

Una de las primeras antenas que el radioaficionado novicio conoce es el dipolo de media longitud de onda. Particularmente en las bandas de HF, es una antena que provee un comportamiento aceptable, es fácil de construir y erigir, es de costo reducido salvo, tal vez, por la instalación de los mástiles, permite la configuración en "V" invertida con un solo mástil, se ajusta fácilmente y tiene un ancho de banda adecuado para la mayoría de las aplicaciones, etc.

Habitualmente se supone que el dipolo funciona como si la fuente de radiofrecuencia se hallara en el centro del dipolo y que está aislado del resto del mundo.



Figura 1

En estas condiciones irradia con su conocida figura de "8".

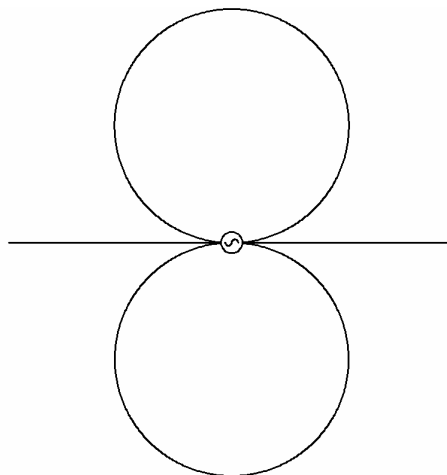


Figura 2

En la práctica es necesario llegar al dipolo con una línea de alimentación, que en radiofrecuencia se la llama habitualmente "línea de transmisión", normalmente una línea coaxial de 50 [Ohms].

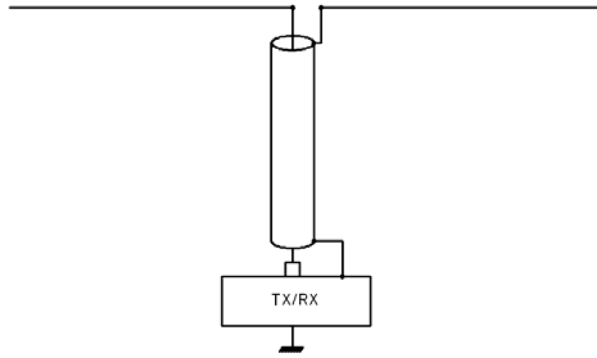


Figura 3

Ahora la situación es distinta de la original, el conector externo de la línea coaxial se conecta al chasis del transceptor y este debería estar conectado a tierra. En estas condiciones el dipolo funciona como si:

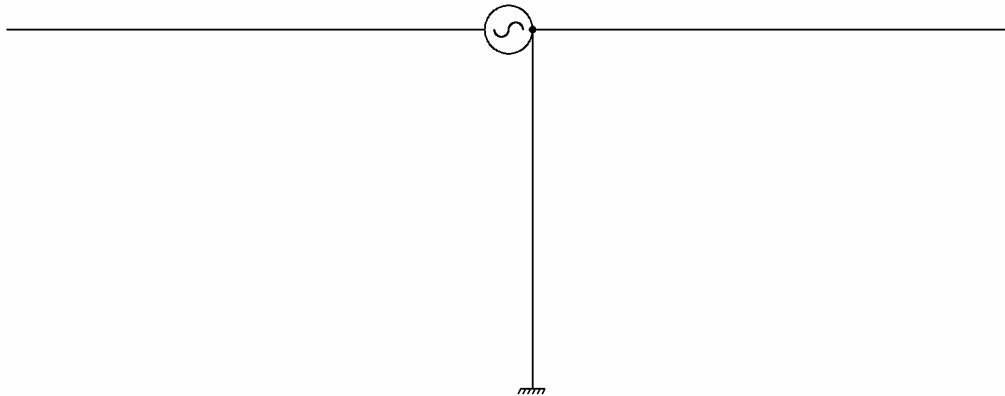


Figura 4

Si el transceptor no estuviera conectado a tierra, (Atención: una instalación potencialmente peligrosa!!) el dipolo se vería como:

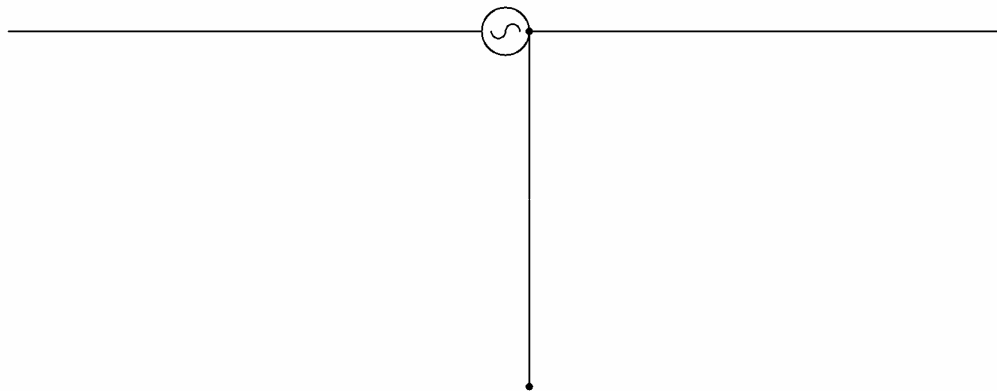


Figura 5

Ninguna de estas condiciones es igual a la original y el nuevo diagrama de irradiación es, en general, desconocido. Esto no quiere decir que la antena no sea utilizable, pero su utilidad es impredecible.

Además pueden aparecer otros problemas asociados a este tipo de instalación, por ejemplo:

- La relación de ondas estacionarias (ROE) es alta.
- Se producen interferencia a televisores, teléfonos, estéreos, etc.
- El transceptor y su micrófono están "electrificados"

Como el dipolo de la Figura 1 es (idealmente) simétrico, si aplicamos en el centro el voltaje  $V$ , entonces los voltajes deben ser como se muestra en la Figura 6:

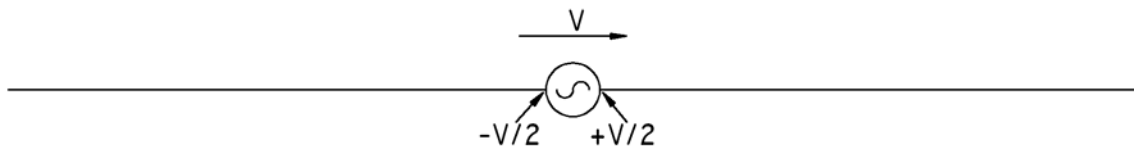


Figura 6

Y las corrientes como se muestra en la Figura 7

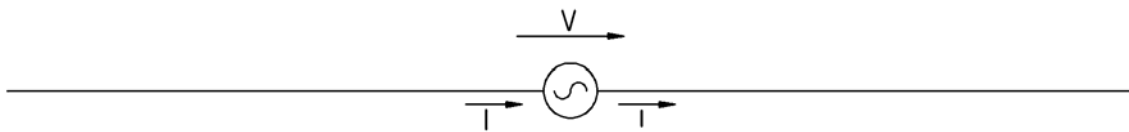


Figura 7

Desde luego las tensiones y corrientes varían a lo largo de la antena y sus distribuciones son bien conocidas:

