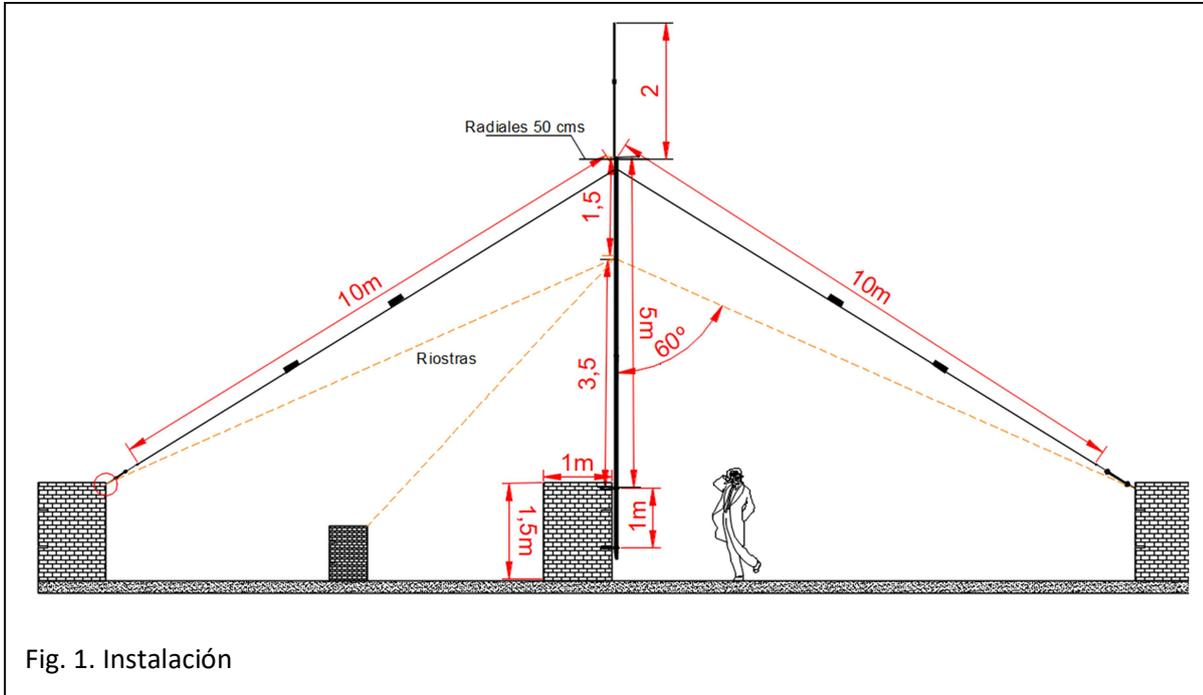


Cálculos para Memoria Técnica

Mástil con dipolo y bibanda en su extremo superior

Diego Doncel, EA1CN
doctorohmio@gmail.com



Introducción

La memoria técnica que se propone a continuación tiene como objetivo explicar con cierto detalle cómo se realizan los cálculos para un sistema ejemplo que puede ser orientativo a lo que un radioaficionado desee montar. Se pretende que la explicación de los cálculos sea suficientemente detallada para que, con un poco de atención, puedan comprenderse y adaptarse a una instalación similar. Muchos de nosotros usamos parte de nuestro tiempo leyendo artículos sobre antenas, modos de transmisión, propagación e, incluso, las instrucciones del propio equipo que, a veces es un cúmulo de menús y datos que, a buen seguro, hacen perder la paciencia a más de uno; pero todo ello forma parte del hobby y de la dedicación que cada uno le quiera aportar. Cuando se trata de ponerse delante de unos cálculos para determinar un montaje seguro y hacer la memoria de ampliación de la estación nos cuesta trabajo porque los conceptos no son habituales en nuestro día a día. Normal.

