

77 Balunes de tensión o de corriente

Por Luis del Molino EA3OG (ea3og@ure.es)

¿Hay alguna diferencia?

Hace algún tiempo leí que W8JI (un experto bien conocido en balunes) aseguraba que los balunes de tensión eran peores simetrizadores que los de corriente, en cuanto a su capacidad de igualar la magnitud de las corrientes opuestas en el cable coaxial: la el conductor central y la de la malla. W8JI afirmaba que esta conclusión se derivaba de sus mediciones de las corrientes de RF por el exterior de los cables coaxiales con balunes de tensión y corriente. Desgraciadamente no comentaba allí las posibles razones que explicaran esta diferencia de comportamiento, así que no he tenido más remedio que estrujarme lo sesos a fondo.

Dos tipos de balunes

Los balunes de corriente son los que se basan en actuar como un choque para bloquear cualquier RF que pretenda circular por el exterior del coaxial, mientras que los balunes de tensión son todos aquellos que se basan en el efecto transformador o autotransformador y cuyo objetivo principal es adaptar impedancias de antenas alimentadas con impedancias distintas de 50 ohmios (excepto el 1:1), mientras que el simetrizado de corrientes es un objetivo secundario.

Ambos tipos de balunes, aunque basados en métodos distintos, puesto que se acogen a la denominación de “balun”, deberían perseguir también este objetivo de eliminar las corrientes independientes de malla que pretendan circular por el exterior del coaxial (corrientes en modo común), corrientes parásitas que, en transmisión, le harían radiar como la propia antena y, en recepción, le permitirían captar también energía de la onda electromagnética, igual que la antena propiamente dicha, cuando no debería hacerlo.

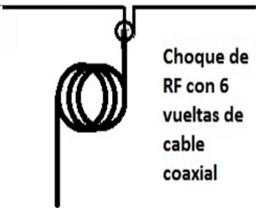
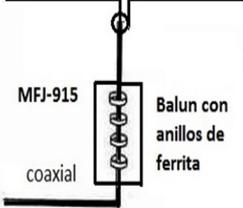
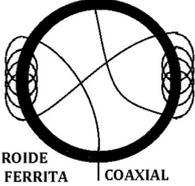
Los balunes de corriente

Como decía anteriormente, los balunes de corriente (figura 1) son los auténticos balunes porque son los que tienen como único objetivo igualar la corrientes internas opuestas que circulan tanto el conductor central como por la malla del coaxial, basándose en el efecto de bloquear al máximo posible el paso de cualquier corriente independiente que pretendiera circular por el exterior de la malla del coaxial y radiar como la antena.

Si las dos corrientes son iguales y opuestas, el cable coaxial no radia como la antena, porque los dos campos magnéticos de las dos corrientes se anulan en el espacio exterior al cable y aunque aparezca un campo eléctrico en el exterior del coaxial por diferencias de potencial entre dos puntos diferentes, no es suficiente por sí solo para

generar la onda electromagnética. La antena radia porque los campos eléctricos y magnéticos se combinan entre sí y forman la onda que se desprende de la antena. Por su parte y por su naturaleza de desprender la energía de alta frecuencia al espacio, se comporta siempre como una resistencia (la resistencia de radiación).

Por consiguiente, las corrientes proporcionadas por los dos lados de cualquier antena dipolar a la bajada, aunque sean iguales o de distinta longitud, deben ser también iguales y opuestas, tanto si la antena está resonando correctamente o la hayamos forzado a resonar con un acoplador. Eso debe cumplirse tanto si presenta o no alguna reactancia capacitiva o inductiva por ser demasiado corta o demasiado larga.