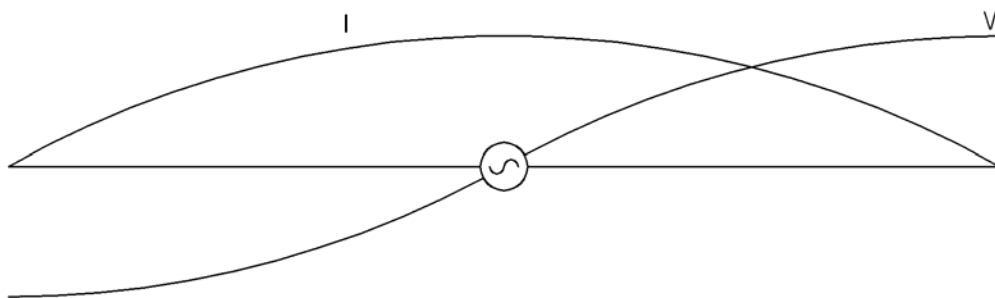


Figura 8

Qué sucede ahora si conectamos la línea coaxial?

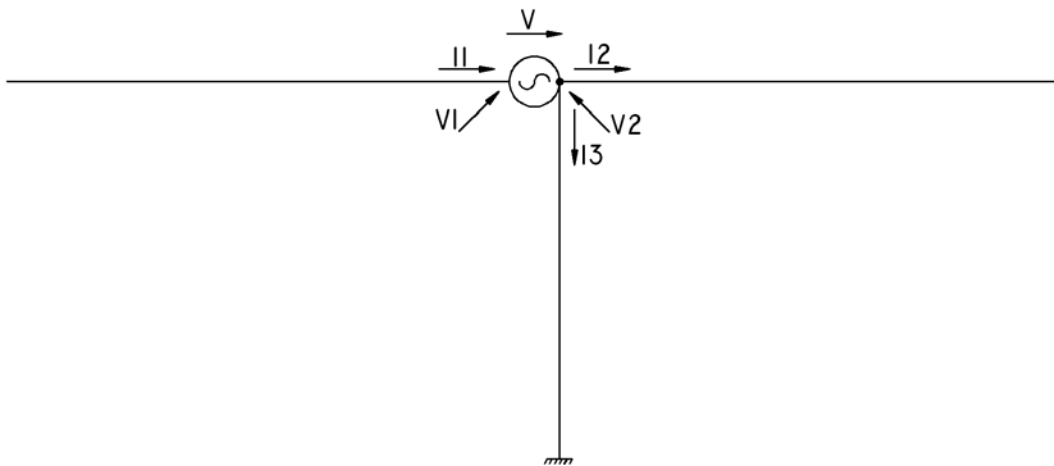


Figura 9

Desde luego  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  dependerán de cada instalación en particular.

Para tratar de comprender estos problemas antes debemos entender como funciona la línea coaxial,

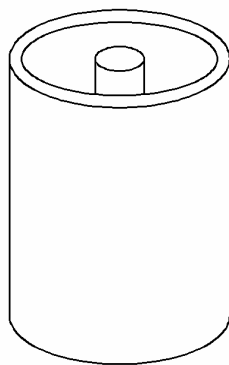


Figura 10

Primero debemos aceptar que en altas frecuencias la corriente no circula por todo el conductor sino que lo hace cerca de la superficie del mismo (Efecto Pelicular). La penetración de la corriente en el conductor depende de la frecuencia y es relativamente pequeña como se puede ver en la siguiente tabla:

Frec[MHz]	Penetración [ $\mu\text{m}$ ]	Penetración[mm]
3.5	35	0.035
7	25	0.025
14	18	0.018
28	12.5	0.0125

En el conductor central la corriente se concentra en la superficie exterior.

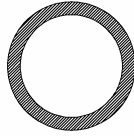


Figura 11

En el conductor externo (la malla) tenemos dos superficies: la exterior y la interior:

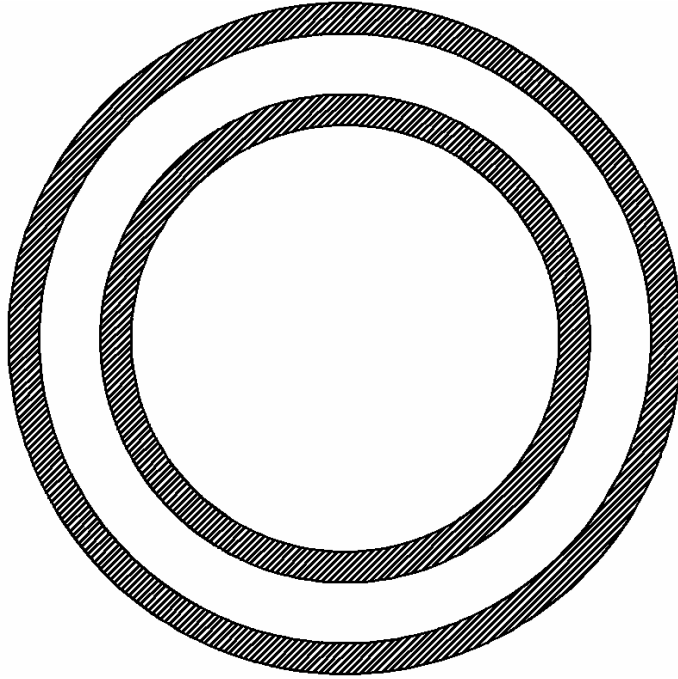


Figura 12

Resumiendo, una línea coaxial en altas frecuencias se comporta como si tuviese 3 conductores:

- La superficie del conductor central
- La superficie interna de la malla
- La superficie externa de la malla

Lo segundo que debemos saber es que si se miden la corriente del conductor central y la corriente que circula por la superficie interna de la malla se encuentra que estas son iguales y de sentido contrario (los textos y los docente habitualmente dicen: debido a las leyes del electromagnetismo.....etc." saquen Ustedes sus conclusiones). En estas condiciones tenemos las siguientes corrientes:

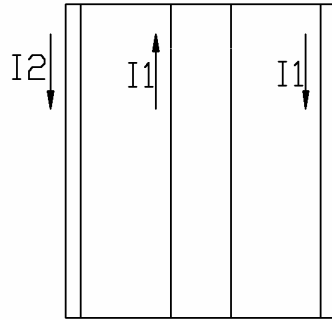


Figura 13

Lo interesante de todo esto es que si conectamos al coaxial una carga que haga que la corriente que llega ella sea igual a la que retorna, entonces no hay corriente que circule por la superficie exterior de la malla. Por ejemplo:

