

## **Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas por lu3agi**

Es muy común encontrar personas que omiten leer un libro desde su comienzo y se contentan con leer el desenlace en las últimas páginas.

En el tema antenas y fundamentalmente en HF es muy común encontrar esa práctica, todo esto llevado por la falta de espacio físico para extender un alambre y evitar dolorosas frustraciones tras una jornada de trabajo intensa.

Todo se vería más fácil o por lo menos no tan complicado si partimos de los inicios de las primeras experiencias de la radio, son dos las antenas en sus orígenes que por la costumbre de leer las páginas finales del libro han dado lugar a esta torre de babel de sinnúmero de irradiantes de ondas electromagnéticas.

Las antena Hertz y la Marconi, es el punto de origen de cuantas antenas invaden las páginas de los libros, revistas e internet, cada una de ellas hoy con sus múltiples versiones que se fueron agregando en el tiempo y que no se diferencian de sus principios más básicos pero a veces los confunden.

La identidad de estas dos antenas es que la Hertz se independiza de la conexión a tierra o contraantena mientras que la Marconi es dependiente de ellas.

Es notable y curioso cuando se leen por primera vez las experiencias y conclusiones en los orígenes de la radio cuando se decía, incluso sostenido por Maxwell, que para concretar una comunicación radial a través del Atlántico la antena receptora tendría que tener una altura prácticamente infinita por la propagación rectilínea de las ondas electromagnéticas y la redondez de la tierra. También Marconi utilizaba sus equipos directamente conectados a la antena por carecer de la idea de la línea de transmisión hasta que Lodge aportó el circuito de acoplamiento.

Tanto la antena Hertz o Marconi puede ser resonante o no resonante. Una antena será resonante mientras su longitud sea media longitud de onda o múltiplo entero.

Cuando la antena Hertz o Marconi tiene más de dos media longitud de onda se la llama "antena de conductor o hilo largo" o "Long wire" o también conocida como antena armónica.

Por ejemplo una antena Hertz armónica o long wire o de hilo largo para 14,150 MHz de una longitud total de tres medias ondas tendrá 31,8 metros.

## Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas por lu3agi

Un ejemplo más clásico es cuando utilizamos la antena Hertz (en adelante el dipolo) de 40 m en la banda de 15 metros, el dipolo de media onda de 7,1 Mhz en 21,3 MHz se comportará como una antena de hilo largo o armónica de tres media longitudes de onda.

Es evidente que una misma antena puede ser usada para frecuencias armónicamente relacionadas, tales como las diversas bandas de aficionados. La antena de hilo largo o long wire o armónica constituye la base para el trabajo en varias bandas con una sola antena.

Observando la distribución de corriente y tensión en una antena armónica nos permite dilucidar considerando su alimentación en el centro, que a su frecuencia fundamental (longitud física igual a media longitud de onda) en el punto de alimentación presenta un máximo de corriente y un mínimo de tensión (un punto de baja impedancia) repitiéndose para todas las armónicas de orden impar, mientras que para las armónicas de orden par en el punto de alimentación se presenta un máximo de tensión y un mínimo de corriente siendo ese punto de alimentación de alta impedancia.

La longitud de una antena long wire no es un múltiplo exacto de una antena de media onda a la frecuencia fundamental debido a que los efectos de los extremos se hacen presentes solamente en las secciones terminales de la antena, estos efectos se encuentran ausentes en las demás partes del conductor y la longitud del mismo es aproximadamente una porción equivalente de la onda en el espacio.

Longitud de la antena (metros) =  $[150 (n - 0,05)] / \text{frecuencia (MHz)}$

donde n es la cantidad de armónicas.

Si aplicamos la expresión a los ejemplos dados:

La longitud de la antena para 14,150 MHz => n = 3

$$[150 (3 - 0,05)] / 14,15 \text{ MHz}$$

$$150 \times 2,95 / 14,15 = 31,27 \text{ m}$$

En el caso cuando utilizamos el dipolo de media onda para 40 metros en 15 metros notamos que la r.o.e. medida es lo suficientemente alta como para utilizar el acoplador, veamos.

Supongamos que el dipolo de 1/2 onda para la frecuencia de 7,1 MHz tiene una longitud física de

$$142,5 / 7,1 \text{ MHz} = 20,07 \text{ metros}$$

La longitud física del dipolo de 40 m a que frecuencia de 15 metros se comportaría como una antena armónica?

