

# SISTEMA OPTIMIZADO DE 2 YAGUIS DE 144 MHz PARA REBOTE LUNAR

Juan Antonio Fernández Montaña  
EA4CYQ

EA4AK se dirigió a EA8TJ como administrador del grupo de EME que hay creado en España, para ver la posibilidad de escribir para nuestra revista un artículo que incentivara el poder acercarse a esta modalidad de Radio, Rebote Lunar (EME), que siempre parece un poco imposible. Las ideas que aquí os expongo son fruto de las muchas horas de lectura y de WhatsApp. Para los que ya trabajáis en EME os resultará irrelevante, pero el enfoque que aquí se ha pretendido es para aquellas estaciones que ya trabajan satélites, o banda lateral en terrestre, o para aquellos que después de muchos años de HF quieren experimentar en una nueva faceta, para mí de las más bonitas e impresionantes de la radio. La primera vez que recibes y decodificas una señal de una estación que ha rebotado en la Luna, es una emoción de las que no se olvidan.

EME en 144MHz se ha tratado en esta revista en Oct-Nov de 2014 y en Nov-Dic de 2015 con 4 artículos titulados “La Luna un poco más cerca”, y conviene su lectura para establecer las bases de lo que aquí comentaremos. Puesto que en esta ocasión vamos a intentar ir a un caso práctico de un sistema radiante de  $6\lambda$  o  $7\lambda$ , pero como una sola antena de  $\approx 12\text{m}$  de boom no es práctica mecánicamente para instalarla en una torre con un sistema de elevación, nuestra propuesta es de un sistema de 2 antenas de  $\approx 6\text{ m}$  ( $3\lambda$ ) o  $\approx 7\text{ m}$  ( $3.5\lambda$ ) de boom enfasadas. Este sistema siendo, en dimensiones similar a una antena de 2 elementos para HF, nos dará muchas satisfacciones y la oportunidad de experimentar otra modalidad de radio. Además un sistema de este tamaño puede hacerse portable, con las ventajas que ello reporta para hacer activaciones, expediciones, etc.

Como se trata de animaros, no vamos a diseñar un sistema de dos polaridades, sino un sistema de una única polaridad. Para hacer EME nos sería indiferente instalar las dos antenas en V o H, incluso algunas expediciones optan por V, ya que mecánicamente es más fácil. Pero pensando en poder aprovechar nuestro sistema en los concursos terrestres, propondremos la polaridad horizontal.

## 1. QUE ANTENA ELEGIR

Esta pregunta nos la hacemos todos los radioaficionados y como todos tenéis claro la respuesta no es fácil, pues la optimización de una antena depende del diseñador, y cada uno puede ponderar uno de los factores principales, Ganancia (ganancia frontal), F/B (relación de ganancia delante/detrás), G/T (relación Ganancia delantera/Temperatura), etc.

La decisión puede depender de si vivimos en una zona de poco ruido, entonces podemos seleccionar una antena en la que predomine Ganancia frontal, o si vivimos en una zona con algo de ruido elegir una antena con un menor G/T, este factor nos indicará si el diseño ha tenido en cuenta, entre otras cosas, la supresión en todo lo posible de los lóbulos laterales y traseros, eso sí, sacrificando en parte la Ganancia frontal.

No solo hay que tener en cuenta las magnitudes eléctricas, las mecánicas son importantes si vivimos en una zona con bastante viento. La antena siempre nos la podemos hacer nosotros, no hay que optar por una antena comercial.

Para hacer una elección, es casi de obligado cumplimiento estudiar la hoja Excel de nuestro compañero Lionel VE7BQH. Lionel ha hecho un trabajo reconocido en el mundo de EME, haciendo una comparativa homogénea y objetiva de todas las antenas que ha encontrado, e incluso si diseñas alguna, no tendrá inconveniente en incluirla en su tabla. Sus conclusiones las podemos encontrar en:

<http://www.dxmaps.com/VE7BQH.html>

En la TABLA 1 he seleccionado las antenas cuyas longitudes están entre  $3\lambda$  y  $3.5\lambda$ .

