

Cálculos para Memoria Técnica

Antena tipo Cobweb con mástil arriostrado

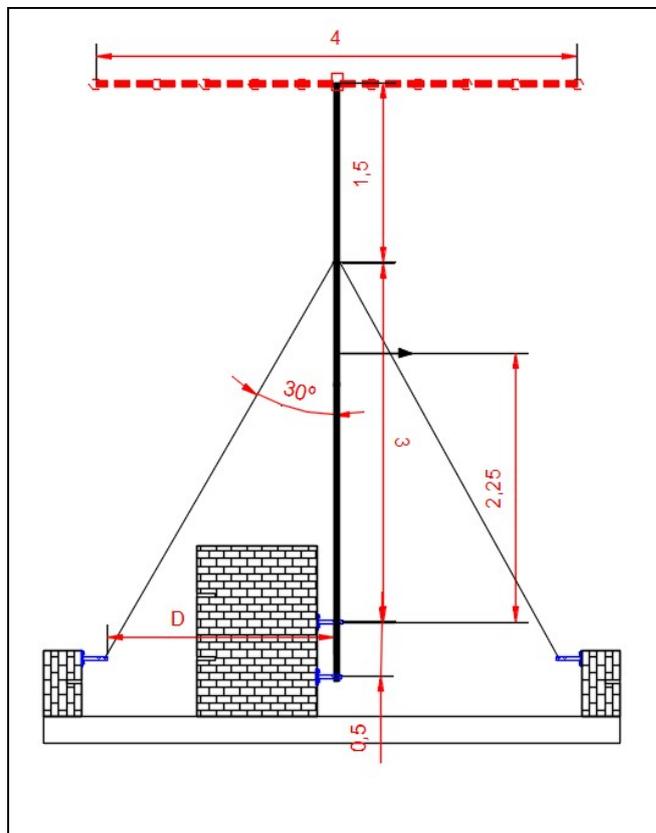
Diego Doncel, EA1CN

doctorohmio@gmail.com

Voy a desarrollar cómo sería el cálculo de una antena tipo Cobweb sobre un mástil de 5 m.

La antena Cobweb, de diversas marcas o, incluso, de construcción propia se va a considerar aquí con una superficie total de $0,2 \text{ m}^2$ que incluye todas las partes de la misma, es decir, los tubos horizontales, la caja de conexión y el hilo que la forma, como para 5 bandas; además he considerado un porcentaje de un 10% superior al que se obtiene fielmente de esos cálculos. Con un peso aproximado a 4,5 kg.

Se va a tener en cuenta aquí que se instala en un mástil de $2500 \times 40 \times 2 \text{ mm}$, del tipo 3009 de Televés. Consideraremos la longitud inicial del mástil de 5 metros en total, ya que está dimensionado en mástiles individuales de 2,5 metros. Vamos a estimar los cálculos para una velocidad del viento de 150 km/h , que supone una presión del viento de 1060 Kg/m^2 . Consideraremos un coeficiente eólico (C_e) de 0,7.



Hay dos tipos de cargas en este sistema: Las cargas distribuidas, como son los mástiles. 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 o la de este tipo que nos ocupa.

El objetivo de los cálculos es el siguiente:

- Justificar que el mástil soporta el momento flector provocado por la antena y por él mismo.
- Calcular el diámetro de las riostras que se han de instalar y su altura.
- Justificar que el soporte del mástil soporta el peso que se provoca en él
- Justificar que los anclajes que sujetarán las riostras son los adecuados.

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

- Superficie de la antena
- Superficie del mástil

A superficie de la antena, si no la da el fabricante se calcula aproximando las áreas vistas del viento en cada una de sus partes y, a pesar de todo, hay que desconfiar un poco de algunas áreas que dan los fabricantes.

La superficie del mástil es fácil: $0,04 \text{ m}$ es el ancho y $0,04 \text{ m}^2/\text{m}$ es el área por metro de longitud.