## **Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas** por lu3agi

150 X 2,95 / 20,07m = 22,047 MHz

Esto permite comprender porque se suele usar el acoplador para aliviar el funcionamiento de los transistores de salida del amplificador de banda ancha.

Es evidente que una antena cortada en base a media onda para una frecuencia determinada se hallará ligeramente fuera de resonancia a las armónicas de esa frecuencia, debido a la disminución en la influencia de los efectos de punta toda vez que la antena tenga un largo mayor de una longitud de media onda. Tales efectos no son muy importantes, excepto en lo que se refiere al pequeño desequilibrio en el sistema de la línea de transmisión y en la consiguiente irradiación de la línea, ese efecto se conoce como pérdida por irradiación.

Si la antena se alimenta exactamente en el centro, no se producirá desequilibrio alguno en ninguna frecuencia, pero los sistemas alimentados en un extremo ofrecerán un desequilibrio en la totalidad de las bandas, excepto para aquella frecuencia a que haya sido cortada la antena.

La resistencia de irradiación que se mide en un vientre de corriente se eleva a medida que se aumenta la longitud de la antena. Por otra parte, una antena armónica irradia más potencia en su dirección más favorable que una antena de media onda en su dirección óptima. Esta ganancia de potencia se obtiene a expensas de la irradiación en las demás direcciones (una antena es un elemento pasivo que no amplifica como un dispositivo activo).

A medida que se alarga el conductor en cuanto se refiere a la cantidad de medias ondas que puede contener, varían también los efectos directivos. En lugar del diagrama en forma de ocho que es característico del dipolo de media onda se produce una división de las características direccionales que forman lóbulos que se pueden encontrar a diversos ángulos con respecto al conductor. En general a medida que se aumenta la longitud del conductor, la dirección de irradiación máxima tiende a acercarse a la línea o eje del conductor mismo.

Pueden considerarse antenas más largas con características direccionales desde un extremo con ángulos de irradiación más bajos.

Ningún punto en una antena de hilo largo ofrece una impedancia razonable para una adaptación directa de cualquiera de los tipos comunes de línea de transmisión. La práctica más adoptada consiste en alimentar la antena en un extremo o en un vientre de corriente con una línea abierta de bajas pérdidas y aceptar la relación de ondas estacionarias

## **Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas por lu3agi**

resultante de 4:1 ó 5:1 y eso significa irradiación de la línea de transmisión responsable de I.T.V. en zonas urbanas densamente pobladas y en épocas de TV abierta.

Para usar una misma antena en varias bandas armónicas de su fundamental es preciso usar líneas de alimentación resonantes, puesto que la adaptación de impedancia con líneas aperiódicas puede lograrse solamente a una frecuencia.

Una antena de media onda, alimentada en el centro con línea de dieléctrico sólido de altas pérdidas, es prácticamente inútil para el funcionamiento en armónicas. Con todas las armónicas pares existe un máximo de tensión que se cumple justamente en el punto de alimentación y el desequilibrio de impedancias resultante es tan severo que se opera una elevada relación de ondas estacionarias con las consiguientes y elevadas pérdidas en el dieléctrico sólido. Desde ya que no es aconsejable tratar de utilizar una antena de media onda alimentada en el centro con cable coaxil para el funcionamiento en armónicas.

Podrán utilizarse líneas de alta impedancia con dieléctrico sólido de bajas pérdidas, tales como las de tipo bifilares de 300 Ohm, siempre que la potencia no sobrepase unos pocos cientos de Watt.

La antena multibanda más simple y práctica es aquella de media onda a la frecuencia más baja y alimentada bien sea en el centro o en un extremo, con línea abierta.

Aunque la relación de ondas estacionarias en la línea de transmisión no se aproxime a 1:1 en ninguna banda, si las pérdidas en la línea son bajas, resultará eficiente.

Desde el punto de vista de una irradiación pequeña por parte de la línea, un sistema con alimentación central es superior a otro que lo haga en el extremo, pero esta última disposición es a menudo más conveniente no debiendo dejarse de lado como una de las posibles alternativas.

La principal diferencia en la alimentación de la antena en el centro o en el extremo radica principalmente en el diagrama de irradiación salvo en las frecuencias en que la longitud total de la antena sea media onda o menor.

La antena alimentada en un extremo actúa como un irradiante de hilo largo en todas las bandas para las cuales sea mayor de media onda mientras que alimentada en el centro se comportará como dos antenas de la mitad de esa longitud alimentadas en fase.