TYPE OF ANTENNA	L $\lambda$	GAIN (dBd)	E (M)	H (M)	Ga (dBd)	Tlos (K)	Ta (K)	F/R (dB)	1st SL (dB)	2nd SL (dB)	Z (ohms)	VSWR bandwidth	G/T (dB)	Feed System	Convergence Correction req.	Polarity
*BVO-3WL	3,01	13,43	3,9	3,7	19,38	8,6	253,1	20,5	12,9	17,7	52,7	3.08:1	-2,5	Dipole	No	
BVO-3WL	3,01	13,43	4,03	3,78	19,42	8,6	256,1	20,5	12,9	17,7	52,7	3.08:1	-2,51	Dipole	No	
#BVO-3WL	3,01	13,41	3,9	3,9	19,41	8,6	256,6	20,5	12,9	17,7	52,7	3.08:1	-2,53	Dipole	No	
+GOKSC 11LFA3R	3,01	13	3,6	3,33	18,92	4	223	25,7	18,2	24	50,1	1.08:1	-2,41	LFA Loop		
+YU7EF 11	3,04	13,07	3,56	3,3	18,87	4,7	222,6	22,2	17,8	22,5	49	1.62:1	-2,46	Dipole	No	
F9FT 16	3,06	12,64	3,54	3,26	18,63	6	241,3	21,1	13,8	16,4	20,8	1.37:1	-3,05	HairPin		
#SM2CEW 14 XPOL H	3,08	13	3,5	3,5	18,92	9,6	228,9	24,7	15,8	22,6	18,1	1.48:1	-2,53	Dipole	No	XPOL
#SM2CEW 14 XPOL V	3,08	13	3,5	3,5	18,92	9,6	223,6	24,7	15,8	22,7	18,2	1.48:1	-2,43	Dipole	No	XPOL
CD15LQDver2	3,09	12,9	3,58	3,33	18,85	4,4	231,6	26,1	14	17	50	1.25:1	-2,65	Gamma Match		
*CD15LQDver2	3,09	12,9	4	3,8	19,02	4,4	238,8	26,1	14	17	50	1.25:1	-2,61	Gamma Match		
CD15LQDver1	3,1	12,83	3,6	3,35	18,76	4,1	247,8	20,7	14,5	17,5	50	1.23:1	-3,03	Gamma Match		
*CD15LQDver1	3,1	12,83	4	3,8	18,97	4,2	249,9	20,7	14,5	17,5	50	1.23:1	-2,86	Gamma Match		
ISMZY 13	3,1	12,97	3,56	3,3	18,83	6	225,9	20,3	15,1	17,8	49,3	1.50:1	-2,56	Dipole	No	
MBI ModFT17	3,12	13,29	3,85	3,6	19,27	8,2	239,5	24,3	12,9	19,7	50,1	1.41:1	-2,37	Dipole	No	
*F9FT 17	3,14	12,87	3,68	3,5	18,9	5,8	235,7	22,6	14,7	18,6	50,6	1.32:1	-2,67	HairPin	Yes	
F9FT 17	3,14	12,87	3,59	3,31	18,81	5,8	233,6	22,6	14,7	18,6	50,6	1.32:1	-2,73	HairPin	Yes	
*CC3219	3,17	12,77	4,27	3,66	18,8	5,7	307,8	14,9	15,1	18	18,3	1.49:1	-3,93	T Match		
CC3219	3,17	12,77	4,07	3,82	18,79	5,7	308,6	14,9	15,1	18	18,3	1.49:1	-3,95	T Match		
CC3219 MOD	3,17	13,26	3,87	3,62	19,27	5,1	245,6	24,1	13	16	28,6	1.05:1	-2,48	Dipole	Yes	
BQH 13	3,19	13,3	3,85	3,6	19,28	4,3	244,9	20,8	13,7	17,5	50	1.11:1	-2,46	Dipole	Yes	
InnoV 11 OWL G/T	3,2	13,62	4,02	3,77	19,61	4,7	241,7	22,2	13,6	18,5	49,5	1.16:1	-2,07	LFA-FD	Yes	
DJ98V 3.2	3,22	13,3	3,85	3,58	19,29	6,5	239,5	21,1	13,7	18,1	71,8	1.36:1	-2,35	Dipole	No	
+DG7YBN 12 Ver1	3,23	13,45	3,87	3,62	19,41	5,5	229,1	26,2	15	20,1	46,2	1.40:1	-2,04	Bent Dipole	No	
*+DG7YBN 12 Ver1	3,23	13,45	3,99	3,83	19,47	5,6	231	26,2	15	20,1	46,2	1.40:1	-2,02	Bent Dipole	No	
K1FO 14	3,26	13,34	3,8	3,56	19,29	4,7	237,8	18,1	14,4	19,3	29,6	1.42:1	-2,32	T Match	Yes	
+DG7YBN 12 Ver2	3,26	13,38	3,77	3,54	19,31	5,8	222,9	28	17,2	21,6	46,2	1.28:1	-2,02	Bent Dipole	No	
*+DG7YBN 12 Ver2	3,26	13,38	3,99	3,82	19,41	5,8	225,5	28	17,2	21,6	46,2	1.28:1	-1,97	Bent Dipole	No	
+KF2YN Boxkite 13	3,26	15,11	4,83	4,32	21	5,9	226,2	28,8	20,4	28,9	52,5	1.07:1	-0,38	Dipole	Yes	
UR5EAZ 12	3,27	13,31	3,71	3,44	19,21	3,8	223,4	24	15,3	18,3	50,2	1.04:1	-2,13	Dipole	No	
*+DG7YBN 12 Ver3	3,3	13,53	4,2	3,74	19,56	5	223,5	25,7	16,5	21,1	48,1	1.49:1	-1,78	Bent Dipole	No	
+DG7YBN 12 Ver3	3,30	13,53	3,82	3,56	19,45	5	220,4	25,7	16,5	21,1	48,1	1.49:1	-1,83	Bent Dipole	No	
*+Dual PA144-12-7	3,3	13,55	4	3,75	19,56	6,1	221,4	25,9	16,6	22,5	49,3	1.18:1	-1,74	Hair Pin	Yes	
+Dual PA144-12-7	3,3	13,55	3,82	3,59	19,47	6,4	219,6	25,9	16,6	22,5	49,3	1.18:1	-1,79	Hair Pin	Yes	
+DK7ZB 12	3,31	13,45	3,75	3,5	19,35	4,8	219	23	18,4	21,2	47,8	1.21:1	-1,9	Bent Dipole	No	
+InnoV 11 G/T-2	3,31	13,75	3,94	3,7	19,68	5,8	223,9	24,8	17,1	22,6	51,5	3.97:1	-1,67	Folded Dipole	Yes	
+GOKSC 12 LFA	3,32	13,39	3,78	3,52	19,34	5,2	220,7	24,4	18,1	23,1	49,9	1.07:1	-1,95	LFA Loop	Yes	
+GOKSC 12 OWA	3,33	13,34	3,85	3,5	19,3	5,5	225,3	25,3	16,3	23,4	49,3	1.05:1	-2,08	Dipole	Yes	
G4CQM 11	3,36	13,55	3,92	3,66	19,5	8,3	232	30,1	13,3	17,9	46,2	1.94:1	-2,01	Dipole	No	
+InnoV 12 OWL G/T	3,37	13,71	3,92	3,68	19,63	5,9	226,1	23,3	15,3	22,8	50,1	1.34:1	-1,76	Folded Dipole	Yes	
*+InnoV 12 OWL G/T	3,37	13,71	3,92	3,69	19,63	5,9	226,1	23,3	15,3	22,8	50,1	1.34:1	-1,76	Folded Dipole	Yes	
DK7ZB 11	3,4	13,68	3,94	3,71	19,61	5	234,3	22,3	14,2	17,4	27,9	1.27:1	-1,94	Dipole	No	
+UA9TC 12RS	3,40	13,55	3,8	3,56	19,46	5,1	218,2	32,1	18,6	21,2	51,7	1.09:1	-1,78	Dipole	No	
+GOKSC 12 LFA	3,41	13,61	4,59	3,6	19,6	4,9	223,9	26,1	17,3	22,6	50,3	1.22:1	-1,75	LFA Loop	Yes	
*+GOKSC 12 LFA	3,41	13,61	3,9	3,7	19,56	4,9	221,1	26,1	17,3	22,6	50,3	1.22:1	-1,73	LFA Loop	Yes	
MBI 3.4	3,42	13,62	3,89	3,64	19,43	9,2	226,3	23,2	16	19,9	39,3	1.38:1	-1,97	Dipole	No	
+GOKSC 12LFA 2R	3,43	13,46	3,79	3,52	19,37	5,5	217,9	25	19,3	23,6	50,7	1.09:1	-1,86	LFA Loop	Yes	
*+GOKSC 12LFA 2R	3,43	13,46	3,95	3,75	19,47	5,5	220,5	25	19,3	21,6	50,7	1.09:1	-1,82	LFA Loop	Yes	
InnoV 12 LFA	3,43	13,54	3,8	3,6	19,46	6,4	218,8	23,5	17,4	23,7	49,3	1.07:1	-1,79	LFA Loop	Yes	
Gulf Alpha 14	3,44	13,25	3,71	3,44	19,14	5,5	229,6	19,9	15,3	21,9	198	1.21:1	-2,32	T Match	Yes	
Gulf Alpha 14 XPOL H	3,44	13,25	3,57	3,57	19,13	5,5	231,4	19,9	15,3	22	198,2	1.21:1	-2,36	T Match	Yes	XPOL
Gulf Alpha 14 XPOL V	3,44	13,25	3,57	3,57	19,13	5,5	227	19,9	15,3	22	197,9	1.21:1	-2,28	T Match	Yes	XPOL
YU7EF 12	3,49	13,67	3,85	3,6	19,55	6,1	221,1	23,6	16,8	21,9	45,4	1.77:1	-1,75	Dipole	No	
M2 2MXP22A XPOL H	3,5	13,85	3,99	3,99	19,78	10,7	243,9	21,6	14	18,5	203	1.23:1	-1,94	T Match	Yes	
M2 2MXP22A XPOL V	3,5	13,85	3,99	3,99	19,78	10,7	239,6	21,6	14	18,5	203	1.23:1	-1,86	T Match	Yes	