 <p>Choque de RF con 6 vueltas de cable coaxial</p>	 <p>MFJ-915 Balun con anillos de ferrita coaxial</p>	 <p>TOROIDE DE FERRITA COAXIAL</p>
<p>Figura 1a: Vueltas de coaxial</p>	<p>Figura 1b: Anillos de ferrita</p>	<p>Figura 1c: Choque toroidal</p>

Este objetivo de igualar las dos corrientes opuestas se consigue de una forma muy simple, mediante la colocación de un choque inductivo en el exterior del cable que afectará solamente a las corrientes del exterior del cable coaxial, mientras que por el interior seguirá circulando la RF como por un tubo, sin enterarse de que hay una inductancia colocada en el exterior.

¿Por qué no se afecta el interior?

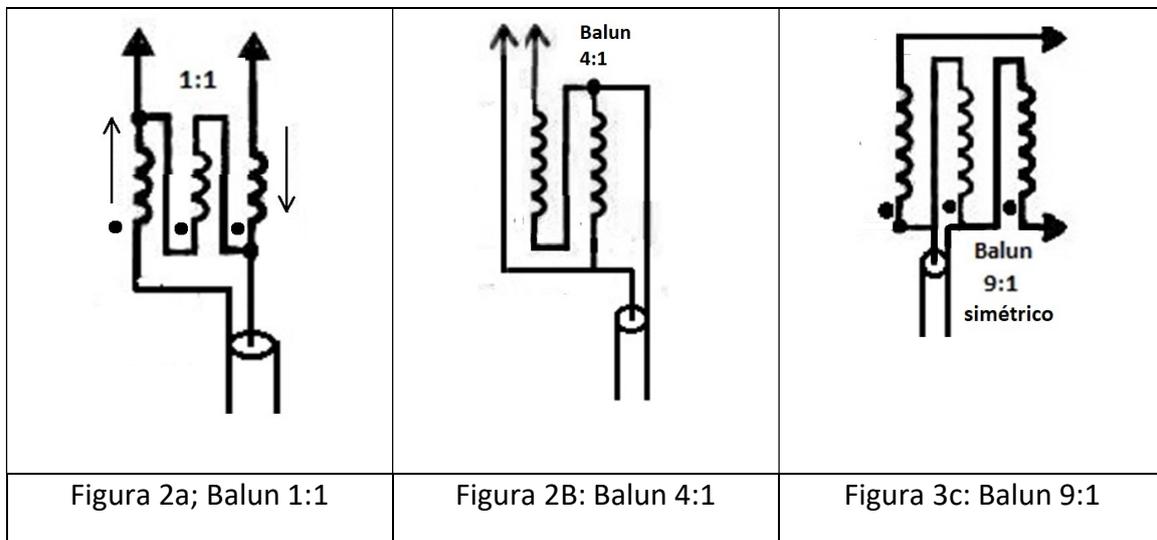
Un colega me preguntaba hace muy poco cómo se explicaba que el enrollado del coaxial (o la colocación de ferritas en su exterior) no afectara también a las corrientes del cable central y del interior de la malla, puesto que todo enrollamiento representa una inductancia que dificultaría también la circulación de la RF por el conductor interior, y no entendía por qué este arrollamiento o inductancia sólo impide la circulación de corrientes adicionales de RF por el exterior del coaxial.

Eso es muy fácil de explicar porque, si las corrientes del conductor central y de la malla son iguales y opuestas, los campos magnéticos generados por ambos conductores en el exterior del cable coaxial son también iguales y opuestos, y se cancelan entre sí en el exterior y no acumulan energía magnética ni generan reactancia inductiva en unas ferritas colocadas en el exterior. Y ya sabemos que para generar una onda electromagnética se necesita un campo eléctrico y uno magnético combinados.

En el cable coaxial, el campo eléctrico queda confinado entre el vivo y la malla, mientras que el campo magnético se anula en el exterior. Por tanto, sin esos dos campos en su exterior, el cable coaxial no puede generar una onda electromagnética ni radiar energía. Pero eso será así siempre que se cumpla que las corrientes en el cable central y la malla sean iguales y opuestas, y no haya corrientes adicionales independientes circulando por el exterior del coaxial. Y la circulación de esas corrientes exteriores adicionales externas, se ve impedida por la reactancia o impedancia reactiva del choque o las ferritas colocados en su exterior del cable, que debe ser suficientemente elevada (por lo menos superior a 2000 ohmios, según W4JI) en cualquier frecuencia del posible margen útil de funcionamiento del balun.