El funcionamiento multibanda de una antena no permite el equilibrio de la línea de transmisión, es de principal atención su longitud para lograr un acoplamiento en el

## **Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas por lu3agi**

transmisor. En general la longitud de la línea de transmisión deberá ser un múltiplo de cuarto de onda a la frecuencia más baja de trabajo.

Si el espacio disponible para la antena no es suficiente para extender la media longitud de onda a la frecuencia más baja a utilizar se podrá lograr un funcionamiento aceptable mediante el uso de una longitud más corta incluyendo en la línea la longitud que resta. La antena puede ser tan corta como un cuarto de onda e irradiar satisfactoriamente sin pretender alcanzar el rendimiento de una antena de media onda.

Cuando se emplea alimentación en el centro se puede utilizar cualquier longitud para la antena siempre que se complete con la línea de transmisión la longitud restante.

Una manera también efectiva de "acortar" la extensión de la longitud de una antena es plegar sus extremos. La intensidad del campo a una cierta distancia de la antena es proporcional a la corriente que circula por la antena, la parte de una antena de media onda que conduce la corriente más elevada que da lugar a la mayor parte de irradiación se encuentra a  $1/8$  de onda a cada lado del punto de alimentación en el centro (al primer  $1/4$  de onda en el caso de alimentación en un extremo) aunque tiene limitaciones para su funcionamiento como multibanda.

La antena Hertz Zeppelin es una antena de media onda alimentada con línea abierta en su extremo, de ella se desprende una muy conocida antena muy utilizada en VHF conocida como J o Slim Jim en el caso del irradiante plegado.

En HF puede conformar disposiciones simples de antenas colineales conocidas como Doble Zepp o Doble Zeppelin constituidas por dos medias ondas en fase con una ganancia de 1,8 dB respecto al dipolo de media onda.

Simplemente a la vista es una antena de una longitud de onda alimentada al centro con una línea abierta trabajando en su segunda armónica.

Alargando la antena, por ejemplo a una longitud de tres medias longitudes de onda o dicho de otra manera, alargándola en media longitud de onda se puede obtener una ganancia adicional de 3dB respecto al dipolo de media onda conociendo a la antena como Doble Zeppelin alargada (En algunas publicaciones el término alargada es reemplazado por extendida).

## **Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas por lu3agi**

El diagrama de irradiación también se ve modificado reemplazándose la forma de 8 con máxima irradiación en forma perpendicular a su plano para convertirse en cuatro lóbulos semejantes a una X aumentando la máxima irradiación hacia los extremos de la antena.

Hasta aquí se ha puesto el acento en la antena Hertz y sus derivadas, como conclusión general se puede arribar a que el comportamiento de un dipolo como monobanda o multibanda se reduce a atender las pérdidas en la línea de transmisión y emisor por desadaptación de impedancias. Un elemento que acude a resolver este dilema es el acoplador, hasta tal punto que le atribuimos propiedades mágicas sin detenernos a reflexionar que sus posibilidades de acoplamiento (adaptación de impedancias) son limitados.

Con la antena Marconi sucede algo muy parecido, cuando pensamos en ella, la imagen se cristaliza en una antena vertical de  $1/4$  de onda con una muy buena conexión de tierra para RF o contraantena (plano de tierra), pero también es Marconi las L, los hilos largos (long wire) y los mal llamados hilos largos cuando son cortos.

Un hilo largo Marconi es un alambre o cable conductor de dos o más longitudes de onda que puede extenderse en forma paralela a tierra o con alguna variante, alimentado en su extremo directamente conectado al emisor o a través de una línea de transmisión, terminado o no con una carga resistiva en su extremo más alejado del emisor con una muy buena conexión a tierra para RF o contraantena para lograr su máxima eficiencia.

Todo conductor con una longitud inferior a dos medias longitudes de onda tomará el nombre de hilo corto Marconi.

Este tipo de antena Marconi presentará distintas variantes a saber:

- 1) Si es resonante o múltiplo entero de media longitud de onda la impedancia en el punto de alimentación será alta.
- 2) Si no es resonante y su longitud es múltiplo de  $1/4$  de onda la impedancia en el punto de alimentación será baja.
- 3) Si está terminada en una carga será unidireccional
- 4) Si no está terminada en una carga será bidireccional.
- 5) Cuanto más larga sea la antena más directiva se comportará.
- 6) Cuando se la eleve en su centro tomando un aspecto de V invertida crecerá su direccionalidad.

