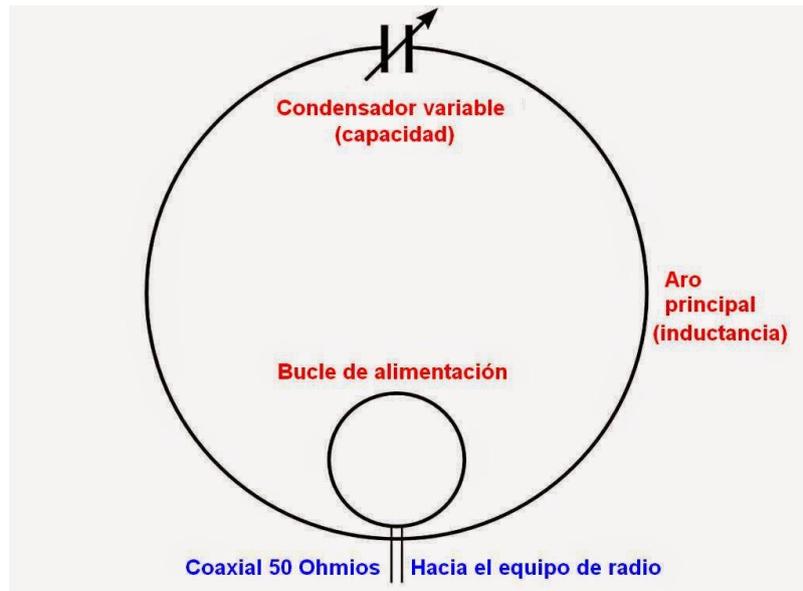


ANTENA MAGNETICA DE ARO O "MAGNETIC LOOP"

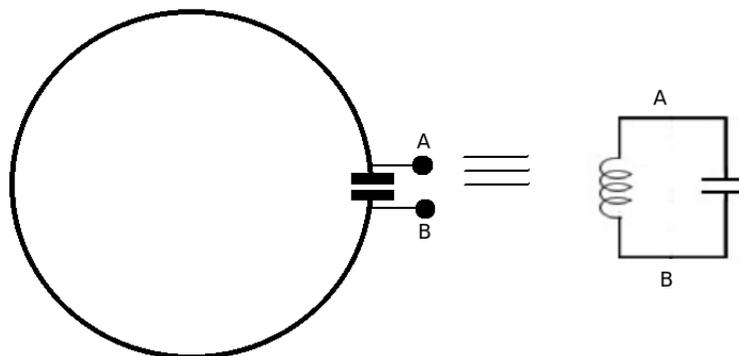
Por Ricardo Mínguez - EA5GKA

¿EN QUÉ CONSISTE REALMENTE UNA ANTENA MAGNÉTICA DE ARO?

Podríamos decir, de un modo muy simple, que una antena magnética de aro es un circuito L-C paralelo, cuya inductancia es la producida por la espira del "aro principal" y la capacidad la aportamos con un condensador que colocamos en paralelo con dicho aro, además de la capacidad parásita del propio aro. De momento vamos a olvidarnos de la capacidad distribuida del aro y de la resistencia de pérdida de los elementos L y C.

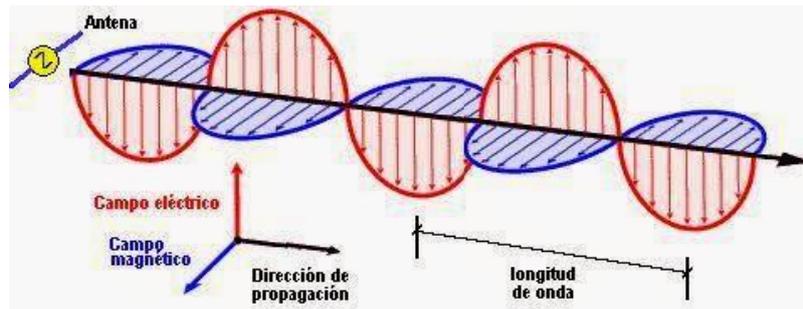


Construcción teórica de la antena magnética o "magnetic loop".



Equivalencia a circuito L-C paralelo.

Partimos de la premisa de que la energía de RF, o de radiofrecuencia, es de origen electromagnético, es decir, que está formada por una componente eléctrica y por otra magnética.



Se dice que es una antena magnética cuando trabaja principalmente con la componente magnética de la energía de RF, quedando la componente eléctrica confinada entre las placas del condensador.