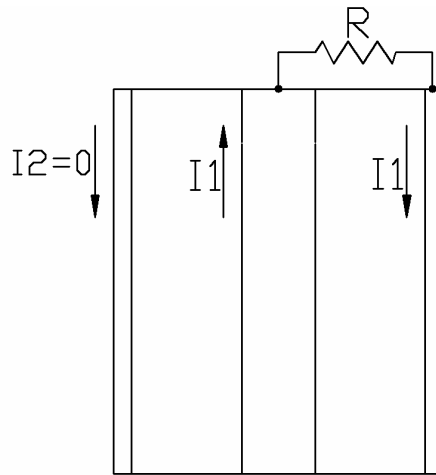


Figura 14

Otra situación sería la siguiente:

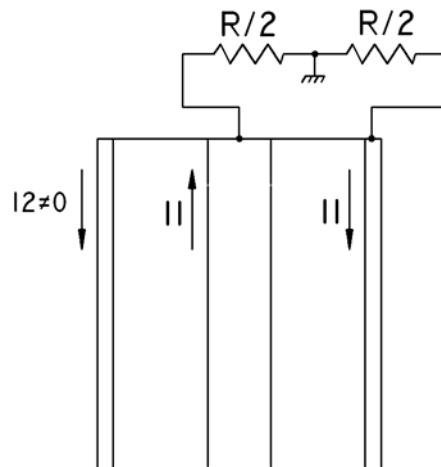


Figura 15

Esquemáticamente:

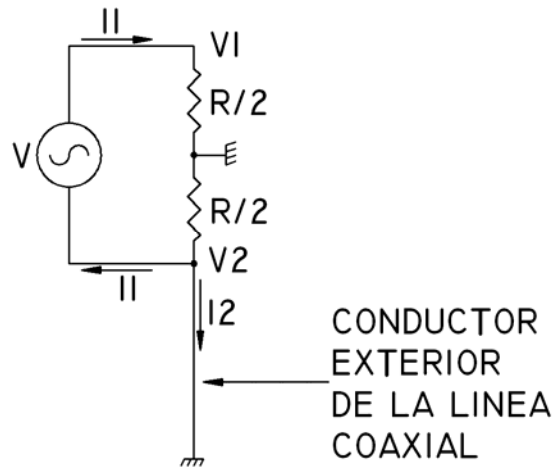


Figura 16

Ahora tenemos que, en general, que  $V1$  y  $V2$  no son iguales y que la corriente por el exterior de la malla no es nula. Una carga como esta se dice "balanceada" y en esta situación se la alimenta con una línea de transmisión "desbalanceada". En tiempos remotos, como cuando yo era joven, se empleaban las líneas de transmisión balanceadas y la salida del transmisor era también balanceada (en el sentido que entregaba  $+V/2$  y  $-V/2$  en sus terminales de salida). Luego apareció la televisión y terribles problemas de interferencia que casi acaban con la radioafición. La solución llegó con los circuitos de salida "PI", los filtros pasabajos (desbalanceados) y las líneas coaxiales.

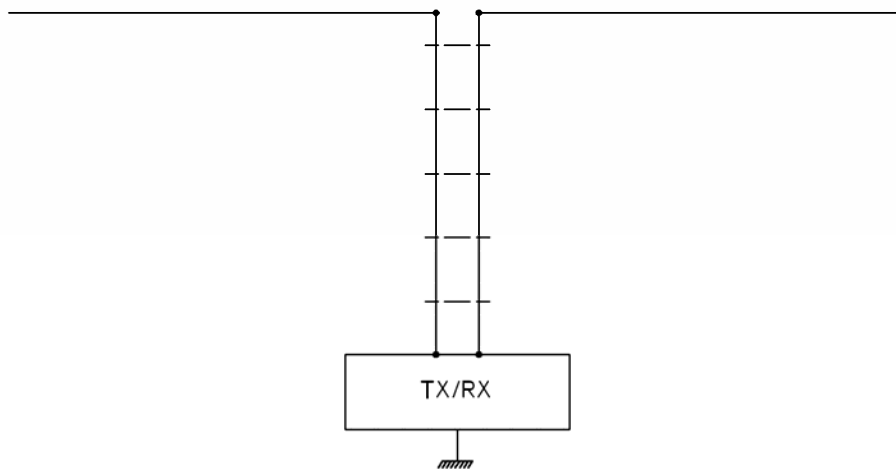


Figura 17

La antena dipolo de media onda se comporta como si fuera una carga balanceada con conexión a tierra (siempre que el dipolo sea razonablemente simétrico).

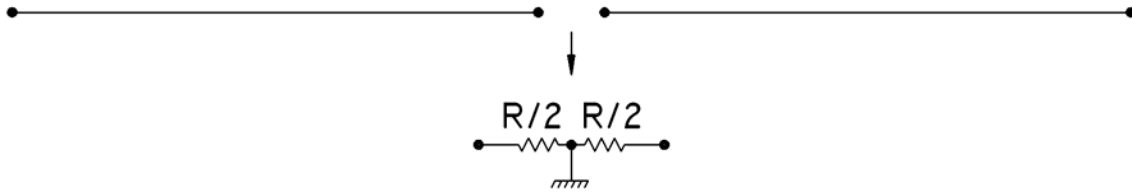


Figura 18

y ya sabemos que un dipolo de media onda alejado de tierra y de otros obstáculos tiene una resistencia de entrada de alrededor de  $72[\text{Ohms}]$ , con lo que nuestra carga balanceada se vería como:

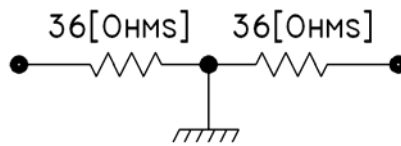


Figura 19

A esta altura de la discusión cabe preguntarse qué estamos buscando?, y tal vez, una buena respuesta sería: que la antena que con el cable coaxial se comporte como un dipolo ideal (sin el coaxial).