## **Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas por lu3agi**

Es de notar que cuando una antena se comporta en forma directiva, la energía irradiada hacia esa dirección y sentido preferencial aumenta, el termino ganancia en una antena encierra el concepto que el aumento de esa energía irradiada en una dirección y sentido preferencial es a expensas de no irradiar hacia otra dirección o sentido.

Por ejemplo decimos que un dipolo de media onda tiene una ganancia de 2 dBi respecto a una antena vertical (omnidireccional), porque el dipolo no irradia hacia sus puntas dado su diagrama de irradiación tipo 8, en cambio si al dipolo lo convertimos en un hilo largo el diagrama de irradiación se modificará irradiando mayor energía hacia sus puntas mientras que la antena vertical irradia hacia todos las direcciones y sentidos.

En la elección de una antena y su comportamiento final acude un sin fin de componentes muchas veces únicos e irrepetibles que pasan por la disponibilidad de espacio físico y objetos que lo rodean.

Un conductor eléctrico extendido de una longitud determinada con una arquitectura ya sea Hertz o Marconi presentará un valor de impedancia en su punto de alimentación y un diagrama de irradiación que variará según la frecuencia y/o banda de operación.

Si el espacio donde se emplazará la antena no brinda la posibilidad de una efectiva conexión a tierra de RF o la extensión de una contraantena la disposición más efectiva es la del dipolo de media onda o acortado hasta tal punto que pueda encajar en el espacio disponible.

De contar con la posibilidad de una efectiva toma a tierra de RF o contraantena, y de disponer de espacio que no permitan extender un dipolo de media onda puede ser conveniente una antena Marconi en cualesquiera de sus formas.

La línea de transmisión de bajas perdidas por excelencia para utilizar un dipolo de cualquier longitud para operar en distintas bandas es la línea abierta con dieléctrico de aire, las de dieléctrico sólido son de menores pérdidas que las líneas coaxiales que son inutilizables para este uso.

Una línea de transmisión con dieléctrico de aire puede tener pérdida por irradiación mientras que una línea con dieléctrico sólido la pérdida es por efecto Joule que en altas potencias puede significar la destrucción de la línea.

Lo ideal para uso de la antena en operación multibanda es emplazar un acoplador automático en el punto de alimentación entre la antena y la línea de transmisión, teniendo

## Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas por lu3agi

en cuenta la limitación de los mismos en sus posibilidades de adaptar valores de unos pocos Ohm a varios miles de Ohm como puede presentar un sistema.

La línea abierta con dieléctrico de aire lamentablemente en los espacios urbanos es muy inconveniente su emplazamiento y se hace necesario recurrir a otros medios para operación multibanda y quedar ligados a la utilización del coaxil como línea de transmisión.

Para evitar desequilibrios los dipolos requieren ser alimentados con líneas de transmisión simétricas mientras que las Marconi requieren líneas de transmisión asimétricas (coaxil). En los dipolos para evitar la irradiación de la línea de transmisión en caso de utilizar coaxil como línea de transmisión es conveniente la utilización de un balún que permita resolver esa asimetría.

El otro elemento a considerar una de las características de las líneas de transmisión que se comportan como transformadores de impedancia según su longitud.

Cuando la línea de transmisión tiene una longitud eléctrica de 1/4 de onda (corresponde a 90° de la onda) se convierte en un transformador de impedancia a partir de su impedancia característica

$$Z_o^2 = Z_e * Z_s \quad (1)$$

Donde:

$Z_o$  => Impedancia característica de la línea de transmisión 1/4 de onda

$Z_e$  => Impedancia de entrada a la línea de transmisión de 1/4 de onda

$Z_s$  => Impedancia de salida de la línea de transmisión de 1/4 de onda

Esta transformación de impedancia ocurre para cada múltiplo impar de 1/4 de longitud de onda de la línea de transmisión .

Un caso particular se presenta cuando la línea de transmisión es de media longitud de onda eléctrica. Vamos a operar con la expresión (1)

Si queremos hallar la Impedancia de entrada sabiendo la impedancia característica de la línea de transmisión utilizada como transformador hacemos:

$$Z_e = Z_o^2 / Z_s$$

Si queremos hallar la Impedancia de salida sabiendo la impedancia característica de la línea de transmisión utilizada como transformador hacemos:

$$Z_s = Z_o^2 / Z_e$$



## Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas por lu3agi

Una línea de transmisión de  $1/2$  longitud de onda eléctrica es como dos líneas de transmisión de  $1/4$  de longitud de onda eléctrica una seguida de la otra.