Es importante que entréis en el vínculo adjunto ya que al final de la tabla está la leyenda que explica el significado de cada columna. La información es completísima, ganancia, distancias de enfase en los planos horizontal y vertical, F/B, Z, Ancho de banda, G/T, etc. Comentaros que interesa que el ancho de banda sea amplio, de no ser así la antena es fácil que se desintonice con la lluvia, problema que han tenido algunas expediciones a zonas con humedad ambiental.

De esta tabla descartaría aquellas antenas cuyo sistema de alimentación (Feed System) es Gamma Match, puesto que este sistema deforma algo los lóbulos, lo cual queda demostrado por que su G/T es el mayor de toda la tabla. Cualquiera otro sistema de alimentación es válido, al ser una alimentación simétrica (dipolo, dipolo plegado, loop, LFA loop, T-match, Hair-Pin, etc.). Cualquiera de estos sistemas debe ser respetuoso con el paso de coaxial, que es

asimétrico o unbalanced, a un sistema simétrico o balanced, como nuestro excitado. Por eso todos estos sistemas tienen algún tipo de balun, en algunos casos es utilizado no solo para pasar de un sistema asimétrico a simétrico, sino también para adaptar impedancias, como es el caso en el que la columna Z (Ohm), es diferente a 50 Ohm.

Deliberadamente no he hablado de nº de elementos, solo de longitud de boom en términos de  $n\lambda$ , y es que el número de elementos no nos proporciona ninguna información eléctrica aprovechable, y como podéis ver en la tabla en longitudes entre 6 y 7 metros nos podemos encontrar antenas entre 11 y 17 elementos, y no por mas elementos es mejor antena.

Si queréis sacar alguna conclusión de esta TABLA 1 , dentro de una misma longitud ( $\lambda$ ), la diferencia entre G, F/B o G/T no es mucha, así que no os recomiendo ninguna antena en particular, solo os he indicado las que descartaría, es preferible que os equivoquéis por vosotros mismos . . .

## **2.- DETALLES CONSTRUCTIVOS DE UNA YAGUI OPTIMIZADA**

Alguno ya he comentado, como el de la forma de alimentar el elemento excitado. Hay que tener en cuenta que el diseño de una yagui tiene como fin, que en todos los elementos se ha de inducir una radiofrecuencia en forma de tensión e intensidad, tal que aportan un incremento de la RF que se ha de inducir en el excitado, en el caso de la recepción, y el mismo recorrido pero al revés para la transmisión. También tenemos que saber que el centro de un elemento está a potencial cero, esté o no conectado a masa.

A la hora de llevar a la realidad un diseño teórico, la experiencia nos ha enseñado que:

- Hay que huir de elementos que están en contacto eléctrico con el boom (ya sea atravesándolo o encima de él, pues si este contacto eléctrico se deteriora (óxido o mal contacto), se introducirá ruido y mal funcionamiento.

- Cuando mas estrecho sea el boom y mas separados estén los elementos, menos influencia tendrá este. Se han hecho pruebas con boom aislante y se han conseguido diagramas de radiación mucho mas limpios. Me remito la experiencia mostrada en el congreso de EME en el 2015 por K1JT con un sistema de 4 yaguis para 432 MHz.

- Los elementos aunque aislados, pueden estar sujetos al boom por un tornillo central, tendrá menos efectos adversos cuanto menos diámetro tenga ese tornillo, puesto que si es muy grande estaremos poniendo a masa parte del elemento que no está a potencial cero.

- En una yagui horizontal, las partes metálicas situadas en el plano vertical prácticamente no afectan. El mástil, unas tirantas inferiores o unos cables de acero superiores no alejadas del boom, justo en el plano vertical de este, no afectarán al lóbulo de radiación. Alguien no se lo creerá, lo pueden modelar y comprobarlo.