En este caso y, centrándonos en la obtención de la Licencia de Estación de Aficionado que todos debemos tener (para nuestra estación fija, de haberla), según el Reglamento, sabemos que, para solicitarla o modificar la instalación, hay que presentar la correspondiente Memoria Técnica, es por ello que se pretende hacer un desarrollo del ejemplo con suficiente detalle para aprender a hacer estos cálculos. En dicha Memoria Técnica hay que incluir varios planos que se especifican en el Reglamento. Aquí se da una idea, únicamente, del plano de alzado de la antena.

Descripción de la instalación

Se pretende instalar un mástil de 6 metros en cuyo extremo se instalará una antena dipolo en situación de V invertida y una antena bibanda V/UHF. Suponemos al mástil sujeto a paramento vertical entre dos sujeciones separadas entre sí 1 metro. Dicho mástil, como se verá, va a ser arriostrado con un conjunto de 3 riostras, separadas entre sus bases de sujeción unos 120°. Las riostras estarán sujetas al mástil en una distancia de 1,5 m por debajo del extremo superior del mismo, la idea es que, al ser de acero, influyan lo menos posible al diagrama de radiación del dipolo, lo que se resolvería, en parte, con aisladores intermedios o bien utilizando las conocidas cuerdas Dyneema. El mástil estará soportado por sendos soportes en "L", de 20 cms. de longitud, atornillados al muro portante con tornillos expansivos de 10 mm y taco químico HILTI. Para la instalación se utilizarán dos mástiles unidos (carraqueados) de 3 metros de longitud. En total 6 metros muy aproximadamente, de los que 5 metros son voladizos. Ver fig.1

Componentes de la instalación:

- Antena vertical, tipo Colineal, de 2 m longitud 0,02 m diámetro en el vertical.
- Radiales: 3 radiales de 0,5 metros cada uno y 5 mm de diámetro. Peso aproximado: 5 kg
- Antena dipolo de 20 m, 3 mm de diámetro y 3 kg de peso.
- Mástil de 3000 x 45 x 2 mm, tipo Televés 3010 o similar. Acero galvanizado.

CÁLCULO DE LA PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO.

La presión dinámica del viento viene dada por la expresión:

$$P_v = \frac{\delta v^2}{2} \text{ N/m}^2$$

Donde:

P_v es la presión del viento

δ = densidad media del aire: 1,225 kg/m³

v = velocidad del viento m/s.

Para 150 km/h, v = 41,66 m/seg

Sustituyendo en la expresión,

$$P_v = 1060 \text{ N/m}^2$$

Se utilizará un coeficiente eólico de 0,7 y una componente de seguridad en el momento flector del 50%

Nota: el coeficiente eólico se utiliza para compensar que las superficies no son totalmente planas.

En la figura 1 se ve el plano de la instalación en alzado con sus cotas. En él se ven riostras dibujadas a 1,5 metros del extremo superior del mástil.

Cálculos:

¿Qué objetivo tienen los cálculos que debemos hacer? Fundamentalmente son los siguientes:

- Justificar que el mástil soporta el momento flector provocado por las antenas en el punto de sujeción de las riostras, si las hubiere, como este caso
- Calcular el diámetro de las riostras que se han de instalar
- Justificar que el soporte del mástil soporta el peso y esfuerzo de la instalación
- Justificar que la sujeción de las riostras son las adecuadas.

Para ello tenemos que conocer las siguientes variables, sencillas de calcular:

- Superficies de las antenas, conociendo cuáles son y
- Superficie del mástil, sabiendo cuál escogemos en principio.

Nota: en el caso de la antena bibanda, consideremos 2 radiales expuestos al viento, que estén los tres es prácticamente improbable.

Superficie de las antenas y pesos.