En el primer cuarto de longitud de onda con impedancia  $Z_0$  ingresamos una impedancia igual a  $Z_e$  y a la salida vamos a tener una impedancia  $Z_s = Z_0^2 / Z_e$  en el segundo cuarto de longitud de onda con impedancia  $Z_0$  vamos a ingresar con una impedancia que ahora tiene el valor  $Z_0^2 / Z_e$  entonces a la salida tendremos:

$$Z_0^2 / Z_e = Z_0^2 / Z_e$$

Como la impedancia característica de la línea de transmisión es una constante del mismo valor, al pasarla al otro miembro de la igualdad se anulan nos queda:

$$Z_e = Z_e$$

La impedancia que ingresa a una línea de transmisión de  $1/2$  longitud de onda eléctrica a la salida tendremos el mismo valor de impedancia que ingresó.

El otro elemento a tener en cuenta es la longitud de onda eléctrica que no necesariamente es coincidente con la longitud de onda física.

La longitud de una onda electromagnética se define como su velocidad de propagación dividida por la frecuencia, también se la puede definir como la longitud de onda de una onda electromagnética es directamente proporcional a su velocidad de propagación e inversamente proporcional a su frecuencia, estas formas de definirla nos permite recordar la expresión matemática para su cálculo, su concepto se puede expresar de esta manera: es el espacio recorrido por una onda electromagnética en un ciclo por eso se expresa en unidades de longitud.

$$\text{Longitud de onda} = \text{Velocidad de propagación} / \text{frecuencia}$$

Es usual tomar como velocidad de propagación la velocidad de la luz, pero la luz es una onda electromagnética por lo que es correcto decir que la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es de 300.000 Km por segundo (Km/s) o dicho de otra manera 300.000.000 m/s.

Ahora bien, esa velocidad es en el espacio libre o fuera de la atmósfera terrestre, en otro medio la velocidad es menor y depende mucho de su constitución. En las líneas de transmisión con dieléctrico de aire la constante de propagación que corrige la velocidad es igual a 1 y a medida que las pérdidas en el dieléctrico son mayores esa constante que se utiliza para hallar la velocidad con se propaga la onda es muy inferior a 1. Por ejemplo en

## Antenas de hilo largo (long wire) o armónicas por lu3agi

un coaxil RG-58U está aproximadamente en 0,66 mientras que para una línea abierta con dieléctrico sólido de 300 Ohm esta en 0,82 y en la de 450 Ohm con ventanas cercano a 0,92

Calculemos:

$$300.000 \text{ Km/s} * 0,66 = 198.000 \text{ Km/s}$$

$$300.000 \text{ Km/s} * 0,82 = 246.000 \text{ Km/s}$$

$$300.000 \text{ Km/s} * 0,92 = 276.000 \text{ Km/s}$$

Nota: No confundir con el efecto de punta en el cálculo de las antenas.

Como cierre una breve reseña sobre la relación de ondas estacionarias (r.o.e) e instar a abandonar ciertos mitos que muchas veces ocupan nuestro tiempo en forma innecesaria.

La r.o.e. es una relación entre potencia directa y potencia reflejada sobre una línea de impedancia característica determinada que de ninguna manera puede ser igual a cero (0) ya que ese valor significaría la ausencia de ambas potencias.

Los equipos comerciales actualmente en uso limitan su potencia a través de circuitos de protección cuando la r.o.e. que presenta la carga es aproximadamente igual a 2:1.

Muchas antenas comerciales del tipo multibanda aseguran una r.o.e. inferior a 2:1 pero siempre superior a 1:1 ya que esa condición es inalcanzable.

Una r.o.e. 2:1 representa no más del 10% generada por el transmisor que se transforma en potencia reflejada por lo cual trabajar con una r.o.e. en el entorno inferior a 2:1 y superior a 1:1 es perfectamente factible.

Muchos instrumentos utilizados por los radioaficionados para la medición de r.o.e. la lectura de potencia directa se ve incrementada respecto a la entregada por el transmisor por la presencia de potencia reflejada.

Como corolario el tópico antenas es uno de los temas más complejos de conciliar la experiencia práctica con el conocimiento teórico precisamente por el carácter único e irrepetible del contexto que rodea a la antena y de la enorme influencia que tiene en el emplazamiento del sistema, los conceptos vertidos en este documento tienen como objetivo a través de una transposición didáctica adecuada al radioaficionado brindarle herramientas teórico - prácticas que le permita resolver una elección consciente de su sistema irradiante.