Para que el campo cercano de RF se manifieste principalmente en su componente magnética, en este tipo de antena, el perímetro de dicho aro no debe superar 0.25λ ($1/4$ de longitud de onda) de la banda más alta que se vaya a utilizar. De este modo la componente “magnética” se desarrolla en la espira del aro, siendo radiada así mismo, y la componente “eléctrica” queda confinada en el dieléctrico del condensador, en el caso del condensador variable de aire, el campo eléctrico se localiza precisamente en el espacio de aire entre las placas de dicho condensador.

Las ventajas que se obtienen con el uso de la componente magnética de la energía de RF es básicamente que la recepción y transmisión se verá poco afectada por factores del entorno próximo, como puedan ser construcciones de ladrillo o bloque de hormigón (el hormigón armado presenta interacción debido a la estructura interna de acero), vegetación y arbolado..., posibilitando de este modo su utilización en espacios reducidos, añadiendo a su vez características de ocultación o incluso “invisibilidad”, factores que han hecho que este tipo de antena haya sido utilizado frecuentemente en uso táctico militar en campañas de jungla (Vietnam, Laos, Camboya,...). En la actualidad se pueden identificar algunas variantes de antena magnética para uso táctico sobre vehículos militares, como podéis observar en las siguientes imágenes:





Está muy claro que este tipo de antena sirve perfectamente para uso militar, ¡vamos!, ¿quién no ha tenido en algún momento la sensación de que por causa de la instalación de sus antenas parece que esté en guerra con los vecinos?. Pues en este caso nos viene muy bien algo de ocultación y despiste frente a los que no nos dejan colocar nada en el tejado o en zonas comunes del edificio donde vivimos, porque una antena de aro en nuestro balcón o pequeña terraza, y a veces hasta dentro del salón-comedor, bien que nos puede venir para salir al aire si no podemos instalar nada en el tejado comunitario.



Antena para 20 a 10m en el extremo de una pequeña terraza. Una de mis antenas.



Antena de $\text{Ø}1.35\text{m}$ para 40 a 20m en la salita de estar de Raúl - EA2SS, con el beneplácito de la XYL (¡uy, uy, uuuuy!)



Antena del amigo Adolphe-F1SPK en una terraza cubierta. En este caso, el aro es de $\text{Ø}1.40\text{m}$ realizado con tubo de $\text{Ø}22\text{mm}$.



Antena de $\varnothing 88\text{cm}$ para 20 a 10m en el jardín de EA7GU



La antena anterior perteneciente a EA7GU, ya en su lugar definitivo.
Se puede observar que el amigo Esteban ha colocado un pequeño rotor para conseguir el máximo partido a la directividad que presenta este tipo de antena.

HABLEMOS DE RENDIMIENTO.

Cabe decir que una antena magnética de aro no es, como algunos creen, una simple antena de compromiso, es más bien un dispositivo de reducido tamaño y alto rendimiento, si está bien construida, que cualquiera puede instalar cuando se tiene poco espacio, o bien puede ser que se disponga de espacio suficiente para antenas de mayores dimensiones pero no se quiera llamar la atención de los vecinos. Así y todo con esta antena se puede hacer DX en las más penosas condiciones, cosa que con otras antenas de mayor reputación no se podría jamás en las mismas circunstancias.

Cabe destacar que esta antena también mejora de forma notable la relación Señal / Ruido en recepción, lo cual se observa sencillamente en que el nivel de QRM propio de la banda se reduce bastante, lo que nos permite escuchar señales débiles que con otro tipo de antena pasarían inadvertidas en medio del ruido, pudiéndose utilizar de QRP a QRP.

Cuando escuchamos decir la frase: *"la antena de aro tiene ganancia negativa"*, debemos saber que se hace referencia a la eficacia de dicha antena respecto de un dipolo física y matemáticamente "ideal", o lo que es lo mismo que decir que comparado con un dipolo de 1/2 longitud de onda situado a una altura también de 1/2 longitud de onda respecto de un suelo con una conductividad optima, la antena de aro tendrá menor rendimiento, y dicho rendimiento será de un X % del mencionado "dipolo ideal".