Cálculos

Superficie de la antena: $S_a = 0,2 \text{ m}^2$

Superficie del mástil: $S_m = 0,040 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 0,1 \text{ m}^2$ que por cada metro es $0,04 \text{ m}^2$

Según lo previsto, la antena al ser horizontal, será considerada como una carga puntual y no distribuida. Considerando la presión del viento a una densidad del aire de $1,225 \text{ kg/m}^3$ y 150 Km/h es de 1060 N/m^2 tendremos:

Presión del viento en la antena:

$P_A = \text{superficie } (S_a) \times \text{Presión del viento } (P_v) \times \text{coeficiente eólico } (C_e)$

$$P_A = 0,2 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 148,4 \text{ N}$$

Carga del viento en el mástil:

La carga del mástil Q_m al ser distribuida la consideraremos por cada metro lineal:

$Q_m = \text{superficie de } 1 \text{ m del mástil} \times \text{Presión del viento} \times \text{coeficiente eólico}$

$$Q_m = 0,04 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 29,7 \text{ N/m}$$

Supongamos un voladizo del mástil de $1,5$ metros, vamos a calcular el momento flector de ese tramo de mástil por influencia de la antena. Al ser una carga distribuida, el punto de aplicación de la fuerza en el mástil es el punto medio de su longitud. Así:

$MF = \text{el debido a la antena} + \text{el debido al mástil}$

$$MF = 148,4 \text{ N} \times 1,5 \text{ m} + 29,7 \text{ N/m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} = 256 \text{ Nm}$$

Explicación del cálculo del momento flector:

Antena: Carga de la antena por su distancia a ubicación de riostras: $148,4 \text{ N} \times 1,5 \text{ m} = 222,6 \text{ Nm}$

Mástil: Carga del mástil $/\text{m} \times \text{long. mástil} \times \text{distancia a riostras} / 2 = 29,68 \text{ N/m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} = 33,4 \text{ Nm}$

Si al momento flector le aplicamos un coeficiente de seguridad del 50% nos dará:

$$MF = 256 \text{ Nm} \times 1,5 = \mathbf{384 \text{ Nm}}$$
 que para un mástil tipo 3009 de Televés, (508 Nm), **CUMPLE**.

Cálculo de las riostras:

Veremos ahora la tensión a que estará sometida una sola riostra en dos supuestos: que sea una sola la que aguante todo el esfuerzo del viento y que esté a un ángulo aproximado de 30° con respecto al mástil. El valor de este ángulo se puede calcular, aproximadamente de la siguiente manera:

- Medimos la distancia aproximada desde el soporte (anclaje) (D) de una riostra al mástil
- Medimos la distancia aproximada desde el soporte del mástil hasta la sujeción de riostra
- Con estos dos valores y la cotangente del ángulo obtenemos éste.

Esto lo hace la calculadora, no hay que saberse la trigonometría o recordarla. Por ejemplo, si la distancia D son unos 2 m y la distancia del soporte del mástil hasta la sujeción de las riostras son 3 m , ver la figura-1 se hace así:

$$\text{Tag } \alpha = \text{Cateto opuesto/cateto contiguo} = 2 \text{ m} / 3 \text{ m} = 0,66 \text{ y arco tg es } = 33,7^\circ$$

$$\text{Tg}^{-1} 2 \text{ m} / 3 \text{ m} = \text{tg}^{-1} 0,66 = 33,7^\circ \text{ (no es preciso exagerada aproximación, como veremos luego)}$$