Los balunes de tensión

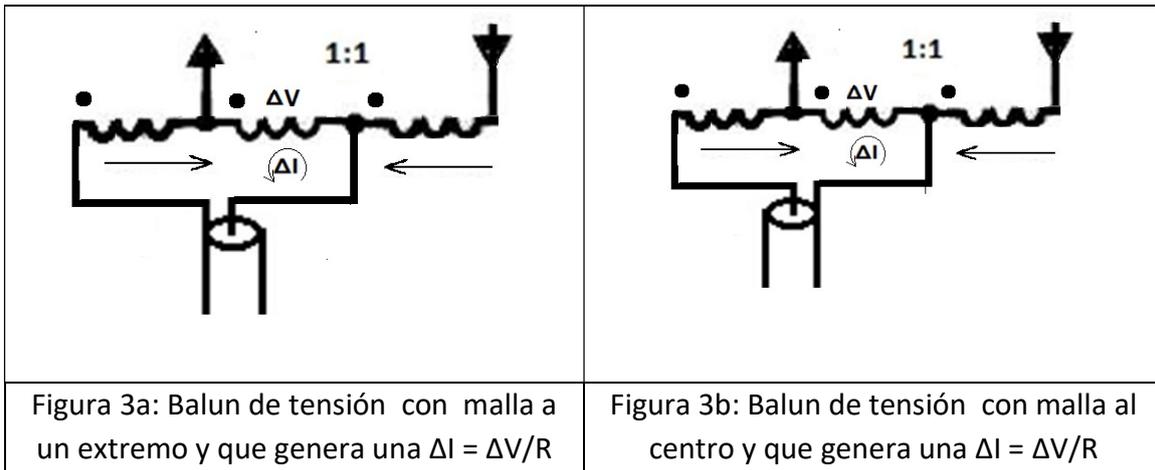
Los balunes de tensión (figura 2) tienen como objetivo principal adaptar antenas con impedancias diferentes a los 50 ohmios, mediante la utilización del principio del transformador o autotransformador, que consiste en cambiar la tensión del secundario respecto a la del primario mediante una relación de espiras diferente y, en consecuencia, adaptan impedancias de acuerdo con el cuadrado de la relación de espiras y de tensiones. Pero si los llamamos balun (de BALance-UNbalances), eso debería ser porque se supone que también realizan algún intento simetrizador de las dos corrientes del conductor central y de la malla, además de adaptar impedancias.



En estos balunes de tensión, esa simetrización de tensiones (y en consecuencia de las corrientes) sería un objetivo secundario, por lo que debemos comprobar si el fabricante del balun ha intentado cumplir también este objetivo o no, porque a nosotros nos interesa mucho que el cable coaxial no radie por su cuenta.

Analizamos el balun de tensión 1:1

En la figuras 3 mostramos otros aspectos del balun 1:1 para mostrar mejor el funcionamiento de un típico balun de tensión W2AU 1:1, el único balun de tensión que no transforma la impedancia, sino que la mantiene igual. Su funcionamiento se basa en que un tercer devanado intermedio detectará cualquier diferencia de corrientes en las dos ramas de la antena. Si la hubiera, su misión consistiría en generar una corriente correctora en el conductor central, igual a la diferencia de corrientes en las dos ramas, de forma que se restablezca el equilibrio y vuelvan a ser iguales y opuestas.