En una infinidad de casos reales tenemos antenas que por sus característica físicas están muy alejadas en rendimiento respecto al "dipolo ideal", y es ahí precisamente donde podemos encontrarnos con que el dipolo que tengamos montado precariamente nos estará ofreciendo un rendimiento tan bajo que cuando probemos una antena de aro magnético obtengamos unos resultados difícilmente imaginables y mucho mejores que con el dipolo. Cuando en algún QSO me he encontrado con colegas que dicen estar emitiendo con un dipolo muy corto y muy bajo por falta de espacio, viéndose obligados a conectar una "ayudita" de unos 500w, y así y todo no me llegan con una buena señal, me quedo convencido de que para ellos sería una solución poder salir con una antena de aro y posiblemente con solamente 100w, puesto que en condiciones de espacio reducido las antenas magnéticas ganan la partida con toda seguridad.

Hace un tiempo estuve en QSO en la banda de 40m con EA5FJL-Francisco, el cual salía con una antena magnética de muy reducidas dimensiones (apenas 1m de diámetro), montada en un patio interior de un edificio. Este QSO es inimaginable poderlo llevar a cabo con otro tipo de antena. Yo también estaba saliendo con mi aro magnético de Ø1.70m.

DIAGRAMAS DE RADIACIÓN.

ANTENA EN DISPOSICION VERTICAL



Diagrama de radiacion horizontal

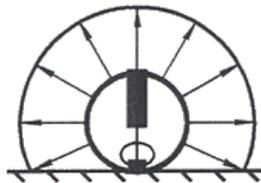
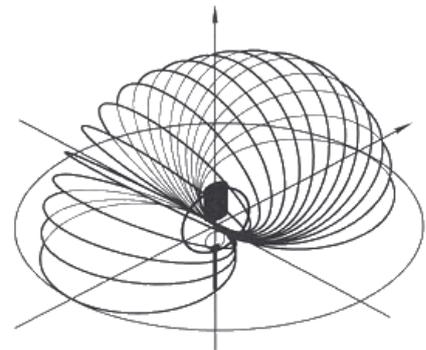


Diagrama de radiacion vertical



LOBULO DE RADIACION 3D

ANTENA EN DISPOSICION HORIZONTAL

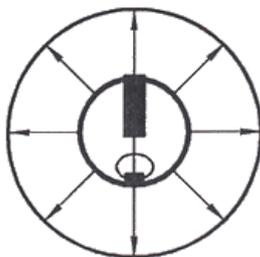


Diagrama de radiacion horizontal

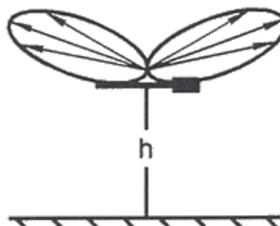


Diagrama de radiacion vertical

Según podemos ver en la imagen de arriba, con la antena en disposición vertical, el diagrama de radiación horizontal describe dos lóbulos iguales, los cuales están orientados en el sentido del plano de la antena, presentando por lo tanto cierta directividad bidireccional, pero si observamos el diagrama de radiación vertical veremos que este describe un “donut” o toroide concéntrico al conductor del aro de la antena, distribuyendo de este modo la energía en todos los ángulos de elevación; con la radiación en ángulos de elevación bajos se posibilitan comunicaciones DX y con los ángulos de radiación elevados se pueden establecer comunicaciones desde zonas montañosas, permitiendo también en algunos casos comunicaciones mediante propagación NVIS – (Near Vertical Incidence Skywave) en función de la frecuencia de corte **f_o** de la capa **F2** dependiendo de la hora del día. ¿Qué tipo de antena tenemos entre manos que es capaz de proporcionarnos estas posibilidades?, ¿verdad que parece atractiva?.

Cuando colocamos la antena en disposición horizontal, a una altura -h- del suelo, esta se comporta de modo omnidireccional respecto a su directividad, con polarización horizontal, con un ángulo de salida que estará en función de su altura desde el suelo para la longitud de onda correspondiente. Sobre este tipo de disposición no puedo aportar de momento ningún comentario, dado que nunca la he probado en tales circunstancias.

PRINCIPIO CONSTRUCTIVO.

Para la construcción de cualquier tipo de antena hay que respetar, en principio, unas dimensiones físicas que atienden a varios parámetros relacionados con la longitud de onda de las frecuencias que se deban cubrir con ella.

En el caso concreto de las antenas magnéticas, más comúnmente conocidas como antenas de aro o magnetic loop, el elemento radiante principal se puede construir con diferentes formas, circular, octogonal, cuadrada, rectangular, triangular..., pero cabe decir que el máximo rendimiento se consigue con la forma circular, ya que esta figura geométrica es la que para un perímetro dado encierra la mayor área posible.



Antena de $\varnothing 1.70\text{m}$ para cubrir de 40 a 20 con sintonía continua. Una de mis antenas.



