuste sea mínimo.



### **Acoplador de Antena II:**

Otro circuito de *Acoplador de Antena* que cubre un amplio rango de impedancia es el siguiente:



Se utiliza dos llaves conmutadoras de porcelana para mayor facilidad en la operación. Una selecciona la cantidad de espiras de la bobina L formada por 20 vueltas de alambre desnudo de 2mm, sobre una forma de 60mm de diámetro. Las espiras se bobinan con una separación igual al diámetro del alambre, excepto las últimas cuatro correspondientes a las bandas de 15m y 10m que tendrán el doble de separación entre sí. La carga fantasma de 50 ohm deberá tener una potencia de disipación acorde a la potencia a utilizar. Los capacitores variables y la bobina se deberán instalar sobre aisladores pilares. Desde ya el inductor se puede reemplazar por uno tipo rodillo de 30 uH permitiendo tomar vuelta por vuelta. Previamente con la carga fantasma se determinan experimentalmente las distintas derivaciones de la bobina L para las distintas bandas.

El ajuste de este *Acoplador de Antena* se efectúa en forma similar al anterior.