Una forma de hacer esto es usar un transformador aislador de manera de cortar la conexión del cable con tierra. La situación sería como:

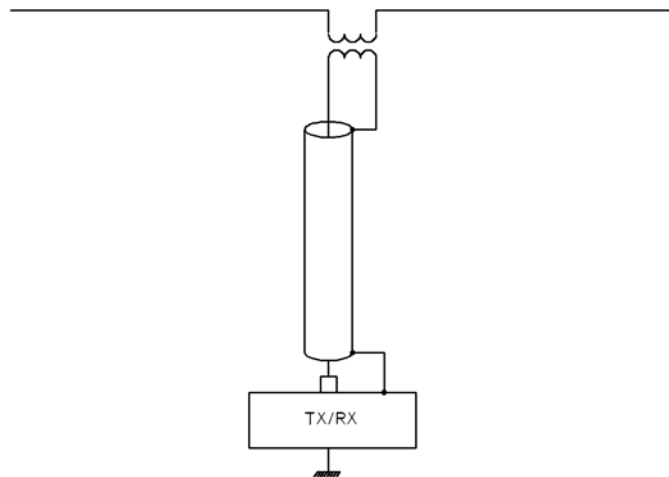


Figura 20

Esquemáticamente:



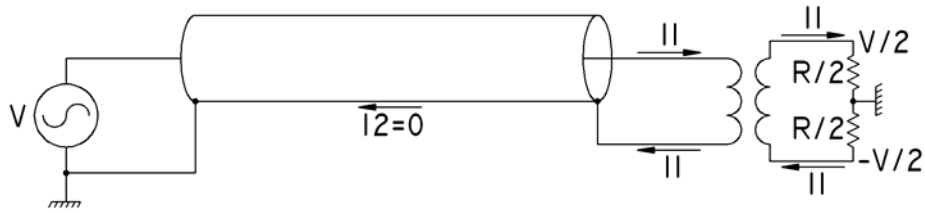


Figura 21

El transformador asegura que no haya corriente de retorno por la superficie externa de la malla de la línea coaxial.

Un transformador con este fin se conoce como "BALUN".  
 Una sigla de las palabras inglesas  
 BALANCED to UNBALANCED  
 (balanceado a desbalanceado)

Los transformadores pueden tener distintas formas constructivas, aunque no todos son adecuados para funcionar en altas frecuencias.

Bueno, la solución parece muy sencilla y hemos vuelto el dipolo a la situación ideal, pero construir un transformador para radio frecuencia no es necesariamente fácil. Veamos el transformador solo:

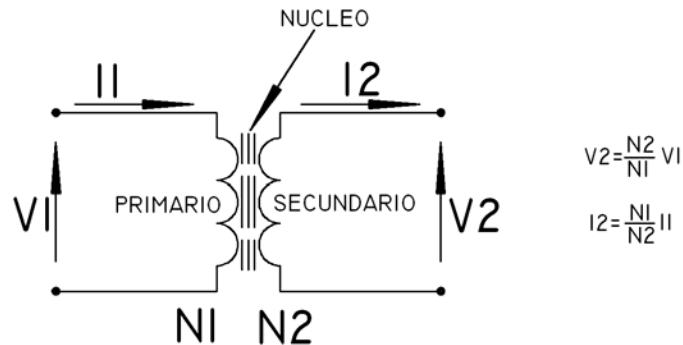


Figura 22

El transformador tiene dos bobinados que hemos llamado "primario" y "secundario" para fijar ideas. Las líneas entre los bobinados indican la presencia de un núcleo ferromagnético no imprescindible.

Ahora bien, ningún transformador real se comporta de forma "ideal". Con esto queremos decir que el transformador real no funciona exactamente como dicen las ecuaciones de la Figura 22.

Todo transformador tiene componentes, en principio no deseadas, que hacen que su comportamiento se aparte del ideal. Por ejemplo el bobinado primario tiene inductancia como la tiene cualquier conductor y más si está arrollado con muchas espiras y al cual le hemos agregado un núcleo ferromagnético. Lo mismo con el secundario. Estas inductancias no figuraban en el transformador ideal. También debemos tener en cuenta que en un transformador real no todo el flujo magnético inducido por el primario pasa por el secundario. Esta situación se puede mostrar como sigue:

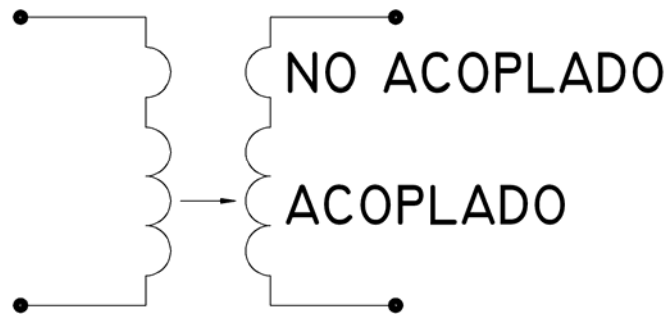


Figura 23

Con todo esto podemos hacer un modelo equivalente del transformador real.

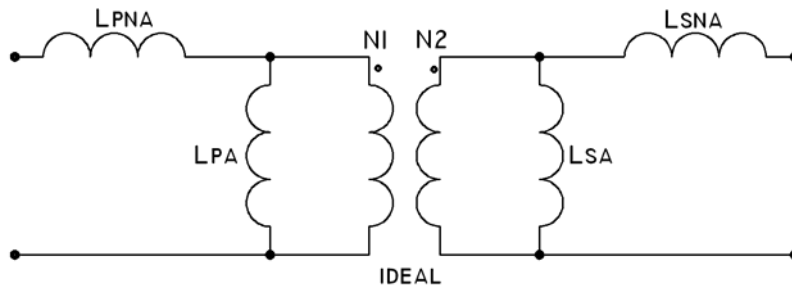


Figura 24

Todo esto se puede poner en un circuito equivalente más simple:

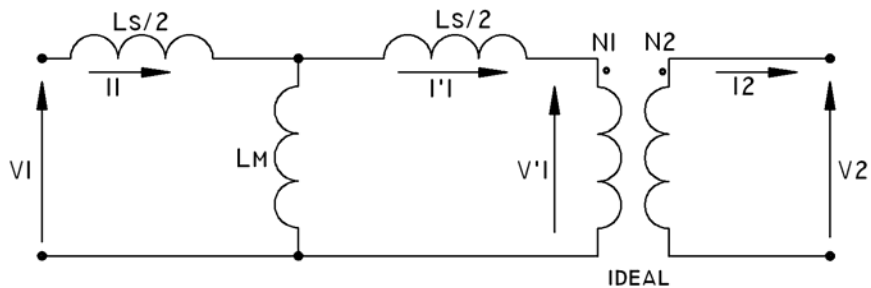


Figura 25

La inductancia  $L_s$  se llama "inductancia de dispersión" (por que tiene en cuenta el flujo disperso o no concatenado con el secundario) y la inductancia  $L_m$  se llama "inductancia de magnetización" (tiene en cuenta el flujo concatenado con el secundario).

En la Figura 26 hemos agregado algunos otros componentes al modelo tales como la capacidad de los bobinados  $C$ , la resistencia de pérdida del núcleo  $R$  y las resistencias de pérdida de los alambres  $R_1$  y  $R_2$ .