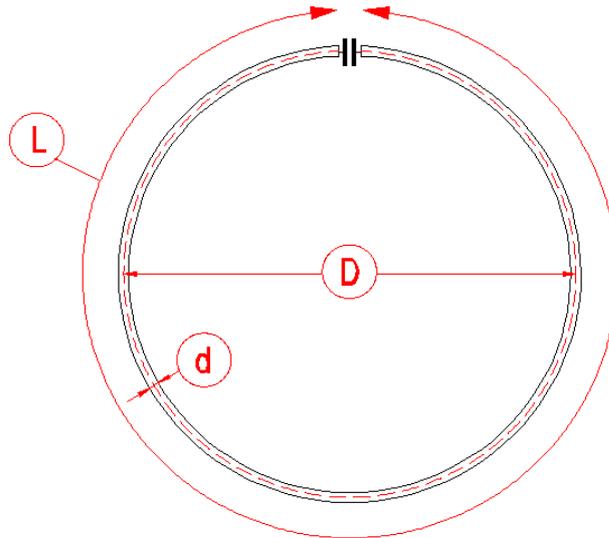
Antena de $\varnothing 88\text{cm}$ para cubrir de 20 a 10m en sintonía continua. Una de mis antenas.

Para la conexión del equipo de radio a la antena se hace uso del correspondiente sistema de adaptación.

Antes de lanzarnos a realizar un cálculo teórico de un sistema de antena magnética hay que tener presentes los siguientes apartados, porque con su conocimiento previo evitaremos muchos errores de puesta en marcha con la consiguiente decepción:

- 1º - Aro o bucle principal.
- 2º - Sistema de adaptación al equipo de radio.
- 3º - Condensador variable.
- 4º - Sistema de motorización para sintonía remota del condensador variable.
- 5º - Construcción mecánica.

1º - ARO O BUCLE PRINCIPAL.



EL PERÍMETRO "L" DEL ARO PRINCIPAL ES 1/4 DE LONGITUD DE ONDA DE LA FRECUENCIA MAS ELEVADA QUE SE VAYA A CUBRIR

El rango adecuado de uso de una antena magnética es aquel que se determina mediante la relación siguiente:

Rango que cubrirá = desde la banda de cálculo del perímetro "L" (banda más alta que vaya a cubrir) hasta la banda de doble longitud de onda respecto de la de cálculo (banda más baja que vaya a cubrir).

Perímetro del aro = $\frac{1}{4}$ longitud de onda de la banda más alta.

Diámetro medio del aro, según el cálculo matemático de la longitud de la circunferencia tenemos:

$D = L / \pi$, donde D es el diámetro medio del aro, L es el perímetro, y número $\pi = 3.14159$

Ejemplo práctico:

Vamos a calcular una antena de aro para 20m (14MHz) como banda más alta y 40m (7MHz) como banda más baja, con lo cual:

