

# Cálculos para Memoria Técnica

## Antena dipolo entre dos mástiles. Explicación paso a paso.

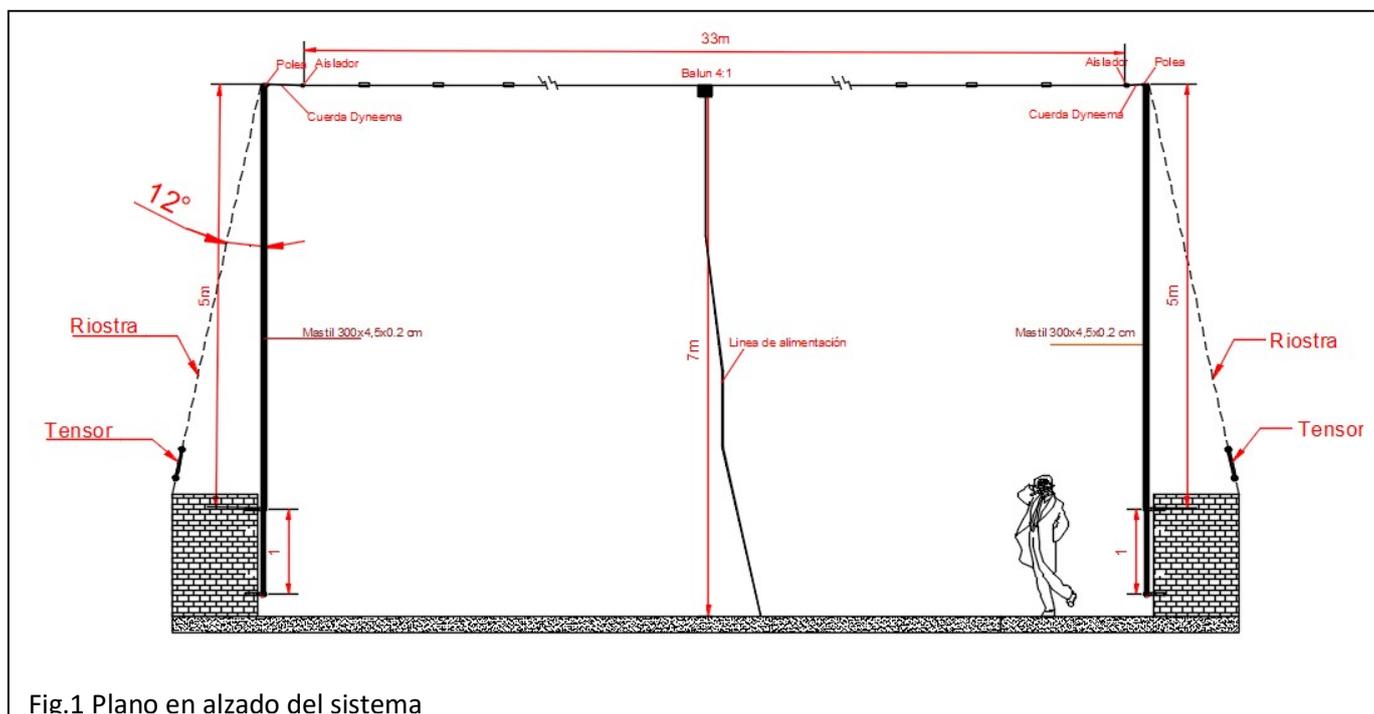
Diego Doncel, EA1CN

doctorohmio@gmail.com

En esta parte voy a desarrollar cómo sería el cálculo para una instalación de una antena tipo dipolo entre dos mástiles de unos 6 metros cada uno, arriostrados para soportar el esfuerzo que ofrece la tensión dinámica sobre el dipolo.