Problemas en la corriente correctora

En las figuras 3a y 3b se muestran las dos corrientes opuestas procedentes de cada rama de la antena, que si no fueran iguales, en el devanado central no se cancelarían sus flujos magnéticos respectivos. Y ésta diferencia de flujos magnéticos generaría una tensión diferencial inducida ΔV en el devanado autotransformador central que será proporcional a esa diferencia de flujos magnéticos. Esta tensión ΔV , será la encargada de generar la corriente compensadora ΔI exactamente igual a la diferencia de corrientes en las dos ramas para enviarla al conductor central, compensando así la diferencia e igualando las corrientes entre el conductor central y la malla del coaxial.

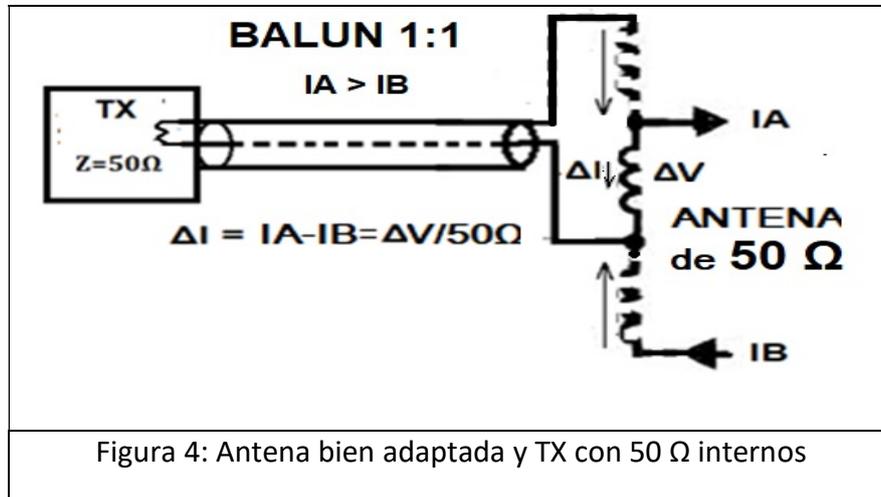
Pero no está demasiado claro que esa “tensión” correctora generada por el devanado central genere una “corriente” compensadora exactamente igual a la diferencia de corrientes en ambas ramas y tenemos que comprobarlo.

La Ley de Ohm

Como debe cumplirse también aquí la Ley de Ohm, el devanado corrector intermedio generador de la tensión correctora, debe encontrar ante él una carga resistiva R y precisamente de 50 ohmios, para que la corriente generada por la tensión correctora sea exactamente igual a la diferencia de corrientes entre las dos ramas, enviando una igual y opuesta por el conductor central.

¿Qué impedancia le presenta el coaxial?

El coaxial tiene una impedancia de 50 ohmios, pero para que el balun se encuentre con una impedancia de 50 ohmios, debe haber en el otro extremo del coaxial (el del transmisor) una carga de 50 ohmios también. La impedancia que aparece ante el devanado corrector intermedio será la impedancia reflejada por el coaxial procedente del transmisor y no la reflejada por la antena (figura 4).

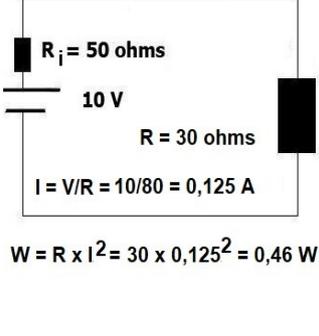
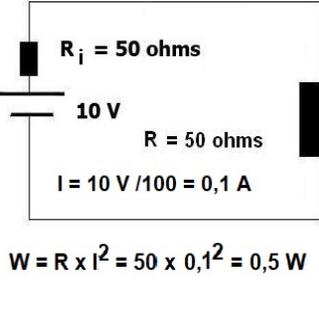
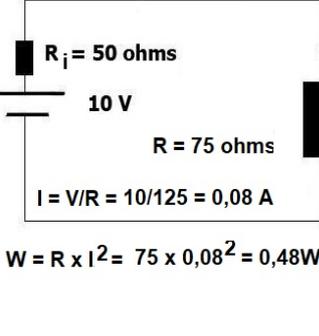


Esa impedancia reflejada dependerá de la impedancia interna de salida del TX (como fuente), que al reflejarse por el coaxial, si no fuera exactamente de 50 ohmios, se vería alterada a lo largo de la longitud del cable coaxial. ¿Pero quién nos garantiza que esa impedancia interna del transmisor sea exactamente de 50 ohmios?