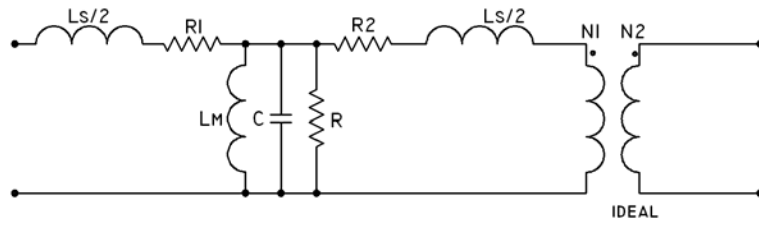


Figura 26

Volviendo al modelo de la Figura 25 y, si el transformador es de relación 1 a 1 y conectamos al secundario una carga adaptada (50[Ohms]), tenemos:

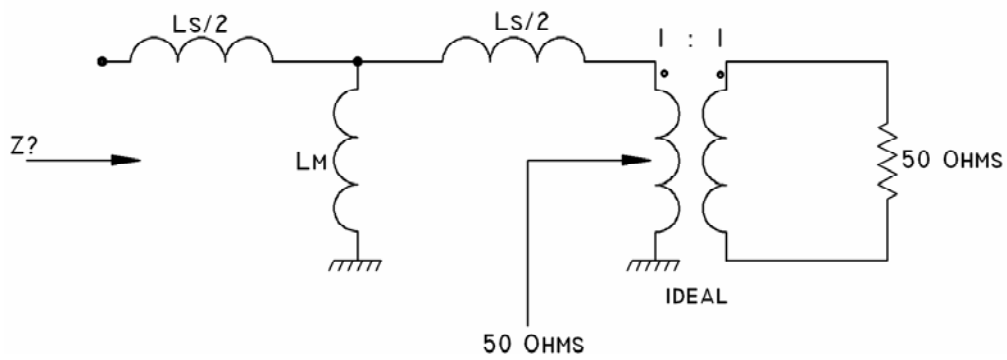


Figura 27

Lo cual que se puede reducir a:

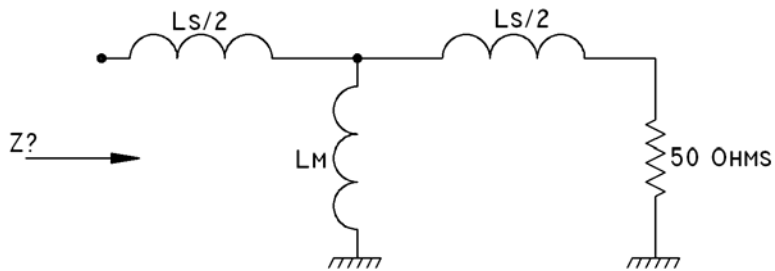


Figura 28

En un transformador bien construido:

$$L_M \gg L_S$$

La reactancia de una inductancia se calcula como:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L[\Omega]$$

Así:

$$X_M \gg X_S$$

Y esto sucede a cualquier frecuencia.

Pongamos un ejemplo:

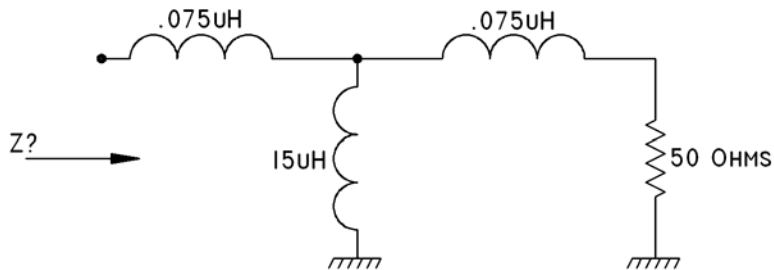


Figura 29

A 1.8[MHz]:

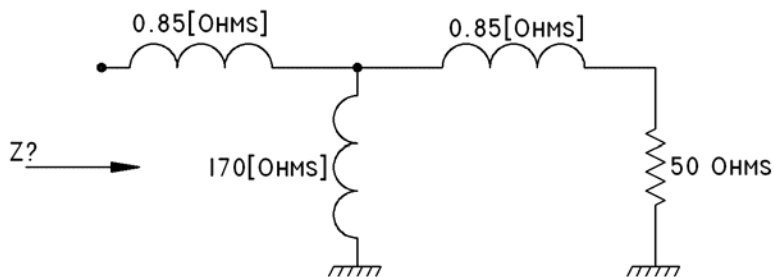


Figura 30

A 28 [MHz]:

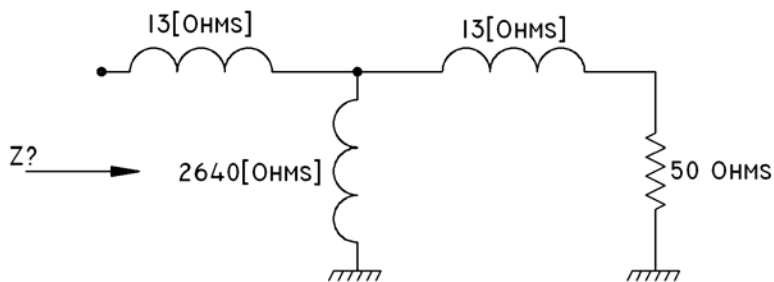


Figura 31

Se puede ver que a 1.8[MHz] la reactancia de dispersión no es importante pero si lo es la reactancia de magnetización cuyo valor de 170[Ω] es comparable con la carga (50[Ω]). A 28[MHz] la situación se invierte y la reactancia de dispersión domina el comportamiento del balun. En la figura se muestra la ROE de un balun como este en función de la frecuencia.

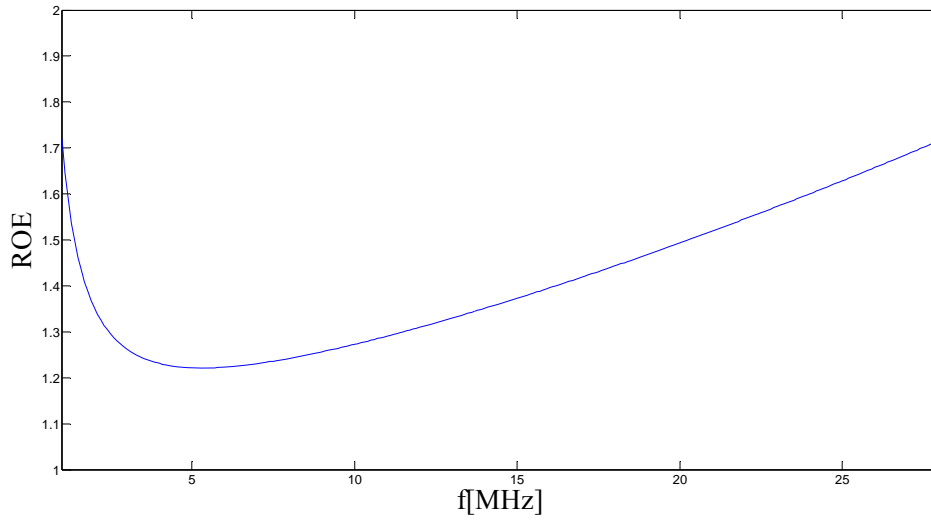


Figura 32

Ahora que sabemos como funciona el balun podemos tratar de averiguar que se puede hacer para mejorar su funcionamiento.