### Descripción del sistema de antena

Se trata de una antena dipolo multibanda de una longitud de 33 metros, constituida por cable de acero de 2 mm y un peso de 2,2 kg. Cada extremo de dicha antena estará soportado por un mástil de 5 m de altura en voladizo y sujeto a respectivos paramentos verticales. Los mástiles llevarán una riostra para asegurar el esfuerzo de la presión del viento y del peso en el dipolo con las poleas que están sujetas en los extremos superiores de los mástiles. También disponen de una cuerda especial para extender, tensar y proceder al mantenimiento de dicho dipolo con una polea en cada extremo del mástil. Los mástiles están sujetos, respectivamente, por dos soportes separados entre sí 1 m y, a su vez, sujetos a los paramentos verticales con garras de muro que se explicarán más adelante junto con los datos de cada material para los cálculos.



### Datos de partida.

Hay dos tipos de cargas en el sistema: Las cargas distribuidas, como son las antenas verticales y los mástiles y torretas. En este caso, al considerar el momento flector, se supone que la fuerza está aplicada en el centro de la longitud que tiene. Las cargas puntuales son las horizontales, como antenas yagi en horizontal, dipolos, radiales de las antenas y rotores.

El objetivo de los cálculos es el siguiente:

- Justificar que cada mástil soporta el momento flector provocado por la antena
- Calcular el diámetro de cada riostra que se han de instalar y su altura.
- Justificar que el soporte del mástil soporta el peso que provoca en él
- Justificar que la sujeción de las riostras son las adecuadas.

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

- Superficie de la antena
- Superficie del mástil
- Peso de la antena
- Peso del mástil.

Los datos necesarios para realizar los cálculos serían los siguientes:

- Velocidad del viento: 150 km/h
- Presión del viento a 150 km/h:  $1060 \text{ N/m}^2$  (para una densidad del aire de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ )
- Coeficiente eólico para superficies cilíndricas:  $C_x = 0,7$
- Mástiles a utilizar: 3000x45x2mm acero galvanizado.

Con estos datos, podemos calcular las superficies expuestas al viento:

#### Antena

Superficie de la antena:  $33 \text{ m} \times 0,002 \text{ m} = 0,066 \text{ m}^2$ ; Peso: 2,2 kg

#### Mástil

Mástiles de dimensiones 3000x45x2 mm acero galvanizado, tipo 3010 de Televés.

Superficie del mástil:  $5 \text{ m} \times 0,045 \text{ m} = 0,225 \text{ m}^2$  es decir,  $0,045 \text{ m}^2/\text{m}$ . Peso: 10 kg

#### Riostra

Ángulo aproximado supuesto que forma la riostra con el muro que las soporta:  $12^\circ$

El ángulo que forma la riostra con el vertical se calcula, aproximadamente, por el teorema de Pitágoras, midiendo la distancia de su punto de sujeción al mástil y la altura en perpendicular desde ella hasta la cúspide del mástil y luego por la cotangente del cociente que se obtiene.

#### Carga al viento de los elementos

La carga al viento será: superficie x presión del viento x coeficiente eólico.

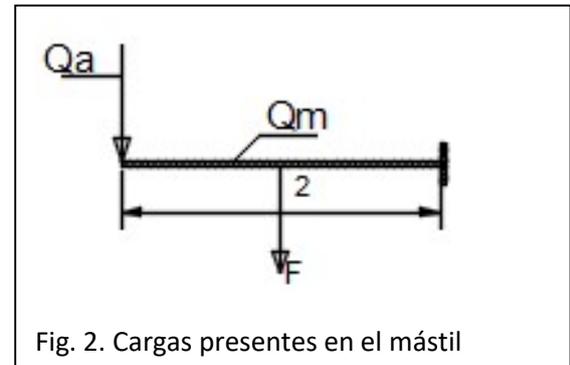
Un esquema de las cargas puede verse en la figura-2.

#### Antena

La superficie del dipolo será su longitud por su grosor. La superficie del balun no la tenemos en cuenta.