Perímetro, $L = \frac{1}{4} \times (300 / 14 \text{ MHz}) = 5.36\text{m}$

Diámetro medio del aro, $D = 1.70\text{m}$

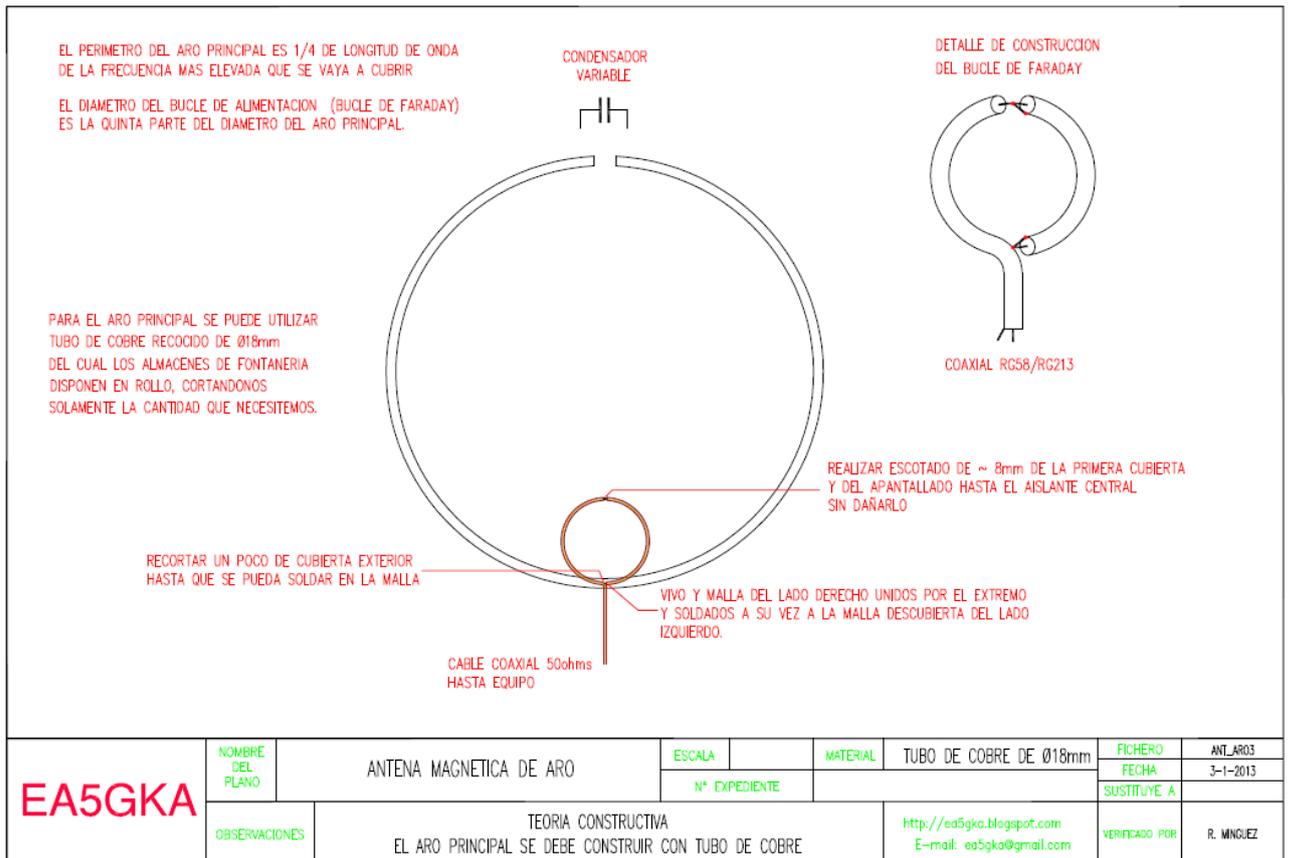
Rango que cubrirá = desde 20m hasta 40m.

Aunque para el aro principal podemos utilizar cualquier metal conductor, incluso cable coaxial haciendo uso de la malla del mismo, el material más adecuado es el tubo de cobre debido a su elevada conductividad. Podemos construir, de forma extremadamente sencilla, un aro de las dimensiones deseadas utilizando tubo de cobre de $\varnothing 18\text{mm}$ del que se utiliza en fontanería en formato de rollo, así nos pueden cortar la longitud que pidamos. No nos va a costar demasiado esfuerzo llevarlo al diámetro deseado, simplemente deformándolo poco a poco con las manos.

El rendimiento del aro está relacionado con el diámetro del conductor utilizado, por lo cual no debemos escatimar en este aspecto, puesto que a mayor diámetro del conductor mayor rendimiento del sistema. El diámetro "d" de tubo propuesto de $\varnothing 18\text{mm}$ está más que bien para empezar, sobre todo por la facilidad de curvado, aunque si tenemos posibilidad de

curvar un tubo de mayor diámetro con máquina, mejor que mejor, pero tenemos un problema y es que los tubos de cobre comercial de diámetro mayor de 18mm solamente se presentan en barras rectas de unos 5m de largo, con lo cual este será el límite para realizar aros de una pieza.

Por supuesto que para el caso de tubos de diámetro mayor de 18mm podemos realizar el aro principal mediante soldadura, en forma octogonal por ejemplo, mediante tramos rectos de tubo de cobre y codos de 45°, uniendo el conjunto con soldadura autógena de aleación de plata, conocida comúnmente como "Plátex".



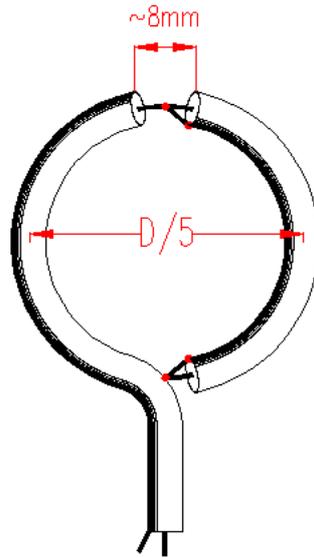


Antena de $\varnothing 88\text{cm}$ octogonal para cubrir de 20 a 10m en sintonía continua. Una de mis antenas.