Principio de la máxima transferencia de energía

Para que se consiga la máxima transferencia de energía, en cualquier circuito eléctrico debe cumplirse que la impedancia interna del generador (el transmisor) sea exactamente igual a la impedancia interna de la carga (la antena).

Podemos comprobar este principio muy fácilmente haciendo los cálculos en un circuito de corriente continua formado por una pila con una resistencia interna de 50 y una resistencia de carga igual a 50 Ω, comprobando que la máxima potencia entregada por la pila se consigue cuando la resistencia de carga es igual a la resistencia interna de la pila (figura 5). Aquí se comprueba que cuando la resistencia de carga $R = 50 \Omega$ es igual a la R_i de la fuente, la potencia entregada es superior a la que recibiría una R de 30 Ω o una de 75 Ω.

 <p> $R_i = 50 \text{ ohms}$ 10 V $R = 30 \text{ ohms}$ $I = V/R = 10/80 = 0,125 \text{ A}$ $W = R \times I^2 = 30 \times 0,125^2 = 0,46 \text{ W}$ </p>	 <p> $R_i = 50 \text{ ohms}$ 10 V $R = 50 \text{ ohms}$ $I = 10 \text{ V} / 100 = 0,1 \text{ A}$ $W = R \times I^2 = 50 \times 0,1^2 = 0,5 \text{ W}$ </p>	 <p> $R_i = 50 \text{ ohms}$ 10 V $R = 75 \text{ ohms}$ $I = V/R = 10/125 = 0,08 \text{ A}$ $W = R \times I^2 = 75 \times 0,08^2 = 0,48 \text{ W}$ </p>
Figura 5a: W en R = 30 Ω	Figura 5b: W en R = 50 Ω	Figura 5c: W en R = 75 Ω

Se supone, pues, que el primer interesado en optimizar la potencia de salida es el propio fabricante del transceptor, por lo que es muy probable que se haya esforzado en que esa impedancia interna del paso final transistorizado del amplificador final se acerque en todo lo posible a los 50 ohmios. Pero puede ser que eso no sea del todo cierto en algunos casos. Analicemos las diversas posibilidades:

1. Z interna del TX = 50 Ω y también en la antena (ROE ≈ 1:1)
2. Z interna del TX ≠ 50 Ω, sino de otro valor distinto de 50 Ω o con reactancia adicional (50 Ω + jX).
3. Z interna del TX = 50 Ω, pero corregimos la ROE procedente de la antena mediante un acoplador intercalado y bien ajustado.

1. La Z interna del TX = 50 Ω y también en la antena (ROE ≈ 1:1)

Situación perfecta porque evidentemente el devanado compensador del balun enviará una corriente proporcional a la tensión aplicada (cumpliendo Ley de Ohm), que ha sido generada por la diferencia de corrientes en las dos ramas y el resultado será que aplicará una corriente de corrección correcta igual y opuesta a la que pretende circular en modo común. Estamos en un mundo perfecto, no demasiado frecuente como veremos a continuación. Esta situación ya la hemos visto en la figura 4.

2. La Z interna del TX ≠ 50 Ω, sino de otro valor o con reactancia adicional

Si la resistencia interna del TX no es igual a 50 Ω, como por ejemplo 100 Ω (figura 6), o aparece una reactancia inductiva o capacitiva por desviarnos de la frecuencia de resonancia de la antena, entonces el devanado generador de la tensión correctora no encontrará una impedancia correcta de 50 Ω reflejada en el otro extremo del cable coaxial (el del balun). Esta impedancia reflejada dependerá de la longitud del coaxial y describirá un círculo de ROE = 2 en el diagrama de Smith.