La carga al viento  $Q_{vd}$  de la antena dipolo, de 33 m y 2 mm de grosor será:

$$Q_{vd} = 0,066 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 49 \text{ N} \text{ (24,5 N por cada mástil)}$$



## Mástiles

Como son dos mástiles de 3 m de longitud, con una sujeción en su base de 1 m, tienen un voladizo de 5 metros (6 metros menos 1 m de sujeción). Así pues, la carga al viento será igual a:

Longitud x grosor x presión del viento x  $C_e$ , es decir:

$$Q_{vmástil} = 5 \text{ m} \times 0,045 \text{ m} \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 167 \text{ N}$$

que equivale a unos 33,4 N/m, ya que

es una carga distribuida al ser vertical, por eso se expresa en N/m. Ahora veamos cuál es la reacción en el extremo del mástil. Ver la figura-3 de diagrama de esfuerzos y momentos de una viga empotrada con un apoyo en el extremo, que es el caso semejante a este pero en horizontal.

Supongamos que con la polea que tensa el dipolo ejercemos una fuerza de 100 N (unos 10 Kg), con lo cual en cada mástil nos encontramos con una fuerza añadida en su extremo de:

$$F = 24,5 \text{ N} + 100 \text{ N} = 124,5 \text{ N} \text{ (12,7 kg)}$$

Entonces en el extremo del mástil (A) habrá una fuerza que será:

$$P_R (A) = 124,5 \text{ N} + 3/8 \times 5 \text{ m} \times 33,4 \text{ N/m} = 187,1 \text{ N} \text{ (19 kg)} \text{ (figura-4)}$$

Nota: La expresión que se muestra en la Figura-3 y que establece una reacción de 3/8 es el caso de encontrarse en mástiles con apoyo en su extremo. Se comporta como si fuera una viga empotrada con un apoyo en su extremo. Es el único caso en que se simplifican los esfuerzos en la viga (mástil en este caso).

## Momento flector en el mástil

Ahora veamos cual es el momento flector que se produce en el soporte más superior de cada mástil. Será el correspondiente al esfuerzo del dipolo por la longitud del mástil en voladizo, más el que corresponde al propio mástil. En este caso, en el mástil, el punto de aplicación de la fuerza para el momento flector es en el punto medio de su voladizo, o sea, 2,5 m. Así:

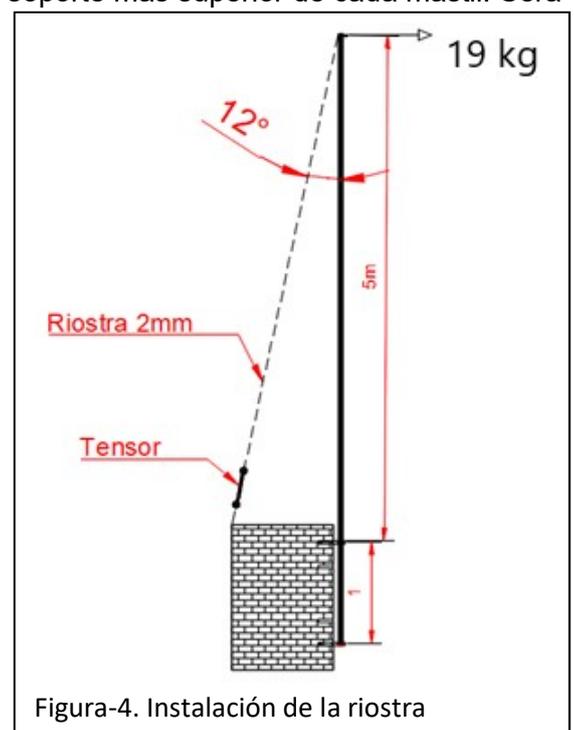
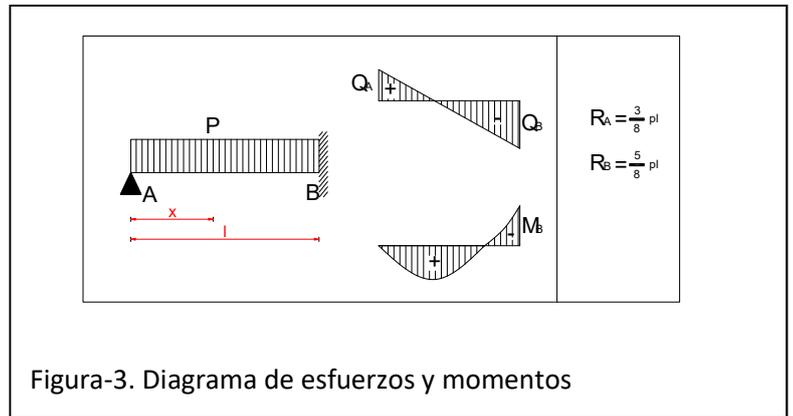
$$M_f = 124,5 \text{ N} \times 5 \text{ m} + 33,4 \text{ N/m} \times 5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 1040 \text{ Nm}$$