- Superficie de la antena bibanda vertical: 2 m x 0,02 m = 0,04 m² y 5 kg en total
- Superficie de los radiales de la antena: 2 x 0,5 m x 0,005 m = 0,005 m²
- Superficie de la antena dipolo: 20 m x 0,003 m = 0,06 m² y 3 kg

Superficie del mástil

Superficie del mástil: 0,045 m x 5 m = 0,225 m² y 12 kg de peso (los dos)

Presión del viento en las antenas:

Hay que tener en cuenta dos consideraciones, una es que el mástil y la parte vertical de la antena son cargas distribuidas y se tratan como una fuerza que se aplica en su centro, por otro lado, las superficies horizontales (radiales y antena dipolo) se comportan como cargas puntuales.

Para la antena bibanda vertical:

$Q_{av} = \text{Superficie} \times P_{\text{viento}} \times C_e$, esto es:

$$Q_{av} = 2 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 29,7 \text{ N}$$

Ahora los 2 radiales que intervienen se comportan como una carga puntual y su carga al viento será igual a su superficie (los tres juntos) multiplicados por la presión del viento y por el coeficiente eólico, es decir:

$$P_{\text{rad}} = 2 \times 0,5 \text{ m} \times 0,005 \text{ m} \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 3,7 \text{ N}$$

Para la antena dipolo:

Supondremos que tiene un grosor de 3 mm y despreciamos el balun. Así pues:

$P_d = \text{longitud} \times \text{grosor} \times P_{\text{viento}} \times \text{Coeficiente eólico}$

$$P_d = 20 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 44,5 \text{ N}$$

La suma de estas fuerzas incide sobre el mástil en su extremo superior: $5,5 \text{ N} + 44,5 \text{ N} = 50 \text{ N}$

Para el mástil:

Superficie del mástil en voladizo, es decir, su longitud por su grosor.

$$S_m = 0,045 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 0,225 \text{ m}^2$$

Al igual que antes, será igual a la superficie por la presión del viento y por el coeficiente eólico y, como es una carga distribuida, la representaremos en función de su longitud.

$$Q_M = 0,225 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 167 \text{ N} \quad (33,4 \text{ N/m})$$

Cálculo de las riostras

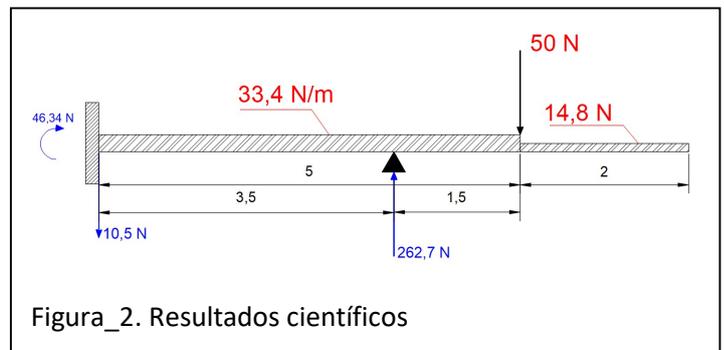
El cálculo de las riostras del mástil tiene como objetivo calcular la tensión a que se va a someter a una sola riostra, como si ella sola soportara el esfuerzo total del sistema ante la presión del viento supuesta en el principio. Esa tensión de la riostra es el esfuerzo que debe compensar el momento que se produce en la base del mástil. Para calcular dicho esfuerzo se pueden utilizar programas complejos o páginas web donde,

introduciendo ciertos datos, se calculan estos esfuerzos. O también realizando cálculos en cierto modo complejos que están, generalmente, lejos del alcance de los radioaficionados. En definitiva lo que se propone aquí es un sistema que, de forma relativamente sencilla podamos calcular ese esfuerzo que se nos solicita utilizando razonamientos básicos y sencillos, si bien no lo serán precisos y científicos, sí nos darán una respuesta suficientemente fiable para que el montaje se comporte con seguridad. Se han comparado los resultados en ambos procedimientos y no se alejan mucho uno de otro. Por tanto, vamos a adoptar un procedimiento básico y sencillo. Un cálculo, utilizando una página web dedicada a estos temas, donde introducimos estos valores, nos ofrece lo siguiente, señalado en azul, (figura_2).