Por tanto, la tensión correctora no conseguirá que la corriente correctora sea de un valor exactamente igual y opuesto a la que tendría que compensar. Tendremos un problema. El balun lo intenta, se aproxima, pero no actúa bien como simetrizador.

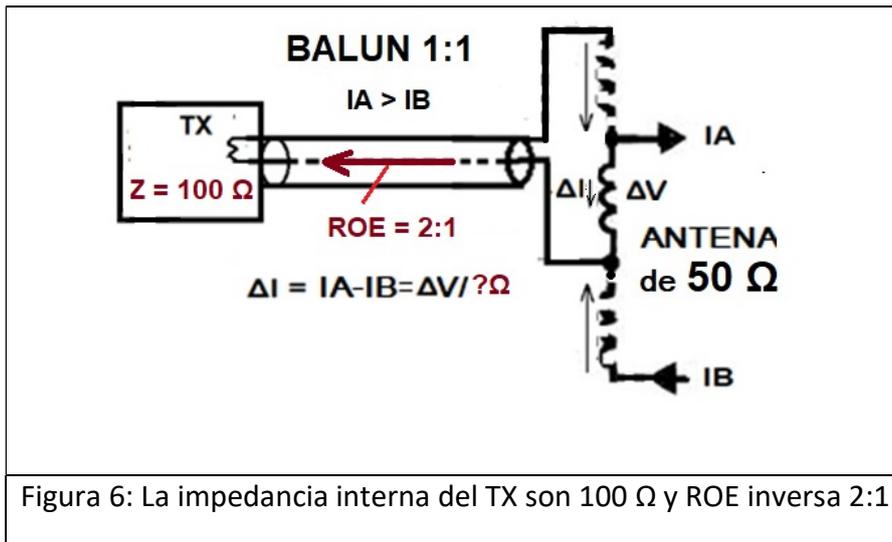


Figura 6: La impedancia interna del TX son 100Ω y ROE inversa 2:1

3. La Z interna del TX vale 50 ohmios, pero usamos un acoplador

Ahora examinemos el caso del transmisor en el que mediante el acoplador se ha adaptado perfectamente una ROE algo elevada y algo mayor de 2:1, ya sea debida a la presencia de reactancia (por ejemplo capacitiva) en la antena del tipo $Z = 50 - jX_c$, que la hemos compensado mediante un acoplador correctamente sintonizado, que ha dejado para el transmisor una impedancia reflejada perfecta de 50 ohmios al introducir una impedancia conjugada correctora $Z = 50 + jX$. Pero eso representa que en sentido inverso la adaptación no es perfecta (figura 7).

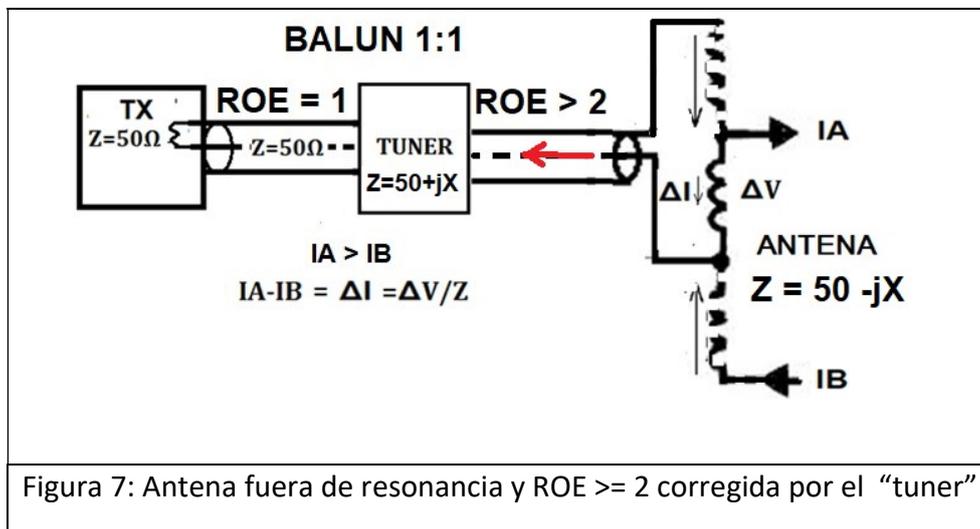


Figura 7: Antena fuera de resonancia y $ROE \geq 2$ corregida por el "tuner"