2º - SISTEMA DE ADAPTACIÓN AL EQUIPO DE RADIO.

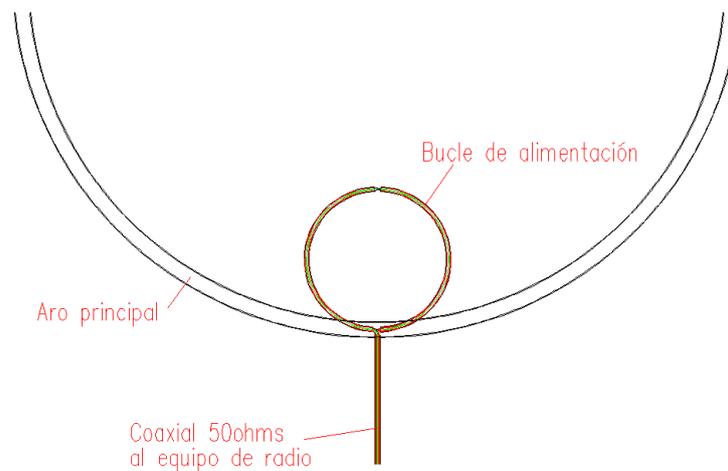
Para este tipo de antena se pueden utilizar básicamente tres sistemas de adaptación al equipo transceptor, aunque existen varios más.

- a) Varilla Gamma.
 - b) Bucle de hilo.
 - c) Jaula de Faraday.
-
- a) Podemos utilizar un sistema de adaptación gamma, el cual parece sencillo por tratarse de una simple varilla que conecta el vivo del coaxial que va al transceptor con un punto determinado de la parte inferior del aro principal.
 - b) También podemos realizar un pequeño aro de cable o tubo de cobre, con un diámetro medio equivalente a $1/5$ del diámetro del aro principal.
 - c) El método que prefiero personalmente es el de "jaula de Faraday". Este sistema de adaptación está formado por un bucle realizado con cable coaxial, preferiblemente RG213 o similar por su grosor, cuyo diámetro medio es también de $1/5$ del diámetro medio del aro principal, al igual que el caso anterior, con las conexiones según el croquis siguiente:



Bucle de alimentación realizado con coaxial.
Su diámetro es igual a 1/5 del diámetro del aro principal.

Se ha escogido este tipo de adaptación porque no existe contacto eléctrico del bucle de adaptación con el aro principal, tratándose pues de una adaptación inductiva, y que según algunos colegas que ya han experimentado previamente con los tres sistemas de adaptación referidos, con este que se ha elegido se reduce sensiblemente el QRM de origen eléctrico.



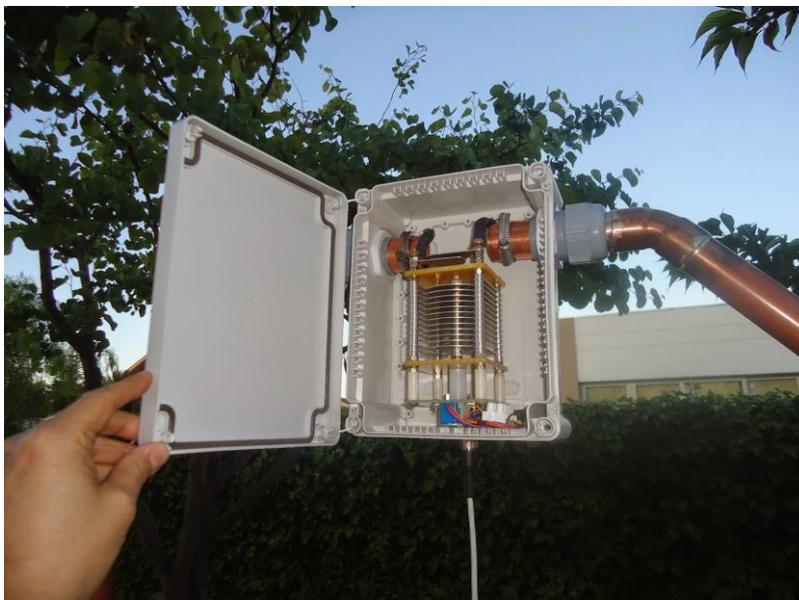
Situación del bucle de alimentación superpuesto al aro principal en la parte inferior.