-En baja frecuencia aumentar  $L_m$

$L_m=150\mu\text{H}$

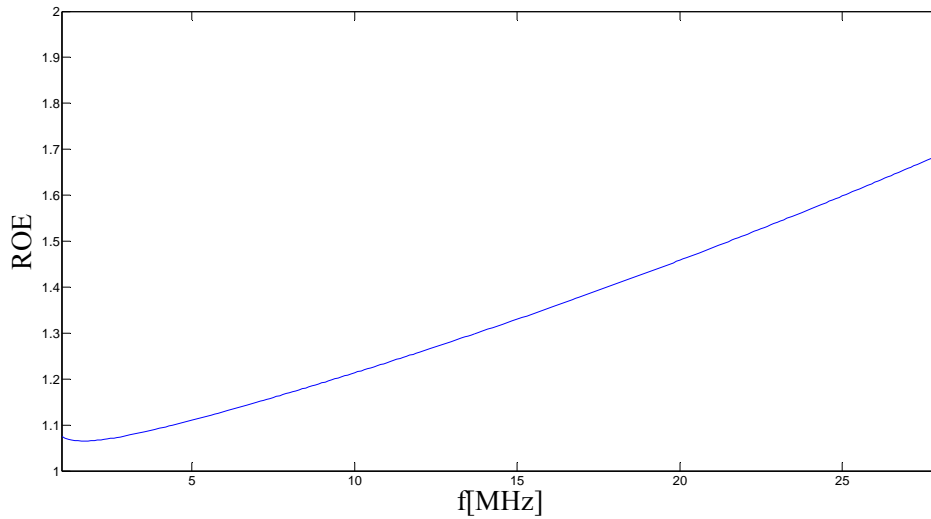


Figura 33

-En alta frecuencia disminuir  $L_s$

$L_s=0.015\mu\text{H}$

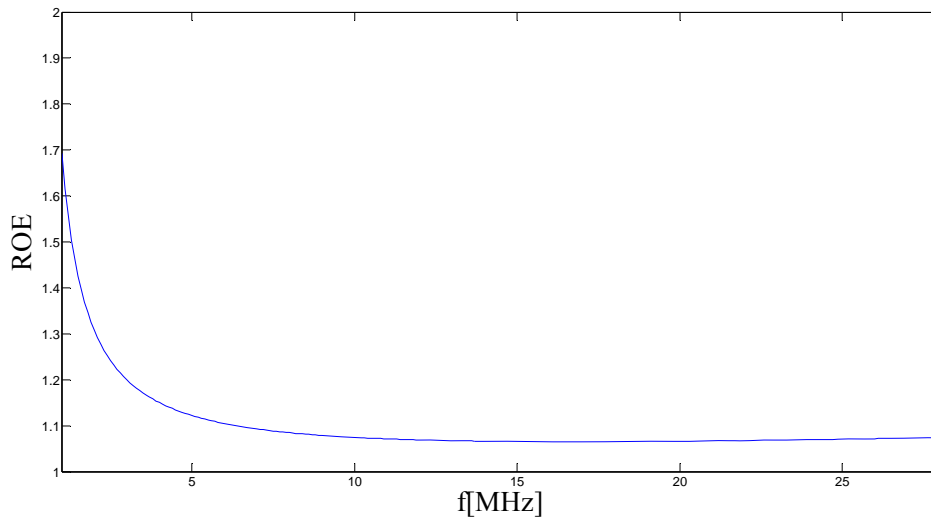


Figura 34

Para aumentar la inductancia de un bobinado se puede aumentar el número de espiras del mismo. Lamentablemente esto también aumenta la inductancia de dispersión del transformador. Fijada la geometría del transformador las dos inductancias aumentan con el cuadrado del número de espiras. Así que si aumentamos el número de espiras para mejorar el comportamiento del balun en baja frecuencia, también aumentará la inductancia de dispersión empeorando el comportamiento en alta frecuencia.

Un balun puede bobinarse sobre una forma hueca (sin núcleo o, como se dice habitualmente, con núcleo de aire) y esto es perfectamente posible, sobre todo si se trata de uno para funcionar en una sola banda o en dos bandas consecutivas por ejemplo en 3.5 y en 7 [MHz]. Si se quieren cubrir más bandas es necesario encontrar la manera de aumentar la inductancia de magnetización sin incrementar la inductancia de dispersión. Para ello puede emplearse un núcleo de ferrite que aumenta la inductancia de magnetización al introducirlo dentro de los bobinados, mientras que la inductancia de dispersión depende muy poco del núcleo y no aumentará notablemente. La introducción del núcleo mejora el comportamiento en baja frecuencia y cambia poco el comportamiento del balun en alta frecuencia. Si el funcionamiento del balun en baja frecuencia es mejor que lo necesario, podemos reducir el número de espiras de los bobinados, reduciendo la inductancia de dispersión y mejorando el funcionamiento en alta frecuencia. La idea es lograr un balance en el comportamiento en baja y alta frecuencia.

Es necesario recordar que todo núcleo ferromagnético tiene pérdidas y estas aumentan con la frecuencia, los núcleos con mayor permeabilidad (mayor aumento de inductancia) normalmente tienen mayores pérdidas. Acá también debemos hacer una juiciosa elección entre el aumento deseado de la inductancia de magnetización y las pérdidas.

Debemos decir que un balun que cubra varias bandas es generalmente innecesario. Ahora que tenemos una mejor idea de como funciona el balun podemos optimizarlo para la banda deseada lo cual hace que todo sea más simple. Un balun de banda ancha más bien parece una opción del fabricante para reducir el inventario.

Debemos aclarar que, si bien el modelo de la Figura 26 es bastante bueno para predecir el funcionamiento de un transformador en bajas frecuencia, no es del todo adecuado para altas frecuencias donde la longitud del alambre de los bobinados es comparable a la longitud de onda. Un modelo de transformador con líneas de transmisión nos llevaría mucho tiempo y esfuerzo y vamos a terminar acá. De todas maneras la idea de aumentar la inductancia de magnetización para mejorar el funcionamiento en baja frecuencia y de disminuir la inductancia de dispersión para mejorar el comportamiento en altas frecuencias sigue estando vigente. Es más, en un

transformador real, la presencia del capacitor C mejora el funcionamiento en baja frecuencia. El capacitor C en paralelo con la inductancia de magnetización  $L_m$  aumenta la impedancia paralelo. El modelo de líneas de transmisión indica que mejora el funcionamiento en alta frecuencia. Así que normalmente el funcionamiento del transformador real es mejor que el del modelo de la Figura 28. El Figura 35 se muestran los resultados teóricos del modelo de la Figura 28 y los medidos en un transformador real. En el modelo simplificado se introdujeron los valores medidos de inductancia de magnetización y de dispersión.