El acoplador trasladará al extremo de la antena una impedancia que no tendrá nada que ver con los 50 ohmios de la impedancia característica del cable coaxial. En consecuencia, la Ley de ohm nos dice que la corriente correctora generada por la tensión correctora no será exactamente igual y opuesta a la independiente que intenta circular por el exterior del coaxial. Esto no funciona bien. Tenemos un problema. Este

balun no simetrizará las corrientes como nos interesa y el coaxial podrá radiar RF en esa frecuencia y dar problemas de RF en la estación.

Mis conclusiones

1. Si la impedancia interna del transceptor es de 50 Ω igual que la impedancia característica del coaxial y la antena es resonante y con un buen ancho de banda (en cuanto a la ROE), la corriente generada en el conductor central por el balun de tensión en todos los casos será correcta, o sea que sería igual y opuesta a la que pretende circular por el exterior del coaxial, aunque la frecuencia de trabajo se desvíe ligeramente de la resonancia exacta de la antena. Estamos en un mundo ideal y el balun de tensión se comportará también de forma ideal.

2. Si nos vemos obligados a utilizar un acoplador para compensar una ROE demasiado elevada y adaptar la antena en los extremos de banda porque es una antena estrecha en cuanto a ROE. o para llevarla a resonancia porque no es resonante, el tercer devanado corrector del balun de tensión nunca verá reflejada una impedancia exacta de 50 ohmios y la corriente correctora generada nunca será igual y de sentido opuesto a la que intenta compensar y que circula por el exterior del coaxial. Así que el balun de tensión de simetrizador de corrientes, nada de nada. No merece el nombre de balun.

Por tanto, si nos vemos obligados a utilizar el acoplador, será mejor que pongamos también algún balun de corriente (choque) cerca del punto de alimentación de la antena, puesto que necesitaríamos que las corrientes sean más simétricas para eliminar las corrientes exteriores del coaxial en modo común y el balun de tensión no lo consigue suficientemente bien. Si tenemos que usar el acoplador y colocamos un balun de tensión adaptador de impedancias en antenas de impedancias distintas a 50 ohmios, será mejor añadir también un balun de corriente además del balun de tensión adaptador.

3. Si esa impedancia interna del transmisor no fueran los 50 ohmios previstos (algo que no es nada fácil de comprobar), el resultado será que el balun de tensión dará siempre resultados peores que los de un buen choque (el balun de corriente) colocado en el exterior del coaxial con cualquier tipo de antenas.

4. Para mí, esto explica que W8JI haya encontrado peores resultados en la medición de corrientes exteriores al coaxial en los balunes de tensión que en los de corriente, en cuanto a su comportamiento como simetrizadores, aunque ese problema se deba en algún caso a la impedancia interna del transmisor y en otros a la impedancia reflejada por el acoplador, y no se deban directamente a la impedancia bien adaptada de la antena.