La posición correcta del bucle, partiendo de la situación mostrada en el croquis, será aquella en la cual se consigue la menor ROE en todo el rango de sintonía, para lo cual podremos subirlo o bajarlo un poco respecto a la parte inferior del aro principal, e incluso achatarlo ligeramente, hasta conseguir la menor ROE en todo el rango de utilización de la antena.

3º - CONDENSADOR VARIABLE.

El condensador se conecta entre los extremos abiertos del aro principal en la zona superior, y cabe decir que en dicho punto se desarrolla un voltaje muy elevado cuando la

antena se utiliza en transmisión, incluso con potencias relativamente bajas. Simplemente con una potencia de RF de 10w se llegan a producir cerca de 1400v en los bornes del condensador con una aro de $\varnothing 1.7\text{m}$ en la banda de 40m, subiendo hasta los 4500v para una potencia de 100w, así que debemos evitar el contacto intencionado o accidental de las personas con la parte alta de la antena mientras estemos transmitiendo.



Condensador de tipo mariposa o "butterfly capacitor" de construcción propia.

Una vez conocido el condicionante del voltaje que debe soportar el condensador que vayamos a utilizar, parece que todo está perdido, pero no es así, porque podemos encontrar en internet condensadores variables de alto voltaje en diversos rangos de valores. Para este proyecto el condensador utilizado es uno de tipo mariposa o "butterfly" con dieléctrico de aire de construcción propia (ver apartado correspondiente CONDENSADOR DE MARIPOSA O "BUTTERFLY CAPACITOR" de este blog), el cual es especialmente aconsejado para su uso en antenas magnéticas de aro. Dicho tipo de condensador se caracteriza por sus bajas pérdidas, ya que no hay contactos móviles tipo escobilla en su rotor, además de que la separación entre placas es lo suficientemente grande (equivalente a 3mm de un condensador simple) como para soportar una tensión teórica de RF de unos 8000v aprox. con ambiente seco, siendo válido para transmitir con potencias de hasta más de 250w, pero en mi opinión no debemos sobrepasar los 100w a menos que la antena esté bastante alejada de las personas, ya que el campo radiado en sus proximidades es muy intenso.

A TENER EN CUENTA: en ocasiones hay quien desea construir la antena magnética para utilizarla solamente en recepción, con lo cual se podrá utilizar cualquier tipo de condensador que se pueda conseguir, aunque no sea de tipo mariposa, ni soporte elevados niveles de voltaje, ya que en este caso la tensión que se desarrolla entre bornes del condensador es despreciable.

4º - SISTEMA DE MOTORIZACION DEL CONDENSADOR VARIABLE PARA SINTONIA REMOTA.

Gracias al elevado Q de esta antena obtenemos alto rendimiento de la misma con un reducido tamaño, pero como nada sale gratis, ese Q tan elevado por supuesto que se traduce también en una elevada selectividad, que a su vez se deriva en dos consecuencias, una buena y otra no tanto: la consecuencia buena es que con una elevada selectividad vamos a tener en la práctica un filtro pasa-banda muy estrecho, de apenas unas decenas de kilohercios, lo cual es beneficioso para evitar QRM, splatters,.... La

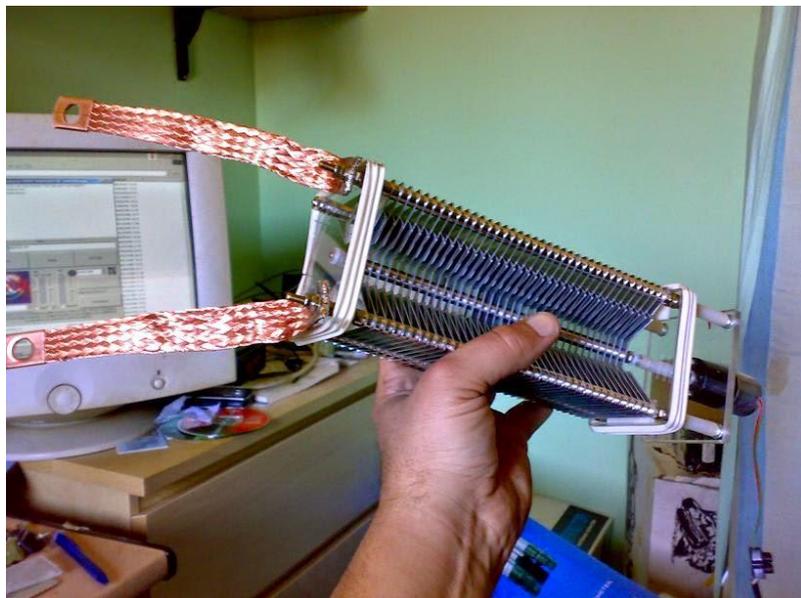
consecuencia no tan buena de la elevada selectividad es que esta antena necesita ser sintonizada nuevamente por poco que cambiemos de frecuencia, eso sí, consiguiendo siempre el máximo rendimiento en todo momento.