## **3.- COMO ENFASAR LAS ANTENAS MECÁNICAMENTE**

### **3.1.- DISTANCIA DE ENFASE**

La distancia para enfasar dos yaguis solo depende de dos datos, de la longitud del boom y del ángulo de apertura del lóbulo principal, definido por los puntos donde la ganancia decae 3dB desde el punto de mayor ganancia, lo podemos ver en la DIAGRAMA 1. Con estos, que nos lo facilita el fabricante, o si modelamos la antena con algún programe tipo EZNEC, se utiliza la fórmula de DL6WU:

$$D = \lambda / (2 * (\sin B/2))$$

D: Distancia de enfase en metros

$\lambda$ : Longitud de onda en metros [300/f (MHz)]

B: Ángulo del lóbulo principal definido por los puntos de -3 dB

Llegados a este punto tenemos que saber en una yagui en polarización horizontal, el lóbulo principal no tiene la misma apertura en el plano horizontal que en el vertical. Por esto la tabla de VE7BQH muestra como "H" la distancia de enfase en el plano vertical y "E" la distancia de enfase en el plano horizontal. Esquemáticamente lo vemos en la FOTO 1, que es una pantallada de la hoja de cálculo de enfase de K6VHF.

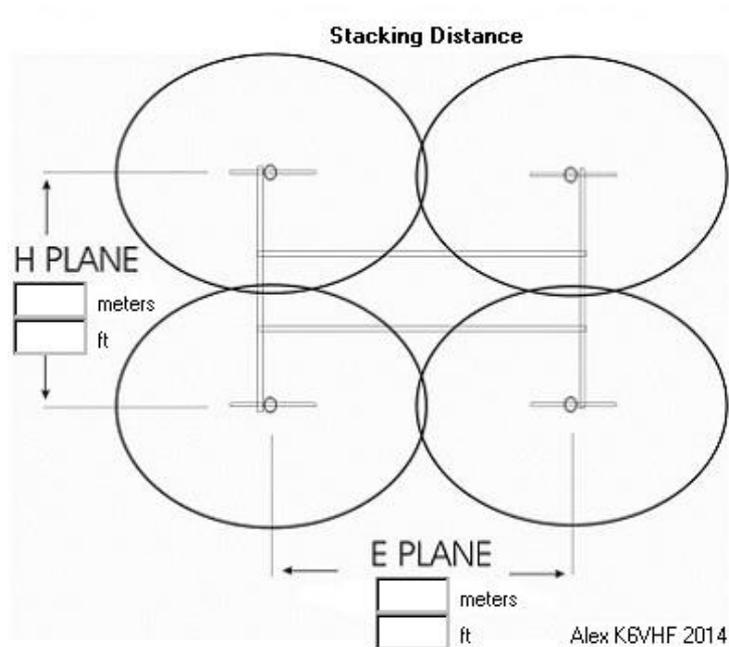


FOTO1.- CALCULADOR DE DISTANCIAS DE ENFASE DE K6KVH

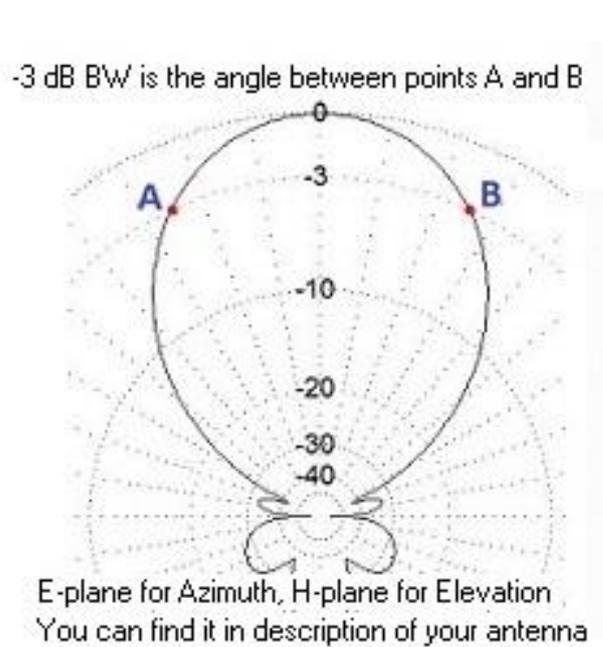


FIGURA 1.- ÁNGULO DE APERTURA DEL LÓBULO PRINCIPAL

Cuando dos antenas horizontales se enfasan en el plano horizontal (una al lado de otra), la apertura del lóbulo vertical se conserva, pero la del lóbulo horizontal se reduce. Cuando dos antenas horizontales se enfasan en el plano vertical (una encima de otra), la apertura del lóbulo horizontal se conserva, pero la del lóbulo vertical se reduce. De aquí se deduce que para EME la configuración ideal es el enfase de 4 antenas, porque así se reduce el lóbulo de radiación en ambos planos, concentrando mucha más energía, para incidir en un punto tan pequeño como es la Luna. Pero en este artículo solo vamos a enfase dos antenas!

La siguiente pregunta es ¿qué es mejor enfase 2 antenas en el plano horizontal o vertical?. Podríamos hacer muchas elucubraciones, pero la realidad es que se elige una formación u otra dependiendo de la simplicidad mecánica. Por esta razón para comunicaciones terrestres en el mismo mástil se instala una yagui encima de otra. Pero si tenemos que elevar las antenas para trabajar EME o Satélites, se instalan una al lado de la otra. Repito es una cuestión puramente mecánica.

### 3.2.- ESTRUCTURA PARA ENFASAR

No voy a entrar en la robustez de la estructura, pues como todo, esto depende del compromiso entre peso y robustez. Hay gente que le gustan los tubos de acero, otros aluminio, algunos prefieren perfiles redondo y otros cuadrados . . .

Lo que si tenemos claro es que pondremos una antena al lado de otra, en el mismo plano horizontal, pues esta formación permite de una forma sencilla hacer que el sistema tenga elevación.

Normalmente una formación de dos antenas no es muy pesada y los rotores comerciales como el G550 o AlfaSpid pueden directamente con ellas. Pero la experiencia de los compañeros de EME, es que hay que evitar la utilización de estos rotores pasando el travesaño principal de la estructura a través de ellos. La razón es que si se avería el rotor, hay que desmontar la estructura por completo y esto es una puñeta considerable.

Por esta razón siempre hay que instalar un sistema de cojinetes, bisagra o casquillos de teflón sobre los cuales gira la estructura, y hacer mover esta estructura con un sistema diferido. El más utilizado son los brazos mecánicos que utilizan las parábolas, que están basados en un tornillo sinfín movido por un pequeño motor, como se puede ver en la FOTO 2. También se puede utilizar un G550 o AlfaSpid que mueva en diferido el sistema mediante un sistema de coronas/cadenas FOTO 3, o de bielas FOTO 4.