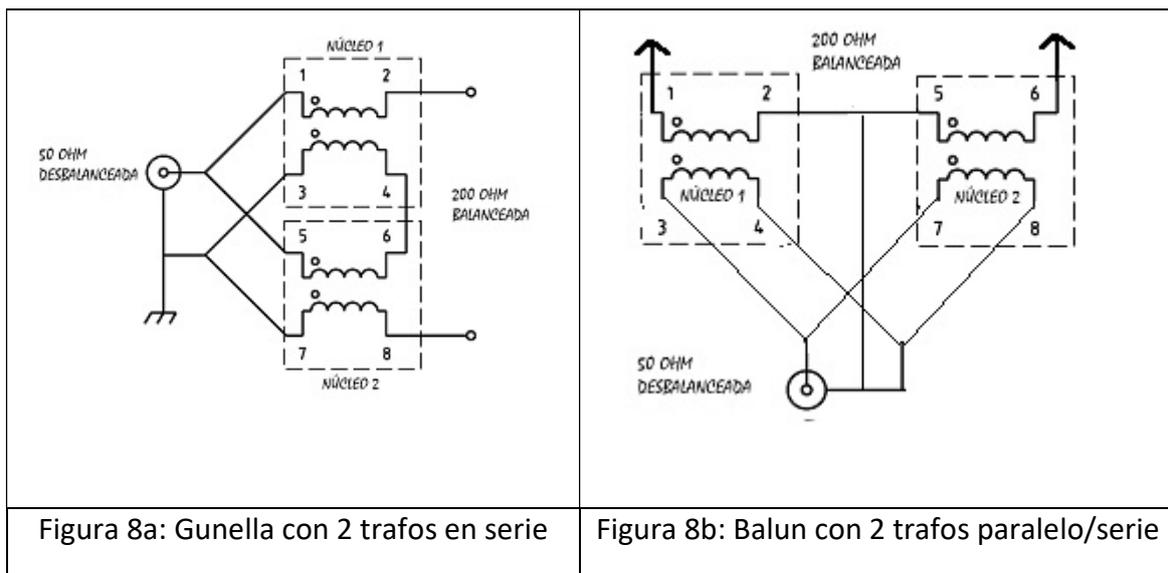
5. Realmente para que funcionen como simetrizadores los balunes de tensión necesitamos demasiada perfección y, por tanto, a mi juicio, la conclusión sería que, de

un modo más general, es mucho más aconsejable emplear siempre los balunes de corriente (choques) para eliminar las corrientes exteriores del coaxial. Si necesitamos utilizar un balun de tensión como adaptador de impedancias en una antena abierta (por ejemplo una Windom, o una EdnFed o pseudoEndFed), será conveniente que también intercalemos un balun de corriente en la instalación.

6. La buena noticia es que, si utilizamos un balun de tensión como adaptador de impedancias para alimentar una antena de bucle cerrado (dipolo plegado, Moxon, Delta, Cúbica Sky Loop, etcétera), como en un circuito cerrado las corrientes en los dos conductores de alimentación son obligatoriamente iguales y opuestas, no parece que sea necesario colocar ningún balun de corriente adicional para simetrizar las corrientes en el cable coaxial, así que el balun de tensión se basta y sobra para adaptar las impedancias y no hace falta nada más.

¿Por qué los balunes de tensión no tienen devanados separados?

Me sigue sorprendiendo, pues para mí es un misterio que, para los balunes adaptadores de impedancias más elevadas (2:1, 4:1, 6:1 y 9:1), no se utilice más a menudo el efecto transformador, con devanados totalmente separados. Incluso el Gunella 4:1 que utiliza dos transformadores separados para adaptar impedancias se hace mediante una complicada conexión (figura 8a) de transformadores en serie, cuando sería mucho más simple conseguir el mismo efecto multiplicador de tensiones e impedancias con una simple combinación paralelo/serie con los mismos dos transformadores separados (figura 8b), es decir, con los primarios en paralelo y los secundarios en serie, pero quizá algún amable lector pueda sacarme de mi ignorancia y darme alguna razón que no consigo descubrir.



Yo diría que todos estos problemas de falso simetrizador de corrientes de los balunes de tensión no sucederían si se utilizara siempre transformadores con primario y secundario separados, lo que nos garantizaría que las corrientes del conductor central de coaxial y de la malla fueran exactamente iguales y opuestas (un imperativo en todo circuito cerrado) y no se verían afectados por corrientes exteriores que intentaran circular en modo común por el exterior del coaxial.

73 Luis EA3OG