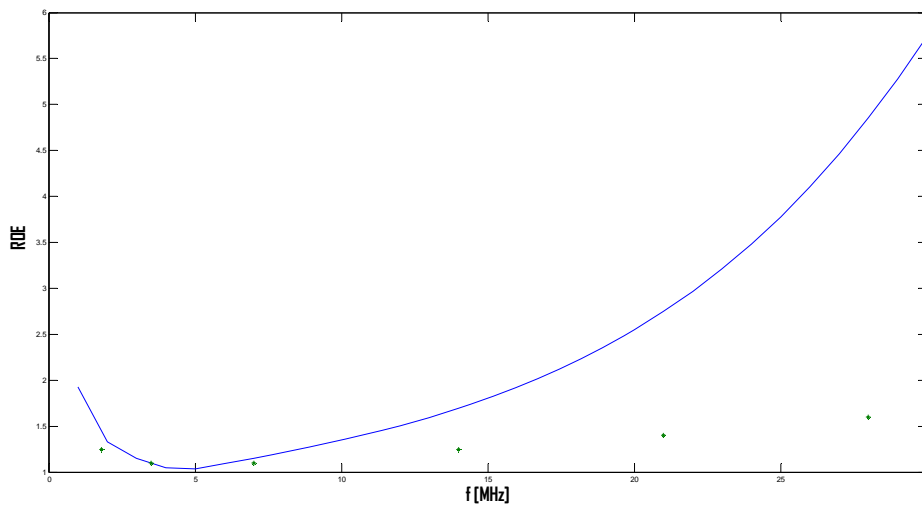


Figura 35

### Construcción práctica

En la radioafición hay un tipo de balun que domina todo el escenario, el balun 1:1 de tres bobinados, y trataremos de mostrar como funciona y como se construye. Este balun fue desarrollado por Clyde Ruthroff del la Compañía Bell en 1959 para su uso con señales débiles. Su compañero de trabajo, el radioaficionado Richard Turrin (W2IMU-SK), lo empleo para mayores potencias y publicó su trabajo en QST en Agosto de 1964.

Veamos como funciona: al transformador que mostramos inicialmente:

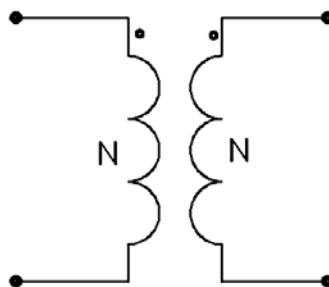


Figura 36

Lo modificaremos de la siguiente manera:

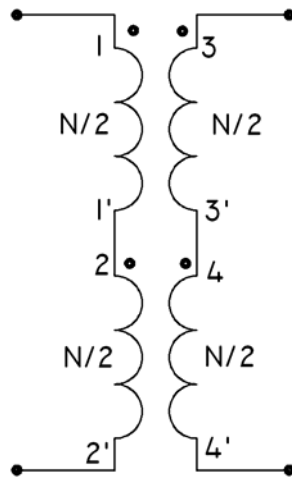


Figura 37

Nada ha cambiado, sólo hemos dividido primario y secundario en dos mitades idénticas. Los puntos (•) indican el comienzo (o el final) de cada uno de los cuatro bobinados. El comienzo de cada uno de estos se ha numerado y su final con el mismo número con tilde. Si ahora conectamos este transformado a una fuente y a una carga balanceada, tendremos:

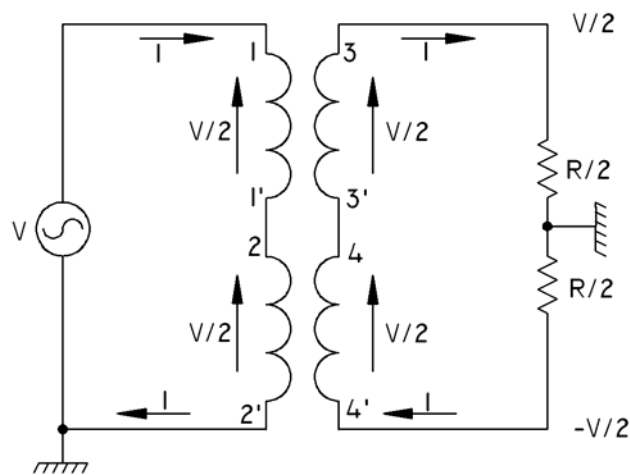


Figura 38

Que el bobinado 1-1' esté enfrentado al bobinado 3-3' no significa que el acoplamiento sea solamente entre estos dos bobinados, 1-1' también está acoplado a 4-4' etc. Teniendo esto en cuenta dibujemos el transformador de la siguiente manera:



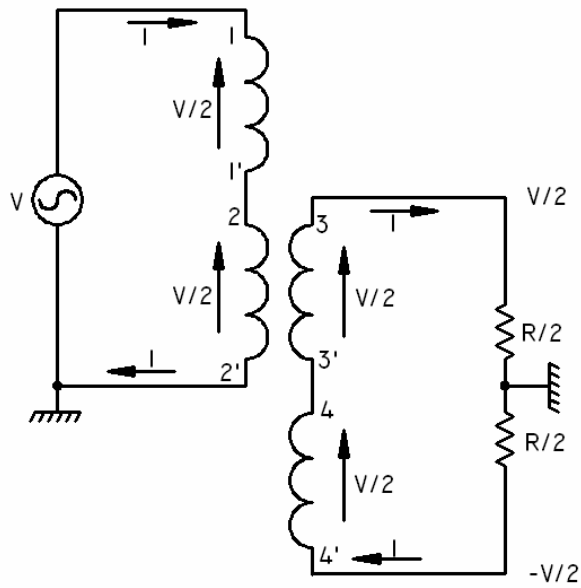


Figura 39

Podemos apreciar dos hechos:

- La unión 1'-2 está al potencial  $V/2$ , lo mismo que el terminal 3.
- El terminal 2' está al potencial de tierra, lo mismo que la unión 3'-4.

Los puntos que estén al mismo potencial se pueden unir sin que circule ninguna corriente adicional.

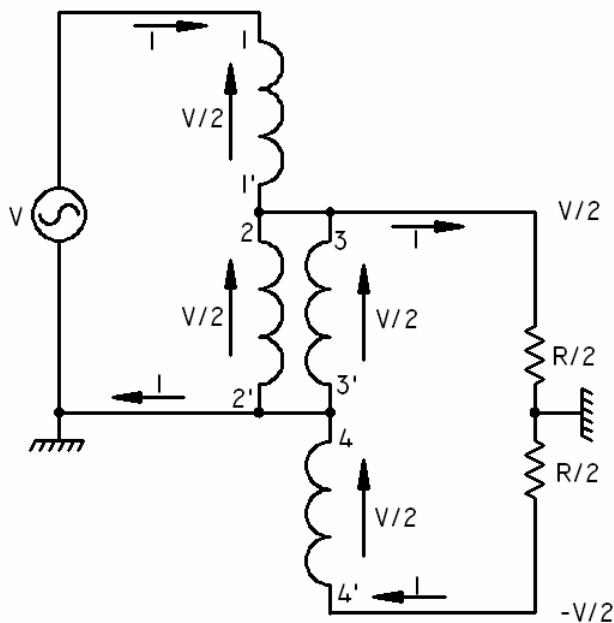


Figura 40

Ahora los bobinados 2-2' y 3-3' quedaron en paralelo y los podemos reemplazar por uno solo.