Mayor del que soporta este tipo de mástil, por eso pondremos una riostra en cada uno de ellos.

## Tensión que realizará cada riostra.

La fuerza con la que tira el dipolo más el esfuerzo de tensar con la polea es 19 kg como hemos visto, esta será la fuerza horizontal que tendrá que soportar la riostra y aplicando la trigonometría del triángulo que se forma (seno de un ángulo) a través de la riostra en la dirección del soporte se ejerce una fuerza de:

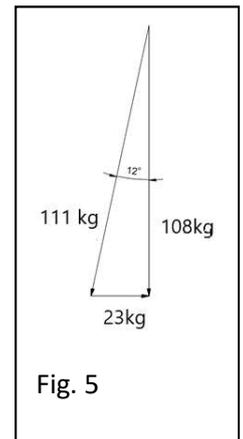
$$TR = 19 \text{ kg} / \text{sen } 12^\circ = 91 \text{ kg}$$



Según los fabricantes de cables de acero en el pretensado del cable se añaden un 10% de tensión de carga de rotura, que, en este caso, supondremos un cable de 2 mm con una carga de rotura de hasta 200 kg (ver tablas). Entonces, añadiremos 20 kg, es decir:

Tensión de riostra: 91 kg + 20 kg = 111 kg (Figura-5)

CABLES TELEVES				
Diametro mm	Sección mm <sup>2</sup>	Hilos	Carga rotura (Kp)	Carga rot (Kp/mm <sup>2</sup> )
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



### Sección de la riostra.

Para cables de acero acero galvanizado (ver catálogos de cables de acero) la riostra, para una carga de hasta 200 kg, podrá ser de un mínimo de 2 mm de diámetro.

### Otra forma de calcular teóricamente la sección de la riostra

Viendo la tabla de los cables, se observa una carga de rotura de 63,69 kg/mm<sup>2</sup>

Así pues, si aplicamos este valor, la sección de la riostra sería:

$TR = 111 \text{ kg} / 63,69 \text{ kg/mm}^2 = 1,74 \text{ mm}^2$  y su diámetro (superficie del círculo): 1,5 mm, es decir, como mínimo, 2 mm.

### Componentes de la riostra:

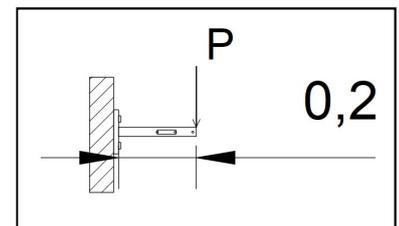
La tensión de la riostra se descompone en dos fuerzas, la horizontal y la vertical, ésta actuará sobre los soportes en el muro portante y las dos al tiempo en el soporte de la riostra.

$C_v$  (componente vertical) = 111 kg x cos 12° = 108,5 kg

$C_h$  (componente horizontal) = 111 kg x sen 12° = 23 kg

A la componente vertical en cada mástil hay que sumar el peso del dipolo (1/2) y el del mástil.

