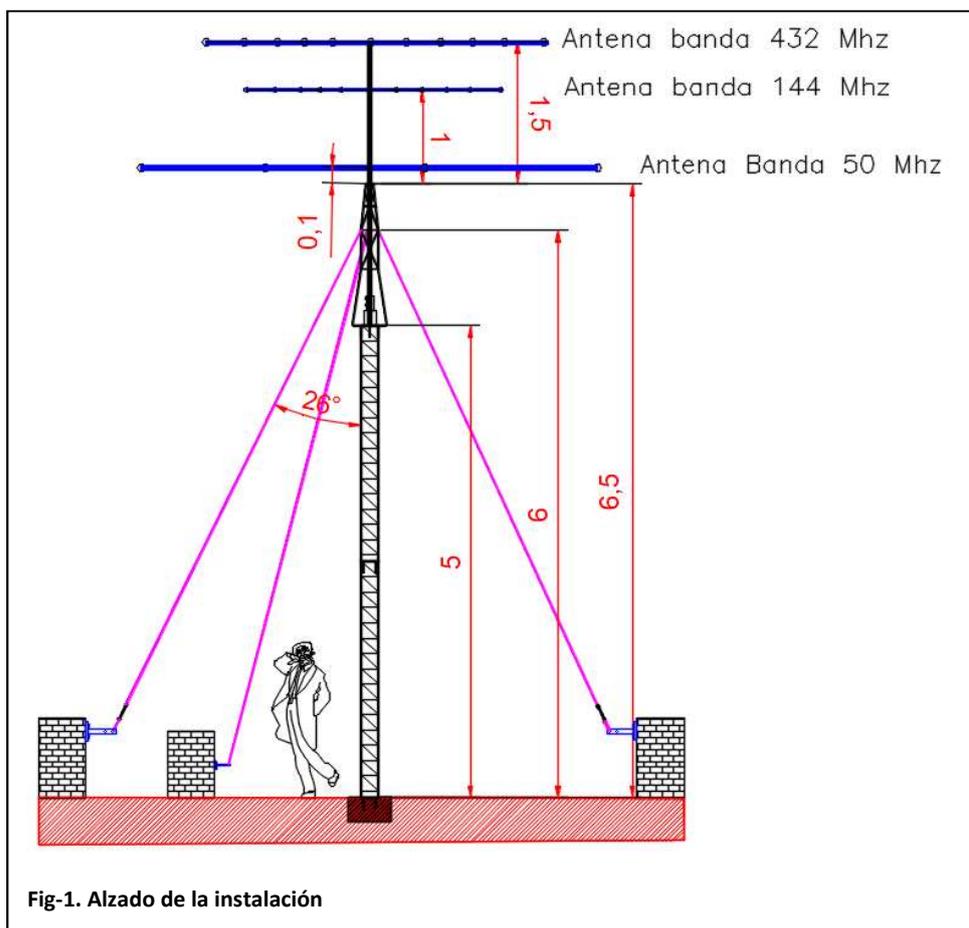


Cálculos para Memoria Técnica

Torreta de 6,5 m con tres antenas y riostras

Diego Doncel, EA1CN

doctorohmio@gmail.com



En este caso voy a tratar de explicar cómo serían los cálculos para una *memoria técnica* de instalación de antena, consistente en una torre de 180 mm de *TV95premier*, arriostrada y con 3 antenas, una para la banda de 432 Mhz, otra para la banda de 144 Mhz y otra para la banda de 50 Mhz. En este caso se propone utilizar un mástil de 45 mm de diámetro. Las superficies de cada antena son ejemplos y las superficies del mástil, rotor y torre son obtenidas de los correspondientes catálogos de los fabricantes.

Descripción del sistema

El sistema que se pretende instalar consta de una torre de 180 mm de lado, formada por dos tramos intermedios de 2,5 m de altura y una puntera para rotor de 1,5 metros. En esta puntera va alojado un rotor para hacer girar el mástil que soporta las antenas. La torre estará sujeta por un juego de tres riostras a 120° y a una altura de 6 metros de la base de la torre. Se propondrá un segundo juego de riostras. El mástil va embutido en la torreta y sujeto por el rotor de antenas. En la parte en voladizo de dicho mástil se incorporan dos antenas, una de la banda de 50 Mhz a 0,1 metros del cojinete de dicha puntera de torreta, otra de la banda de 144 mhz a 1 m del cojinete y otra antena de la banda de 432 Mhz a 1,5 metros, en el extremo superior del mástil en voladizo. Está previsto que dicha torre se apoye en una base adecuada y homologada para este modelo y, a su vez, embutida en un prisma de hormigón de 45x45x25 cm (anchoxfondoxalto).

Nota: Si la torre fuera de 220 mm de lado, los cálculos son muy similares, sólo cambia la superficie y el peso, que lo da el fabricante.

¿Qué hay que conocer antes de hacer los cálculos?

Lo primero que hay que conocer son las superficies de todos los componentes de la instalación para calcular la resistencia al viento de ellos. Es decir:

- Superficie de cada antena
- Superficie del mástil
- Superficie del rotor
- Superficie de la torreta

¿Qué hay que calcular?