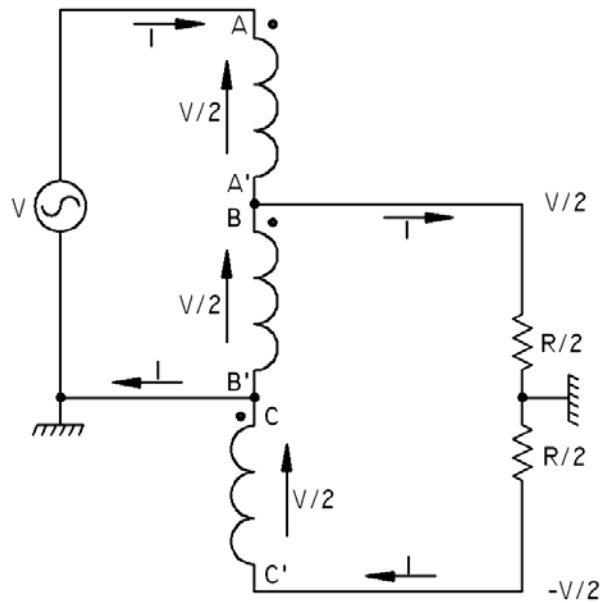


Figura 41

Esta disposición tiene varias ventajas, entre otras:

- Menor número total de espiras para una misma inductancia de magnetización. Esto reduce la inductancia de dispersión.
- Conecta el dipolo a tierra. Con el bobinado original la primera tormenta eléctrica causaría un cortocircuito.

El análisis anterior es solamente aproximado pero puede servir para tener una idea de como funciona el balun.

Veamos como realizar los bobinados, suponiendo que los haremos sobre un cilindro aislante o sobre una barra de ferrite:

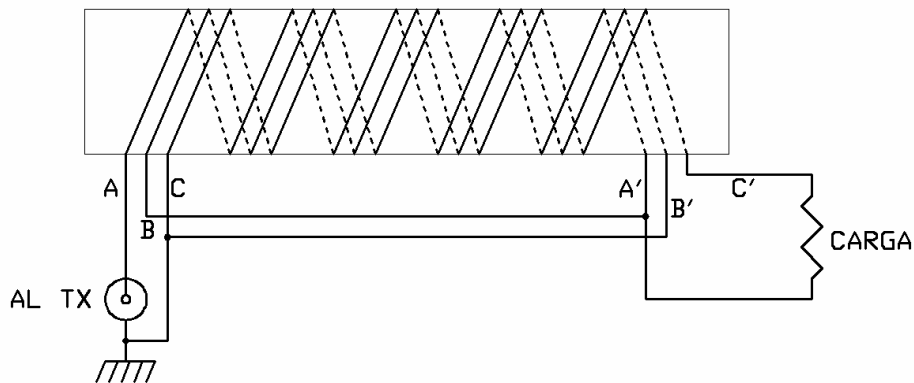


Figura 42

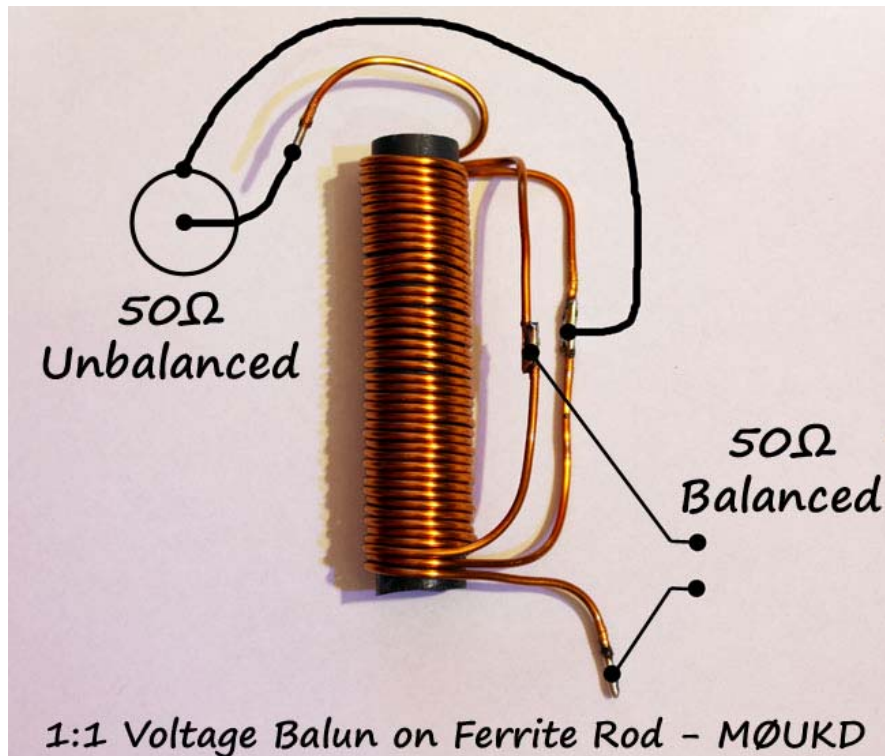


Figura 43

### Resumen

Hemos mostrado el principio de funcionamiento de los balunes y como funciona y se bobina uno de los balunes 1:1 más comunes entre los radioaficionados y en el ámbito comercial. Existen otros tipos de balunes, en particular es muy común el balun 4:1, pero si se entiende como funciona el balun 1:1 el resto es muy sencillo.

Esperamos que estos comentarios hayan sido de utilidad.

## **LISTA DE MATERIALES PARA CONSTRUIR UN BALUN DE HF**

Tubo de PVC de 40mm/33mm, largo=160mm

2 tapas tubo de PVC

Adhesivo PVC

Adhesivo cianoacrilato

3 pitones cerrados (1/8"-5/32"), tuercas y arandelas galvanizadas

1 conector hembra UHF

2 tornillos de bronce (1/8"-5/32"), tuercas y arandelas de bronce, terminales

Alambre de cobre esmaltado de 1mm

Cinta de papel o aisladora

Espuma de poliuretano

## **HERRAMIENTAS**

Sierra

Alicate

Pinzas

Soldador-estaño

Agujereadora-mechas

Destornillador