Peso en el soporte superior: 108,5 kg + 1,2 kg + 10 kg = 120 kg (aproximadamente)



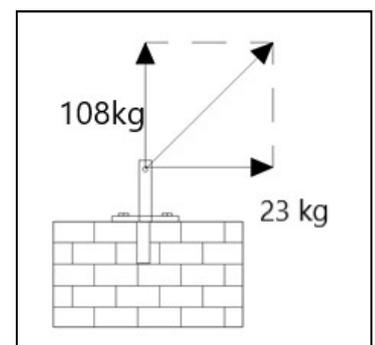
### Momento en el soporte del mástil

Entonces, el soporte, que será de unos 30 cm de longitud, con sujeción a 20 cm, estará sometido a un momento aproximado de:

120 kg x 0,2 m = 24 kgm (unos 234 Nm)

Si este soporte y el inferior, están sujetos al paramento vertical con 4 tornillos expansivos de 10 mm, penetrando 6 cm y taco químico (cada soporte) y revisamos el catálogo de HILTI, veremos que la sujeción es suficientemente segura y robusta (1kN por tornillo).

HILTI				
ANCLAJE QUÍMICO		Valores en kN		
		N <sub>rd</sub>	V <sub>rd</sub>	
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	



## Sujeción de las riostras

Ahora vemos la descomposición de la tensión de la riostra que se manifiesta en cada uno de los soportes que van a sujetarla. Si suponemos que cada uno de los soportes de cada riostra es del mismo tipo que los soportes del mástil, son válidos los mismos e instalados de la misma manera.

### Observación:

Podría ser interesante poner dos riostras en cada mástil, separadas una cierta distancia, por ejemplo, 1 metro (o más), de esta manera queda reforzada la instalación ante viento que sople perpendicular al dipolo.

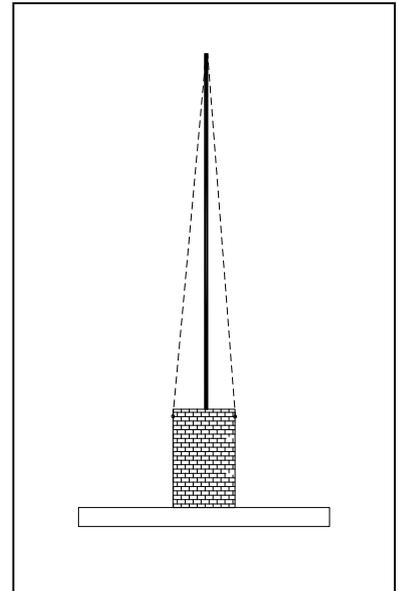
**Nota Importante:** No me hago responsable del uso de esta información. Estos cálculos son únicamente informativos, no son válidos para ser considerados oficiales, ni profesionales, ni de otra índole. Diego, EA1CN.

-----

### Agradecimientos y bibliografía:

EA4DTP, Luis Ignacio

Mecánica Aplicada, Ramiro A.



## **Preparación de la Memoria Técnica.**

Como hemos visto en otros artículos, hay que aportar diversos documentos (Datos del solicitante, descripción del sistema de antena, planos diversos, cálculos o sus resultados, línea de alimentación y relación de materiales.

En lo que sigue, expondré como, a mi juicio se pueden presentar tanto la descripción de la antena como los resultados de los cálculos.

### **Descripción del sistema de antena**

Se trata de una antena dipolo multibanda de una longitud de 33 metros, constituida por cable de acero de 2 mm y un peso de 2,2 kg. Dicha antena estará soportada por dos mástiles de 5 m de altura en voladizo y sujetos a respectivos paramentos verticales. Los mástiles llevarán una riostra para asegurar el esfuerzo de la presión del viento y del peso en el dipolo con las poleas que están sujetas en los extremos superiores de los mástiles. También disponen de una cuerda especial para extender, tensar y proceder al mantenimiento de dicho dipolo con una polea en cada extremo del mástil. Los mástiles están sujetos, respectivamente, por dos soportes separados entre sí 1 m y, a su vez, sujetos a los paramentos verticales con garras de muro que se explicarán más adelante junto con los datos de cada material para los cálculos.

Datos:

- Antena de cable de acero de 2 mm de diámetro y 33 m de longitud, 2,2 kg.
- Velocidad del viento: 150 km/h
- Presión del viento a 150 km/h:  $1060 \text{ N/m}^2$  (para una densidad del aire de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ )
- Coeficiente eólico para superficies cilíndricas:  $C_x = 0,7$
- Mástiles a utilizar: 3000x45x2mm acero galvanizado.