FOTO 2.- ELEVACIÓN MEDIANTE ACTUADOR DE PARABÓLICA DE PA5MS

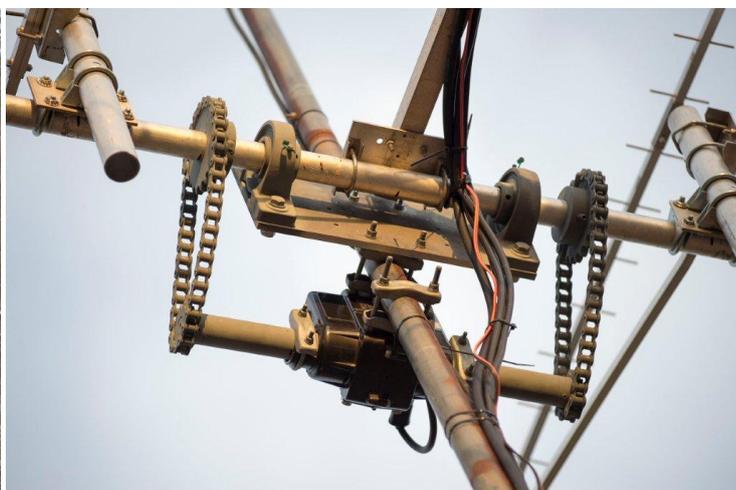


FOTO 3.- ELEVACIÓN MEDIANTE CORONAS Y CADENAS DE EA5DF



FOTO 4.- SISTEMA DE ELAVACIÓN DIFERIDO POR BIELAS DE EA4CYQ

Para saber el ángulo de elevación al cual se encuentran las antenas se suelen utilizar alguno de los siguientes sistemas:

- La indicación del propio rotor, en el caso del Yaesu y AlfaSpid.
- Mediante un sistema de péndulo, que mueve un potenciómetro que nos indica mediante un divisor de tensión la posición.
- Un sistema de acelerómetro, encoder o similar. Últimamente la tecnología lo permite, pueden enviar información al cuarto de radio, en algunos casos hasta por wifi. Suelen ser bastante exactos.
- Mediante una cámara de video que veremos en un pequeño monitor, no nos indicará la elevación, pero sí que tenemos la Luna en el centro de la pantalla. Este sistema no será útil los días de nubes o Luna nueva.

Elegiremos nuestro sistema según nuestras necesidades y posibilidades. Para EME no es necesario un sistema de seguimiento automático, pues la Luna se mueve tan despacio que con corregir la orientación cada 5 grados o 10 minutos será suficiente, para el sistema que estamos tratando.

La distancia de enfase ya la tenemos clara y que la estructura debe permitir la elevación y girar sobre cojinetes o similar, moviéndose en diferido, también.

### **3.3.- COMO ENFASAR LAS ANTENAS ELÉCTRICAMENTE**

Al igual que la parte mecánica es importante, la eléctrica es fundamental. Una línea de enfase tiene dos misiones, adaptar las impedancias y sumar las señales. Por esto los tres siguientes apartados son axiomas inviolables:

A) Sea cual sea el método que utilicemos el IMPRESCINDIBLE que las dos líneas de enfase sean EXACATAMENTE iguales, pues lo que se pretende es que la señal de cada una de nuestras antenas se encuentren con la misma fase en el punto de conexión a la bajada, para que la suma sea perfecta. Si difiere aunque sean milímetros ya no se sumarán dos señales exactamente iguales en fase y perderemos ganancia.

B) Otra cuestión importante de las líneas de enfase, es que se encuentran entre la antena y el LNA, esto quiere decir que esta línea atenuará la débil señal que reciben nuestras antenas, y esto no nos lo podemos permitir. Por lo tanto las líneas de enfase han de ser del mejor cable QUE NOS PODAMOS PERMITIR y lo mas cortas posibles.

C) Las líneas de enfase han de soportar la potencia que circula por ellas. En EME se trabaja con potencias relevantes y nunca hay que obviar este dato.

Para llevar a cabo el enfase eléctrico de dos antenas, ponemos encontrar dos métodos:

#### **METODO 1:**

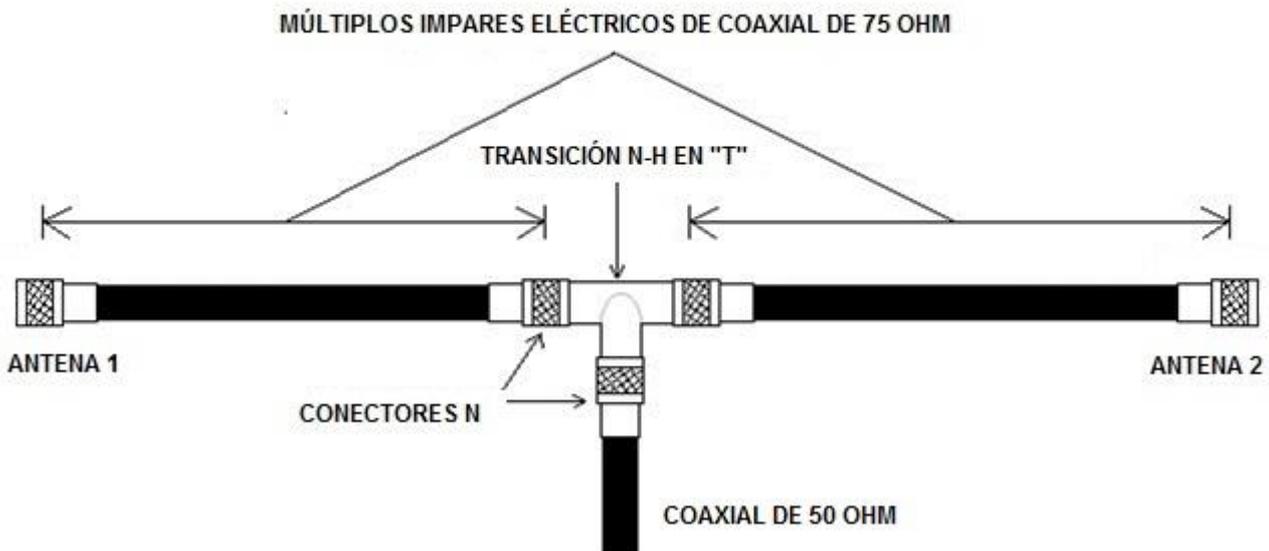
Para comunicaciones terrestres el sistema clásico de enfase utilizado, es dos coaxiales de 75 Ohm de una longitud igual a múltiplos impares de cuarto de onda eléctricos, o sea:

Longitud cable de 75 Ohm (en metros): múltiplos impares de  $[\frac{300}{f} \text{ (MHz)}] / 4 \times FV$

FV: Factor de velocidad del cable, dato que da el fabricante.