¿Qué variables tenemos que preparar (calcular) para obtener los resultados previstos?

Tenemos que calcular el momento flector a que está sometido todo el sistema sin las riostras instaladas.

Posteriormente determinaremos cómo han de ser las riostras que compensen ese momento que, se supone, el mástil no soporta.



Momento flector en la base del mástil

Será la suma de los productos de cada fuerza existente por la distancia al punto de sujeción superior del mástil. Ver fig.2.

$M_f = MF \text{ antena bibanda (vertical)} + MF \text{ antena dipolo y radiales} + MF \text{ mástil}$

$MF = 29,7 \text{ N} \times 6 \text{ m} + 48,2 \text{ N} \times 5 \text{ m} + 33,4 \text{ N/m} \times 5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 836,7 \text{ Nm}$

Vemos que es un momento superior al que aguanta dicho mástil, es por eso que pondremos un juego de riostras.

Si el juego de riostras lo situamos a 3,5 metros del soporte superior del mástil, como se ve en la figura-2, deberá ejercer un esfuerzo que compense, como mínimo el momento flector en la base del mástil. Esto es, el producto de la reacción por su distancia al soporte deberá ser, como mínimo, superior al momento que se produce sin riostras, para estar más seguro:

$\text{Reacción} > 836,7 \text{ Nm} / 3,5 \text{ m} \geq 240 \text{ N}$, añadimos un 10% de seguridad

sobre ello y tomaríamos $240 \text{ N} + 24 \text{ N} = 264 \text{ N}$ (27 kg)

(Próximo al valor obtenido científicamente).

Tensión de la riostra única

Supondremos que una sola riostra soportará todo el esfuerzo de la presión del viento, que no es lo normal pero eso nos da la seguridad

de que el reparto entre las tres riostras será en beneficio de la seguridad total de la instalación.

Si las riostras forman, por ejemplo, un ángulo de 60° con la vertical del mástil habrá que tener en cuenta el seno del ángulo que forma. Ver figura-3

Tensión de la riostra única será:

$27 \text{ Kg} / \text{sen } 60^\circ = 31,4 \text{ kg}$

Si suponemos un pretensado de un 10% de la carga de rotura del cable, que es, aproximadamente, 200 kp, nos dará 20 kg. (Recomendación del fabricante), por lo tanto, la tensión en la riostra sería: $31,4 \text{ kg} + 20 \text{ kg} = 51,4 \text{ kg}$.

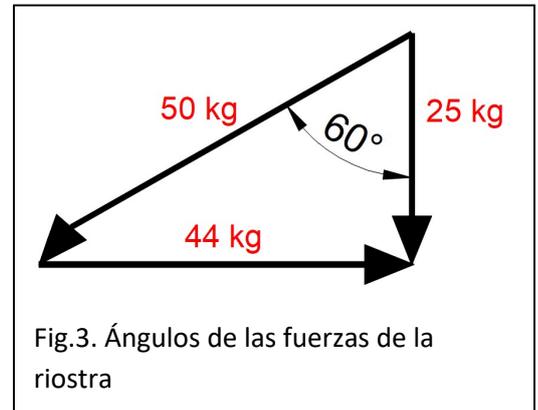


Fig.3. Ángulos de las fuerzas de la riostra

CABLES TELEVES				
Diametro mm	Sección mm ²	Hilos	Carga rotura (Kp)	Carga rot (Kp/mm ²)
2	3,14	7x0,6	200	63,69
4	12,57	7x1,3	1100	87,51
5	19,63	7x1,6	1800	91,7
6	28,27	7x2,0	3000	106,12
NO TELEVES				
3			784	

Si quisiéramos afinar el cálculo de la riostra, conociendo el valor de la carga de rotura del cable de, por ejemplo, 200 Kg, que es unos 63 kg/mm^2 , por una relación de valores la riostra tendría una sección de:

$51,4 \text{ kg} / 63 \text{ kg/mm}^2 = 0,8 \text{ mm}^2$ que nos lleva a un diámetro (por la superficie del círculo) de 1 mm, pero por confianza y más seguridad, pondríamos el valor de 2 mm de diámetro. Según tablas del fabricante, hasta 200 kg se estaría adecuado un cable de 2 mm (carga < 200 kg).