Para esa "sintonización tan frecuente" utilizaremos un sistema remoto formado por un motor de precisión con caja reductora de engranajes incorporada, accionado mediante un circuito de control, con el cual variaremos tanto el sentido de giro del condensador como su velocidad, pudiendo hacer saltos rápidos entre las diferentes bandas. Este sistema se puede sofisticar cuanto queramos: con finales de carrera, incluyendo un sensor de posición con indicador de aguja o display digital, memorias de posición,..., pero en el caso que aquí presentamos se ha considerado el sistema más simple que se puede utilizar con cierta comodidad: mediante tres simples pulsadores podemos posicionar el condensador casi perfectamente solamente de oído, escuchando el máximo ruido o señal a la salida del receptor a óptima sintonía.

Para que la sintonía mediante este sistema de control motorizado resulte relativamente cómoda se debe conseguir una velocidad de giro del eje del condensador de no más de 0.14 RPM, ya que de otro modo nos "saltaríamos la sintonía" sin darnos cuenta, debido al posicionamiento tan crítico del condensador de mariposa, ya que todo el rango de sintonía posible se produce con una variación angular de menos de 90 grados.

5º - CONSTRUCCIÓN MECANICA.

Como ya se ha comentado en el apartado correspondiente, el aro debe realizarse preferiblemente con tubo de cobre, sin uniones falsas. El condensador variable se puede unir mecánicamente con el aro de una forma fiable utilizando para ello dos secciones de cinta de malla tupida de cobre de unos 8~10cm de largo, intentando evitar la unión directa del aro con los terminales del condensador, porque aunque esta parece que sea la mejor forma de evitar pérdidas, tendremos un problema en contra casi mayor, el cual se refiere a que ante movimientos del aro principal, contracciones, golpes de viento, se podrían causar tensiones mecánicas en la unión del aro con el condensador que podrían producir a su vez un aflojamiento de dicha unión, aumentando de este modo las pérdidas por resistencia a valores nada despreciables y algunos casos incluso dejaría de funcionar la antena.



Cinta de malla comúnmente utilizada en automoción (EA4ERZ)



Malla de coaxial RG-213 chafada, en forma de cinta plana. (EA5GKA)

El condensador variable debe ser alojado dentro de un contenedor para protegerlo de los agentes atmosféricos y de la suciedad, haciendo uso por ejemplo de una pequeña longitud de tubo de PVC de fontanería de color gris de 105mm de diámetro interior o de una caja de las utilizadas para instalaciones eléctricas de intemperie. No se debe utilizar tubo de PVC de color negro, porque este puede contener partículas de material plástico conductor reciclado y nos crearía problemas inesperados. Este contenedor debe estar sellado de forma general para que no le entre agua de lluvia, pero en la zona inferior podremos practicar varios pequeños agujeritos de 2 o 3 mm de diámetro para que no se produzcan condensaciones en el interior y a la vez no entren insectos. Todos estos componentes se pueden montar sobre un tubo de PVC gris también pero esta vez de menor diámetro, con la función de mástil-soporte de la antena. El bucle de adaptación se debe sujetar mediante alguna brida o correa UNEX de plástico a este mástil una vez ajustada su posición a mínima ROE. Cabe decir que si hacemos uso de un pequeño rotor podremos también sacarle partido a esa cierta directividad que se ha mencionado al principio. No se deben olvidar los vientos para mantener el mástil en posición vertical.

RESUMEN FINAL.

Llevo experimentando con antenas de aro aproximadamente desde el año 1990, y después de haber probado otro tipo de antenas, como son las verticales, dipolos e hilo largo, sigo pensando que las antenas magnéticas de aro tienen algo que cautiva a todo aquel que las utiliza, no se puede explicar simplemente con palabras, hay que sentirlo, es todo muy curioso, la recepción de las estaciones, aunque son algo más bajas en señal que las recibidas con un dipolo de media onda, se escuchan con mayor nitidez y claridad, y considerando que toda la energía que se le entrega es radiada si la tenemos ajustada correctamente, podemos considerar que se trata también de una antena de "clase-A" según la clasificación de aprovechamiento energético de los electrodomésticos, je, je.