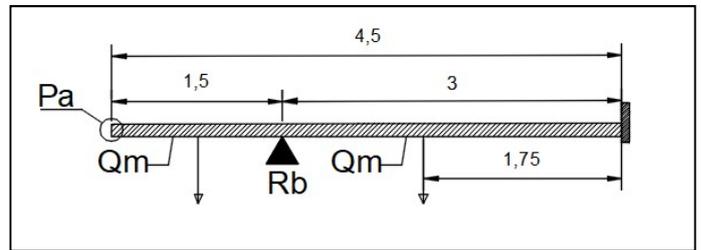
Para calcular la tensión en una única riostra, como si ella sola soportara el esfuerzo del viento en el sistema tenemos dos procedimientos:

- Procedimiento científico. Ayudándonos de la teoría de vigas o de algún programa de ordenador o página web que nos dé esos cálculos hechos. SkyCiV o Xvigas, por ejemplo.
- Procedimiento práctico y sencillo que nos lleve a un resultado similar y podamos tener confianza en él.

Utilizaremos este segundo procedimiento.

Calculemos primero el momento flector en el soporte superior, que está a 0,5 m del inferior.

$MF = P_A \times \text{distancia al soporte} + Q_{\text{mástil}} \times \text{distancia al soporte} / 2$



$$MF = 148,4 \text{ N} \times 4,5 \text{ m} + 29,68 \text{ N/m} \times 4,5 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} = 667,8 \text{ Nm} + 300,5 \text{ Nm} = \mathbf{968,3 \text{ Nm}}$$

Vemos que es un momento muy superior al que soporta este tipo de mástil, que es de 508 Nm (aplicando un porcentaje de seguridad).

Así pues, vamos a considerar que el esfuerzo que hacen las riostras va a compensar ese momento flector, es decir, una única riostra (suponiendo el peor de los casos en que el viento sopla en la dirección de la única riostra):

$F_{Rb} \times 3 \text{ m} = \text{Reacción de las riostras} \times \text{distancia al soporte}$, entonces:

$$F_R = 968,3 \text{ Nm} / 3 \text{ m} = 322,7 \text{ N}$$

Consideremos un margen de seguridad adicional de un 10% a este valor,

$$322,7 \text{ N} \times 1,1 = 354 \text{ N} \text{ (36,1 kg)}$$

Si esta es la fuerza que tiene que hacer la riostra (recordemos, una sola) en horizontal, la componente que forma un ángulo de 30° con la vertical, tendrá un valor de:

$$FR = 36,1 \text{ kg} / \text{sen } 30^\circ = 72,2 \text{ kg}$$

Veamos el cuadro de cables para riostras y en él observamos que el cable de 2 mm tiene una carga de rotura de 200 kg y es adecuado para nuestro cometido.

CABLES TELEVES				
Diametro mm	Sección mm ²	Hilos	Carga rotura (Kp)	Carga rot (Kp/mm ²)
2	3,14	7x0,6	200	63,69
3	7,06	7x0,6	784	70,5
4	12,57	7x1,3	1100	87,51
5	19,63	7x1,6	1800	91,7
6	28,27	7x2,0	3000	106,12

Los fabricantes aconsejan un pretensado del cable de un 10% de su carga de rotura que, en este caso, serían 20 kg (¿Cómo los medimos?)

Hora hay dos situaciones para la instalación:

- Ausencia de viento. En este caso el mástil estaría sometido a un esfuerzo teórico de 20 kg de tensión de pretensado por cada riostra.
- Viento muy fuerte (calculado a 150 km/h). Una sola riostra soportaría unos 72 kg + 20 kg en total, es decir unos 92 kg. Otra situación diferente de esta misma es el reparto de ese esfuerzo de 72 Kg entre las otras riostras en caso de soplar el viento en otras direcciones,

En conclusión, unas riostras de 2 mm de diámetro cumplen con lo previsto de sujeción del sistema.

Esfuerzo en la sujeción del mástil.