Vemos ahora que esta tensión de riostra provocará una componente horizontal y otra vertical, ambas las necesitamos para conocer las sollicitaciones a que va a estar sometida la sujeción de las mismas.

$C_v = 51,4 \text{ kg} \times \text{cos } 60^\circ \approx 25 \text{ kg}$

$C_h = 51,4 \text{ kg} \times \text{sen } 60^\circ \approx 44 \text{ kg}$

Veamos ahora que la componente vertical son 25 kg que habrán de sumarse al peso de las antenas y del mástil en el soporte superior de sujeción.

Momento del mástil en el punto de sujeción de las riostras:

Tenemos que conocer si el mástil en este punto cumple con sus condiciones, para ello calcularemos el momento flector del mástil en ese punto, ver la figura-2

$M_m = \text{Antena vertical} + \text{dipolo} + \text{radiales} + \text{mástil en voladizo ahora}$

$M_m = 29,7 \text{ N} (1 \text{ m} + 1,5\text{m}) + 50 \text{ N} \times 1,5 \text{ m} + 33,4 \text{ N/m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} \approx 187 \text{ Nm}$

Con un margen de seguridad del 50% nos daría: $187 \text{ N} \times 1,5 \approx 280 \text{ N}$, luego **CUMPLE**.

Determinación de los soportes

Veamos la fuerza en vertical y en horizontal que produce la riostra única.

La componente vertical de la riostra única sería:

$C_v = 51,4 \times \cos 60^\circ \approx 25 \text{ kg}$

La componente horizontal de la riostra única sería:

$C_h = 51,4 \times \sin 60^\circ \approx 44 \text{ kg}$

Así pues, si los soportes del mástil están formados por garras de muro en "L" de 20 cms de longitud, el momento flector que se provoca en el superior será:

Momento: (peso del mástil + peso de las antenas + componente vertical de la riostra) x longitud del soporte.

Momento = $(5 \text{ kg} + 12 \text{ kg} + 3 \text{ kg} + 25 \text{ kg}) \times 0,2 \text{ m} = 45 \text{ Kg} \times 0,2 \text{ m} = 9 \text{ kgm}$

Momento que soporta una garra de muro tipo 2401 de Televés (por ejemplo) sujeta al paramento vertical con cuatro tornillos expansivos de 10 mm y taco químico HILTI (ver tabla).

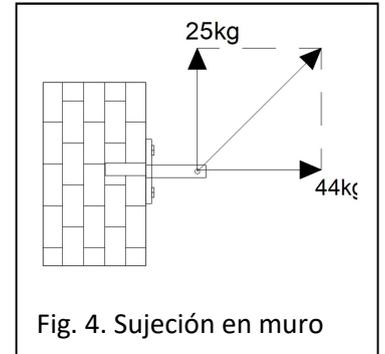


Fig. 4. Sujeción en muro

Soportes de las riostras

Si las riostras están sujetas con garras de muro a un paramento vertical, se pueden utilizar los soportes usados en el mástil, instalados de igual forma, con tornillos expansivos y taco químico HILTI (ver catálogo). Si se instalarán en el suelo, las zapatas

HILTI				
ANCLAJE QUÍMICO		Valores en kN		
		Nrd	Vrd	
LADRILLO HUECO + HIT-HY20	HIT - AN	1,0	1,0	
	HIT - IG	1,0	1,0	
ANCLAJE METÁLICO				
LADRILLO MACIZO	HLC - H	M6	1,0	1,8
HORMIGÓN		M8	1,5	3,2
PIEDRA NATURAL		M10	2,0	5,2
ANCLAJE METÁLICO DE SEGURIDAD				
HORMIGÓN	HSL-3 --> M12 X 97 mm		11,1	17,8

deberán ser de dimensiones 85x85x70 cm. Ver las orientaciones en el catálogo "Torres" de Televés.