Con estos datos, podemos calcular las superficies expuestas al viento:

#### **Antena**

Superficie de la antena:  $0,066 \text{ m}^2$ ; Peso: 2,2 kg

#### **Mástil**

Superficie del mástil:  $0,225 \text{ m}^2$  es decir,  $0,045 \text{ m}^2/\text{m}$ . Peso: 10 kg

#### **Riostras**

Ángulo aproximado supuesto que forma la riostra con el muro que las soporta:  $12^\circ$

### **Carga al viento de los elementos**

#### **Antena**

$Q_{vd} = 49 \text{ N}$  (24,5 N por cada mástil)

#### **Mástiles**

Son dos mástiles de 3 m de longitud, con una sujeción en su base de 1 m y voladizo de 5 metros

$Q_{vmástil} = 167 \text{ N}$  (33,4 N/m).

La polea tensa el dipolo con una fuerza de 100 N (10 Kg), en cada mástil habrá una fuerza añadida en su extremo de 100 N:

$F = 124,5 \text{ N}$  (12,7 kg)

Fuerza de la riostra: 187,1N (19 kg)

### Momento flector en el mástil

$M_F$ : 1040 Nm, valor que es mayor del que soporta este tipo de mástil, por eso es necesario una riostra en cada uno de ellos.

### Tensión que realizará cada riostra.

$$TR = 19 \text{ kg} / \sin 12^\circ = 91 \text{ kg}$$

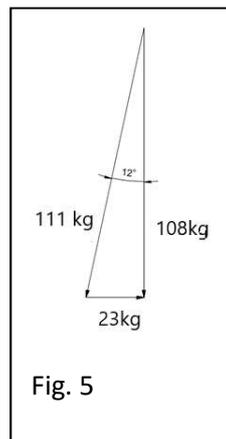
Según los fabricantes de cables de acero en el pretensado del cable se añaden un 10% de tensión de carga de rotura, que, en este caso, supondremos un cable de 2 mm con una carga de rotura de hasta 200 kg (ver tablas). Entonces, añadiremos 20 kg, es decir, en total:

Tensión de riostra: 111 kg

### Sección de la riostra.

Para cables de acero inoxidable la riostra, para una carga de hasta 200 kg, podrá ser de un mínimo de 2 mm de diámetro.

CABLES TELEVES				
Diametro mm	Sección mm <sup>2</sup>	Hilos	Carga rotura (Kp)	Carga rot (Kp/mm <sup>2</sup> )
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



### Componentes de la riostra:

$C_v$  (componente vertical) = 108,5 kg

$C_h$  (componente horizontal) = 23 kg

Peso en el soporte superior: 120 kg

### Momento en el soporte del mástil y descripción del mismo

El soporte será de unos 30 cm de longitud, con sujeción a 20 cm, momento aproximado de: 24 kgm (unos 234 Nm)

Si este soporte y el inferior, están sujetos al paramento vertical con 4 tornillos expansivos de 10 mm, penetrando 6 cm y taco químico (cada soporte), la sujeción es suficientemente segura y robusta (1kN por tornillo).

### Sujeción de las riostras

Los componentes vertical y horizontal sobre la sujeción de la riostra establecen una sujeción igual a la del mástil en sus soportes.

### Línea de alimentación de la antena

La línea de alimentación de la antena está constituida por 25 metros de cable RG-58 A/U de 50 ohmios de impedancia característica, partiendo del centro del dipolo, a una altura de 7 metros, discurre por el suelo de la terraza, convenientemente sujeta y, a través del muro del patio interior del edificio y hasta la ventana de acceso a la ubicación del sistema transmisor-receptor discurre por tubo de PVC de 20 mm sujeto con bridas donde proceda.

### Toma de Tierra

No procede en esta instalación.

(Se añadirá una lista de materiales de todos los componentes de la instalación).