Este método lo podremos utilizar, y de hecho se utiliza en algunas expediciones, siempre que el cable que dispongamos sea de excelente calidad. FOTO 5

# LINEAS DE ENFASE PARA DOS ANTENAS DE 50 OHM



## METODO 2:

Este es el sistema mas utilizado, es con un splitter de potencia. Este sistema nos permite que todas las líneas de enfase sean de 50 Ohm, pero tenemos que seguir respetando los axiomas A), B) y C). Las líneas de enfase tendrán la única misión de sumar las señales y el splitter de adaptar las impedancias.

En este caso sería imprescindible y suficiente, con que las dos líneas fueran exactamente iguales en longitud, y cualquier longitud sería buena. PERO se aconseja utilizar la longitud que se obtiene de la siguiente fórmula:

Longitud del cable de 50 Ohm (en metros): múltiplos de  $[\frac{300}{f \text{ (MHz)}}] / 2 \times FV$

FV: Factor de velocidad del cable, dato que da el fabricante.

O sea, dos coaxiales de 50 Ohm de una longitud igual a múltiplos de media onda eléctrico. La razón es que la media onda tiene la singularidad de que a la salida REPLICA la impedancia que se encuentra a la entrada.

Si nuestra antena es de 50 Ohm exacta, en cualquier longitud del cable nos encontraremos los 50 Ohm y no hará falta la fórmula anterior. Pero la experiencia demuestra que si utilizamos esta fórmula, podremos hacer medidas en la entrada del splitter y los datos obtenidos serán un FIEL REFLEJO de los datos de impedancia en el conector de la antena. Esto nos ayudará a encontrar a futuro posibles averías en nuestro sistema.

En la FOTO 6 y FOTO 7 podemos ver como es un splitter de potencia, los hay mal llamados de  $\frac{1}{4} \lambda$  (cortos) y de  $\frac{1}{2} \lambda$  (largos), digo mal llamados porque los dos se basan en las características de transformación de impedancia de  $\frac{1}{4}$  de onda y realmente se debieran llamar siempre de  $\frac{1}{4} \lambda$ . Funcionan igual y ya es una cuestión mecánica que nos decidamos por una configuración u otra. Hay varias casas comerciales, no existiendo diferencias grandes a nivel de pérdidas que introducen, aunque mecánicamente algunos son mas robustos que otros. Pero si somos manitas nos los podemos hacer, en internet hay calculadoras de los detalles constructivos, según las impedancias que queramos adaptar.

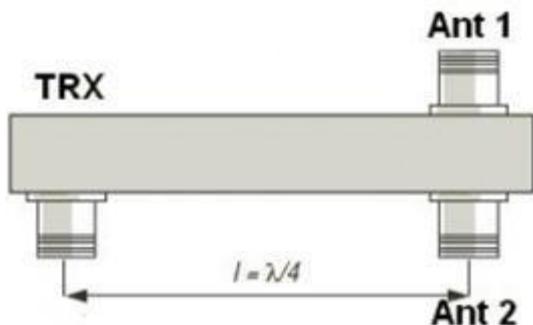


FOTO 6.- SPLITTER DE POTENCIA CORTO

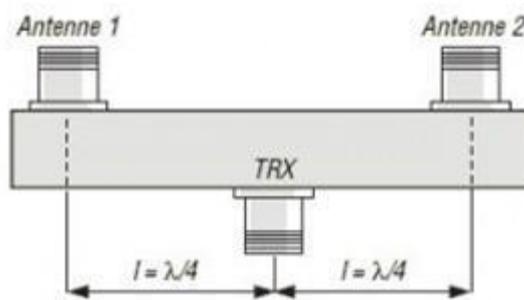


FOTO 7.- SPLITTER DE POTENCIA LARGO

### 3.4.- COMO NO DISTORSIONAR EL LÓBULO DE RADIACIÓN

Una cuestión muy importante es respetar el lóbulo de radiación que diseñó el fabricante o nosotros hemos obtenido en nuestro diseño, es un lóbulo teórico en el espacio libre, sin nada que lo perturbe. En nuestro montaje tenemos que intentar que este lóbulo se vea interferido lo menos posible por cualquier “elemento conductor”. Fijaros bien que he dicho “intentar”, pues en el mundo real tenemos mástiles, travesaños, cables de alimentación, cables coaxiales, etc.

Al principio ya hemos adelantado que en una antena horizontal, cualquier parte metálica que esté en el plano vertical que pasa por el boom de la antena, prácticamente no afectará a su lóbulo, por la sencilla razón de que este plano se encuentra a potencial CERO, y por lo tanto en él no se inducirá ninguna V e I, y por ende no nos afectará.

Por lo tanto no nos afectará:

- Un mástil vertical.
- Una tiranta inferior que refuerce el boom.
- Un cable de acero por encima que nos mantenga el boom horizontal.
- El cable coaxial siempre que vaya pegado al boom (por debajo de este, alejado lo mas posible de los elementos) y que baje por el mástil principal.

Para que nos entendamos, si vemos el lóbulo de radiación de una antena sería algo así como la FOTO 8, y visto desde detrás de la antena hacia los directores sería como la FOTO 9.