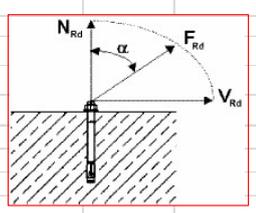
El soporte superior o, mejor dicho, ambos soportes que sujetan el mástil están sometidos en conjunto a un esfuerzo vertical que, en el peor de los casos, correspondería a tres veces el pretensado más el esfuerzo de la supuesta única riostra y todo ello con el ángulo (en vertical que supone). Veamos:

- Esfuerzo vertical del pretensado: $20 \text{ kg} \times \cos 30^\circ = 17,3 \text{ Kg} \times 3 = 52 \text{ kg}$
- Esfuerzo vertical de la riostra: $72 \text{ kg} \times \cos 30^\circ = 62,3 \text{ kg}$

Total: 115 kg (aproximadamente). A repartir entre los dos soportes del mástil. Esto supone un esfuerzo cortante (vertical) en cada soporte de: $115 \text{ kg} = 1120 \text{ N}$

Veamos la sujeción de los soportes tipo 2401 de Televés con anclajes HILTI. En el cuadro vemos que un solo tornillo soportaría hasta 1,8 kN, así que en nuestro caso (1120 N a repartir entre 4) cumple.

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



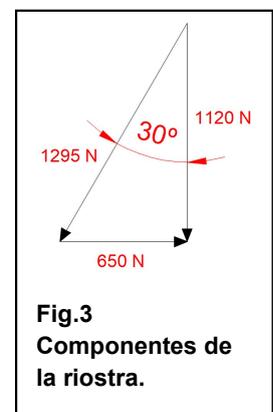
Soportes de las riostras

Cada soporte estará sometido a un esfuerzo vertical y otro horizontal como consecuencia del viento sobre el sistema. Si fuera una sola riostra (insistimos) que soportara todo el esfuerzo, sería de un valor equivalente al de la riostra más el pretensado. Aproximadamente.

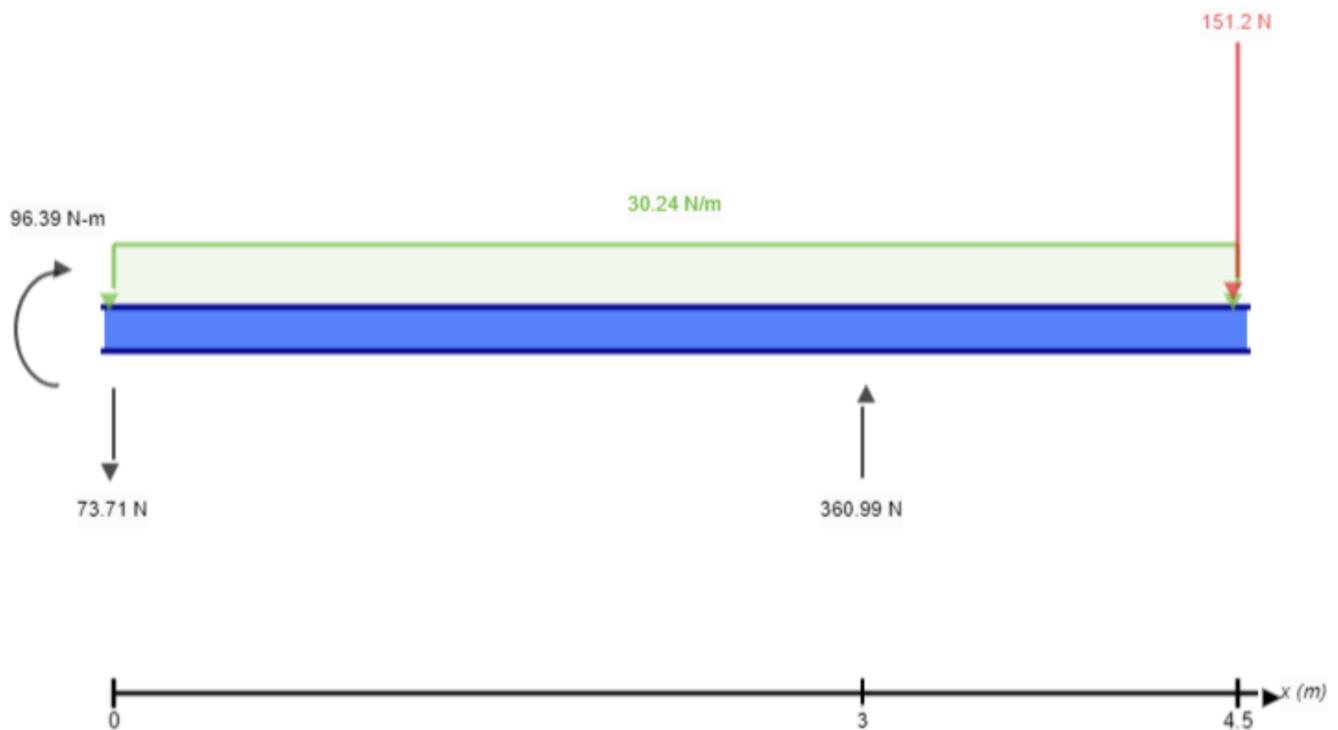
Ya tenemos el esfuerzo vertical, que es de 115 kg (1120 N), nos falta el horizontal.