Observaciones:

Se pueden poner las riostras justo en la cúspide del mástil, de esta manera parte de los cálculos serán más sencillos. Afectarán al diagrama de radiación del radial, por eso a veces se ponen riostras de cuerdas Dyneema o bien aisladores intermedios en las riostras que han de ser situados y conectados con seguridad.

Cuerdas Mastrant Premium - Dyneema			
Producto	Diámetro	Fuerza daN ≈ Kg	Carga Trabajo daN ≈ Kg
M 2	2,2	220	30
M 3	3,2	390	117
M 4	3,9	900	270
M 5	5,2	1200	360

Aquí no se han detallado la relación de materiales necesarios; en los catálogos diversos pueden encontrarse accesorios para colocar las riostras en el mástil, argollas de empotrar, etc. La sujeción de las riostras al suelo es mucho más importante de lo que se piensa.

Las longitudes de las riostras, es decir, la cantidad de cable o cuerda que hará falta es fácil de calcular por el teorema de Pitágoras, dependiendo de las distancias que separan cada punto de anclaje de riostras hasta la base del mástil.

Si se ponen riostras de más diámetro, hay que tener en cuenta la fuerza con la que se tensan y la presión que hacen sobre la base del mástil.

Se han realizado los cálculos con las suficientes tolerancias para que sean más fiables que los que se obtienen teóricamente.

Agradecimientos y bibliografía:

Luis Ignacio, EA4DTP

Mecánica Aplicada, Ramiro A.

<p><u>Nota Importante:</u> No me hago responsable del uso de esta información. Estos cálculos son únicamente informativos, no son válidos para ser considerados oficiales, ni profesionales, ni de otra índole. Diego, EA1CN.</p>
--

Preparación de la memoria Técnica.

En el artículo dedicado a este tema en la revista "Radioaficionados" Noviembre 2023, se explica todo lo referente a la preparación de la memoria, referente a planos, dibujos y forma de presentarla.

A continuación, mi opinión de cómo deben expresarse estos cálculos para la Memoria.

Cálculos del sistema de antena

Cálculos para la antena.

$$Q_{av} = 29,7 \text{ N} \quad P_{radiales} = 3,7 \text{ N}$$

Superficie del mástil en voladizo: $S_m = 0,225 \text{ m}^2$

$$Q_M = 167 \text{ N} \text{ (33,4 N/m)}$$

Carga del viento en la antena dipolo: $Q_d = 44,5 \text{ N}$

Reacción en la sujeción de las riostras:

$$R = 264 \text{ N} \text{ (27 kg)}$$

Ángulo que forma la riostra con el mástil: 60° .

Tensión de una única riostra con pretensado de 20 kg = 51,4 kg

Suponiendo una carga de rotura de unos 130 kg/mm^2 :

$$\text{Secc_riostra} = 130 \text{ kg} / 130 \text{ kg/mm}^2 = 1 \text{ mm}^2 \text{ y el diámetro será unos } 1,1 \text{ mm}$$

Se pondrán de 2 mm de diámetro, por valor aproximado.

Componente vertical sobre el propio mástil: $51,4 \text{ kg} \times \cos 60^\circ = 25 \text{ kg}$

Momento en el punto de sujeción de las riostras:

$M_m = 187 \text{ Nm}$. Con un margen de seguridad del 50% nos daría: 280 N, luego

CUMPLE.

Peso sobre los soportes:

- Peso de las antenas: 8 kg
- Peso de los dos mástiles: 12 kg
- Fuerza de las riostras en vertical: 25 kg
- Peso total: $\approx 45 \text{ kg}$

Momento que es soportado perfectamente por una garra de muro tipo 2401 de Televés sujeta al paramento vertical con cuatro tornillos expansivos de 10 mm y taco químico HILTI.