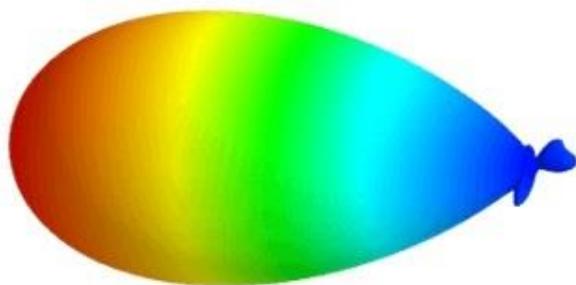


FOTO 8.- LÓBULO DE RADIACIÓN TRIDIMENSIONAL

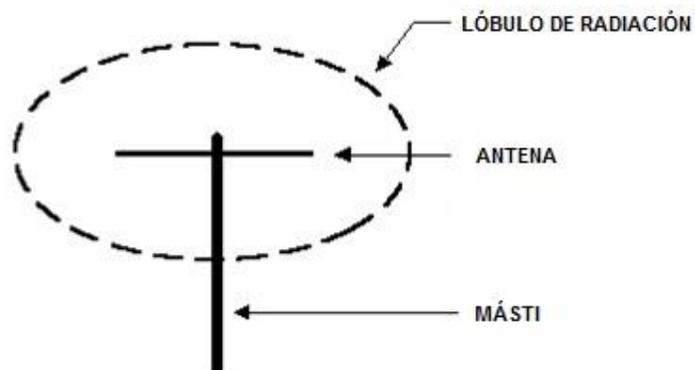


FOTO 9.- AREA DE INFLUENCIA, DEFINIDA POR EL LÓBULO DE RADIACIÓN PRINCIPAL

Como he dicho antes, cualquier elemento metálico afectará al lóbulo de radiación, con menos influencia los que estén contenidos en el plano vertical que pasa por el boom. Pero afectará muy notablemente en el lóbulo de radiación cualquier elemento metálico que no encontrándose en el plano vertical, está dentro de la zona de influencia que define el propio lóbulo de radiación, y que lo podemos ver en la FOTO 9.

Teniendo esto claro y que nos vemos obligados a instalar una antena al lado de la otra, para mecánicamente poder elevarla, solo tenemos dos opciones de que nuestra estructura no afecte irremediablemente al lóbulo de radiación:

### **3.4.1.- TRAVESAÑO PRINCIPAL AISLANTE**

Un ejemplo de este montaje lo podemos ver en las FOTO 10, que son antenas de EME de Antonio EA7IQM.

Como veis la estructura es mínima, reduciendo el peso y la superficie el viento, lo cual es un punto a favor muy importante. A cambio el travesañó aislante tiene que ser muy robusto para soportar dos yaguis de 7 metros de boom separadas 3.5 metros, y hay que instalar un larguero centrado y paralelo a los booms, por donde llevar los coaxiales, que han de salir por detrás de las antenas.

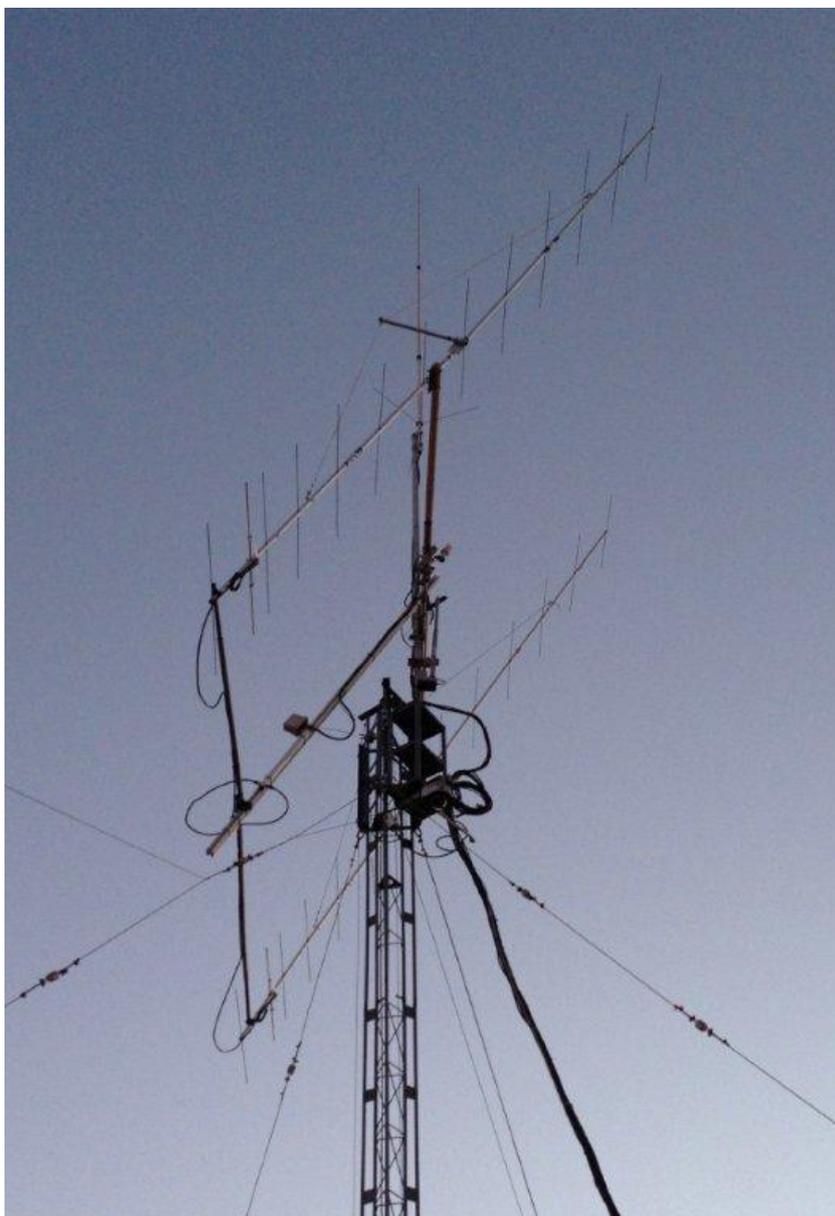


FOTO 10.- TRAVESAÑO AISLANTE Y COAXIAL POR DETRÁS DE EA7IQM

### **3.4.2.- ESTRUCTURA EN FORMA DE “U”**

Este es el montaje mas utilizado, porque tubos metálicos redondos o cuadrados son más fáciles de conseguir que los aislados. Como veis se trata de una estructura tipo “H” donde la parte inferior se ha eliminado. Normalmente tiene dos travesaños horizontales para darle robustez, como se puede ver en la FOTO 12 del sistema radiante de EA7HLB.