Esfuerzo horizontal = $115 \text{ kg} \times \text{tg } 30^\circ = 115 \text{ kg} \times 0,57 = 66,4 \text{ kg} (650 \text{ N})$

Volvamos al cuadro de anclajes HILTI y observemos que, igualmente, si utilizamos el anclaje metálico o químico estamos dentro del margen de seguridad en la instalación de los soportes 2401 de Televés (o similar). Otra opción sería utilizar un gancho con tornillo expansivo en M8.



Procedimiento científico con programa de cálculo (SkyCiV).



+++++

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

Preparación de la Memoria Técnica

A sabiendas de que cada administración provincial tiene un criterio diferente en cuanto a la recepción de las Memorias Técnicas para la Licencia, se aporta aquí un procedimiento de preparación en la misma de la parte correspondiente a descripción del sistema, cálculo y decisiones finales, Línea de alimentación y Relación de materiales.

Descripción del sistema (para la memoria técnica)

El sistema consta de un mástil de 5 metros, a base de dos mástiles de 2,5 metros carraqueados, en cuyo extremo superior se aloja una antena horizontal no directiva tipo Cobweb constituida por hilos y tubos de PVC en disposición horizontal. El mástil en cuestión se sujeta a paramento vertical con dos garras de muro, separadas entre sí 50 cms. El mástil propuesto se arriostra con un juego de riostras ubicados a 1,5 metros del extremo superior del mismo y ubicadas a 120° alrededor del mástil. Las riostras se sujetarán en paramentos horizontales 1 pie de espesor y ladrillos huecos o macizos.

(opción) Las riostras se sujetarán a zapatas que contienen la garra de muro especificada en esta memoria, igual a las que sujetan el mástil y cuya descripción se relaciona al final. En esta memoria se detalla el cálculo del momento del mástil en la sujeción de las riostras, el diámetro de las mismas, la sujeción del mástil en el paramento vertical y la sujeción de las riostras al correspondiente soporte.

Cálculos

Presión del viento en la antena:

Superficie de la antena: 0,2 m²

$P_A = 148,4 \text{ N}$

Carga del viento en el mástil:

Superficie del mástil: 0,1 m² o bien 0,04 m²/m

$Q_m = 29,7 \text{ N/m}$

Momento flector en la ubicación de las riostras

MF = 256 Nm, Con un coeficiente de seguridad del 50% nos dará: 384 Nm

que para un mástil de 2500x40x2 mm de acero cincado, tipo 3009 de Televés, (508 Nm), **CUMPLE.**

Cálculo de las riostras:

Cálculo del momento flector en el soporte superior

MF = **969,5 Nm** Se necesitan riostras para cancelar este momento flector.

$F_{\text{Riostras}} = 969,5 \text{ Nm} / 3 \text{ m} = \mathbf{323,1 \text{ N}}$ que, con un margen de seguridad adicional de un 10% a este valor 355,4 (36,2 kg)

$FR = 36,2 \text{ kg} / \text{sen } 30^\circ = 72,5 \text{ kg}$ al que añadiremos un pretensado de un 10% de la carga de rotura indicada por el fabricante que, en nuestro caso, es de unos 200 kp. Esto supone un total de 92,5 kg.

Esta tensión de riostra provocará una componente horizontal y otra vertical, ambas las necesitamos. Ver la figura-3

$C_v = 80,1 \text{ kg}$ $C_h = 46,2 \text{ kg}$

Sección de la riostra

Para 200 kp de carga máxima, el fabricante estima unos 63 kg/mm²

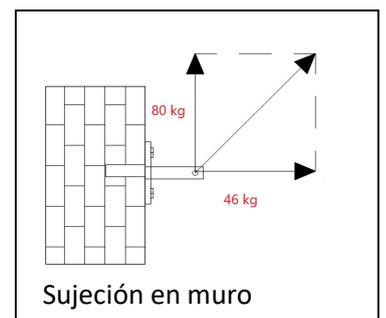
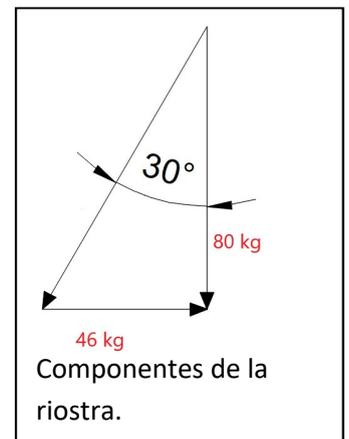
$S = 92,5 \text{ kg} / 63 \text{ kg/mm}^2 = 1,46 \text{ mm}^2$ y su diámetro será: 1,36 mm, por lo que la riostra tendrá un mínimo de 2 mm de diámetro.

Peso sobre el soporte:

$P = 89,6 \text{ kg}$

Este peso, provocará un momento flector en el soporte superior de sujeción, suponiendo que tiene una longitud de 20 cm de: 17,9 kg

Si los soportes son en "L" de 20 cm, tipo 2404 de Televés, sujetos al paramento vertical con tornillos expansivos de 10 mm y taco químico, soportarán perfectamente este esfuerzo. (1kN / tornillo).



Soporte 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, es decir, con tornillos expansivos y taco químico HILTI. Si se instalaran en el suelo, las zapatas deberán ser de dimensiones 85x85x70 cm. solidarias con el paramento horizontal que las soportan.

Línea de alimentación

La línea de alimentación está formada por 20 mts de cable tipo RG-213 A/U, discurrendo por el mástil y el suelo de la terraza hasta el borde del patio interior, por donde discurre hasta la ventana de la habitación que alberga el equipo transmisor-receptor. Se sujeta al mástil con bridas de cremallera y hasta la ubicación de acceso a la vivienda, dentro de tubo intemperie de PVC de 20 mm de diámetro.

Relación de materiales

Aquí se pondrá la lista de los materiales utilizados, de todo tipo y se incluirá los datos de los anclajes de riostras y tipos de cables. Se pueden incluir datos de HILTI de tornillos, taco químico y reacción de ellos.

Tablas de datos

TENSIÓN EN LOS PUNTOS DE ANCLAJE DE LAS RIOSTRAS					
Zapata de Hormigón	Tiro Vertical	<400 kg	<800 kg	<1600 kg	<2400 kg
	Tiro Horizontal	<300 kg	<700 kg	<1400 kg	<2100 kg
	Altura	70 cm	75 cm	90 cm	90 cm
	Superficie	85 x 85	110 x 110	140 x 140	160 x 160

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