En este tipo de montaje se suele cometer uno de los siguientes errores, que interferirían en el lóbulo de radiación:

- No instalar el travesaño superior aislante (que hace de refuerzo de la estructura).
- No darle suficiente longitud a la parte vertical de la “U”, para separar la antena del travesaño metálico.

La distancia desde la antena al travesaño metálico mas cercano debería de ser como mínimo *la mitad de la distancia de enfase en el plano vertical*, que en la tabla de VE7BQH viene definido por la columna “H”, en metros.

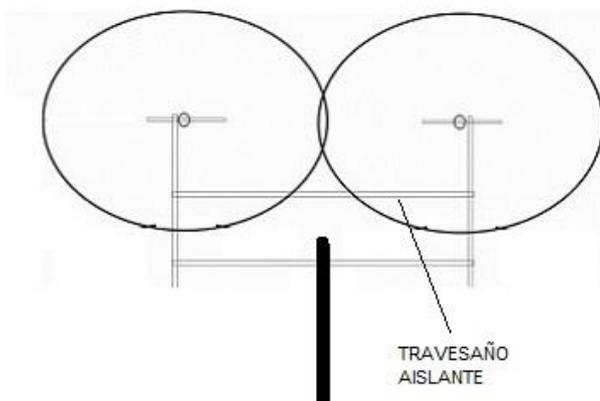


FOTO 11.- ESTRUCTURA TIPO “U”



FOTO 12.- ESTRUCTURA TIPO “U” DE EA7HLB

## **4.- INSTALACIÓN ENTRE EL SPLITTER DE POTENCIA Y LA EMISORA**

Se podrían establecer diferentes variantes, pero como este artículo pretende aclararos las ideas y no desanimaros, os voy a proponer solo una opción, que la podemos ver en el ESQUEMA 1. Ninguna de las partes aquí relacionadas las podremos evitar para hacer un comunicado vía Rebote Lunar.

Este esquema os resultará familiar, pues el que ya utilizáis en las comunicaciones terrestres, y no es mas que un LNA con sus relés de aislamiento y un amplificador. Pero como en EME parte de las pérdidas del camino hay que compensarla con potencia por ambas estaciones que pretenden hacer un contacto, tendremos que elegir bien estos componentes.

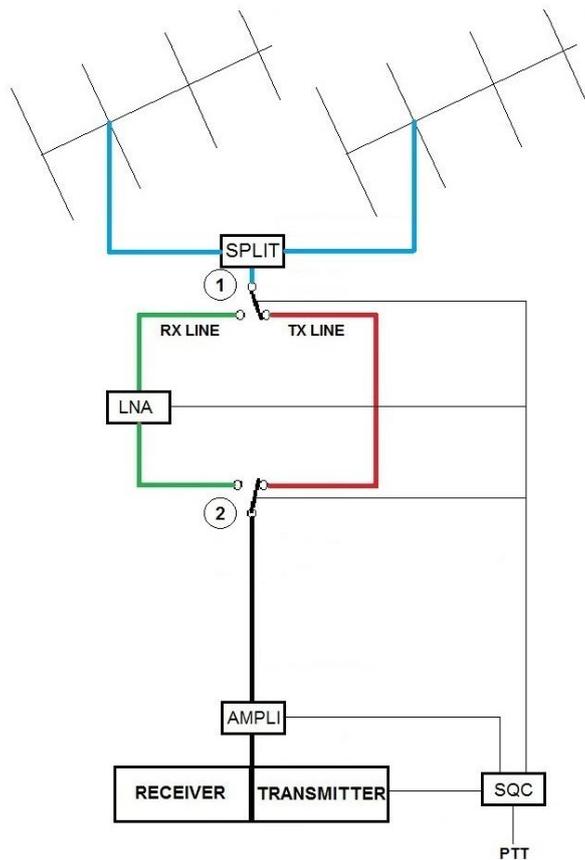
Para el amplificador, yo os recomendaría entre 500W y 1kW, la tecnología actual nos permite elegir entre válvulas, transistores o MOSFET, todos dan buenos resultados.

Para eliminar las pérdidas entre el splitter de potencia y el receptor es imprescindible un LNA (Low Noise Amplifier). Para estas potencias, existen algunos LNAs con relés comerciales. Mi recomendación es no comprar el conjunto, sino hacerlo nosotros, comprando un LNA sin relés, que los hay de prestigio reconocido Khune, SSB Electronic, F1OPA, etc. e instalar dos relés de alto aislamiento tipo Toitsu CZX3500, que dan mas confianza que los que traen

los conjuntos comerciales. La ventaja de montarlo vosotros, es que si se avería el LNA o alguno de los relés, solo tendréis que sustituir la pieza deteriorada, y no todo el conjunto.

Por último y tampoco lo podremos evitar al trabajar con grandes potencias, la instalación de un “Secuenciador”, que nos va a permitir establecer tiempos en los pasos transitorios de recepción a transmisión y viceversa, entre la emisora, amplificador y LNA. Existen varios secuenciadores comerciales, incluso algunos fabricados en España que os darán buenos resultados.

Ni que decir tiene, que los conectores y coaxiales han de ser todos de excelente calidad, yo os recomendaría ECOFLEX-15 para el paso del rotor, y para las líneas de enfase y bajada cable de 1/2”, los latiguillos mínimo LMR400.



**ESQUEMA - 1**

Con este artículo se ha pretendido establecer unos mínimos constructivos en el montaje de dos antenas a instalar en un sistema de elevación, para que el montaje tenga la suficiente calidad y pueda ser utilizado en EME con ciertas garantías.

Espero haber cumplido las expectativas y si ya disponéis de un sistema radiante de satélites estaréis familiarizados con los sistemas de elevación, y si tenéis una instalación para comunicaciones terrestres con una yagui, ya tenéis ideas para poder hacer las modificaciones oportunas y abarcar otra faceta más de las comunicaciones de VHF y superiores, que os dará muchas satisfacciones.

Juan Antonio  
EA4CYQ

Este artículo ha sido publicado en la revista “Unión de Radioaficionados Españoles” del mes de Diciembre de 2017