Una vez conocidos los ítemes anteriores, podemos empezar a realizar los cálculos necesarios, que consistirán en:

- Calcular el momento flector del mástil que soporta las antenas
- Calcular el momento flector de la torreta respecto a su base en que se apoya y sin riostras
- Calcular el diámetro previsto para las riostras

Una vez realizados estos cálculos, queda por decidir el tipo de base que soportará la torre con las antenas y el tipo de soportes que sujetará la torre al paramento vertical, con sus detalles.

Para todo lo anterior, vamos a tener en cuenta el factor más importante que es la presión del viento (Pv).

La presión del viento, conocida su velocidad, se obtiene de la fórmula siguiente:

$$Pv = \frac{\rho * v^2}{2} \text{ N/m}^2$$

Donde ρ es la densidad del aire, que tomamos $1,225 \text{ kg/m}^3$

v Es la velocidad del viento en m/seg ($1 \text{ km/h} = 0,277777 \text{ m/seg}$)

Así pues, sustituyendo,

$$Pv = \frac{1,225 * 41,6^2}{2} = 1060 \text{ N/m}^2$$

Superficies y pesos

Estas superficies a veces las dan los fabricantes, si no hay que calcularlas midiendo las longitudes de los elementos y sus diámetros. Lo más aproximados posible.

Antena de 432 Mhz: $0,18 \text{ m}^2$ y 4 kg

Antena de 144 Mhz: $0,2 \text{ m}^2$ y $4,3 \text{ kg}$

Antena de 50 Mhz: $0,32 \text{ m}^2$ y $4,2 \text{ kg}$

Mástil de $3000 \times 45 \times 2 \text{ mm}$: $0,045 \text{ m}^2/\text{m}$ y 6 kg

Tramo intermedio de torre 180 mm : $0,284 \text{ m}^2$ y 8 kg cada uno

Tramo puntera de torre 180 mm : $0,12 \text{ m}^2$ y 5 kg

Rotor: $0,08 \text{ m}^2$ y 6 kg

Resistencia al viento de las partes constituyentes de la instalación:

Como hemos dicho, vamos a estimar los cálculos a una velocidad del viento de 150 Km/h y, que equivale a una presión del mismo de 1060 N/m^2 , la resistencia al viento de cada parte será:

$$Qv = \text{Superficie} \times \text{Presión del viento} \times Ce \text{ (coeficiente eólico)}$$

Ce o coeficiente eólico se utiliza para estimar la superficie redondeada de los tubos. $Ce = 0,7$

Este coeficiente se utiliza para superficies cilíndricas, ya que el viento no las presiona igual que una superficie plana.

Así pues, aplicamos la expresión a las diversas partes del sistema. Para el mástil y la torre, expresamos el resultado, también en N/m al ser carga distribuida.

Cargas al viento de cada parte del sistema

Tendremos en cuenta una velocidad del viento de 150 km/h lo que nos da una presión del viento (P_v) de 1060 N/m^2 . En este artículo utilizaremos las unidades de N y Nm para expresar fuerzas y momentos en antenas, mástiles y torres; en el caso de riostras utilizaremos kg por ser la unidad en que se dan los valores por fabricantes de cables de acero para riostras. Asimismo consideramos las superficies verticales como cargas distribuidas y las horizontales, como cargas puntuales.

Es posible que alguna antena, según fabricante tenga su velocidad del viento establecida en, por ejemplo, 130 km/h, en cuyo caso, ante una posible racha de velocidad superior, la antena podría quedar en peligro, no así, según los cálculos, el resto de la instalación.

Carga al viento antena 432 Mhz: $0,18 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 133,5 \text{ N}$

Carga al viento antena 144 Mhz: $0,2 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 148,4 \text{ N}$

Carga al viento antena 50 Mhz: $0,32 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 237,4 \text{ N}$

Mástil: $0,045 \text{ m}^2/\text{m} \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 33,4 \text{ N/m}$

Rotor: $0,08 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 = 84,8 \text{ N}$

Torreta: $((0,284 \times 2) + 0,12) \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 510,5 \text{ N}$

Momento flector en el mástil en voladizo

El momento flector se calcula multiplicando la Carga al viento en el elemento por su distancia al apoyo, teniendo en cuenta que las superficies verticales (mástil) el punto de aplicación de la fuerza es su punto medio. Así pues:

$$\text{MFm} = 133,5 \text{ N} \times 1,5 \text{ m} + 148,4 \text{ N} \times 1 \text{ m} + 237,4 \text{ N} \times 0,1 \text{ m} + 33,4 \text{ N/m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} = 420 \text{ Nm}$$

Aplicando un porcentaje de seguridad del 50%, tendremos:

$$\text{MFm} = 420 \text{ Nm} \times 1,5 = \mathbf{630 \text{ Nm}}$$

Que para un mástil como el indicado cuyo momento flector máximo es $656,75 \text{ Nm}$, **CUMPLE**.

Nota:

De igual manera se calcularía el momento flector en el mástil si se utilizaran otras antenas diferentes. Siguiendo esos pasos explicados más arriba comprobaremos si el mástil soporta el momento flector al que lo someten las antenas. En caso de que el momento flector fuera superior al que figura en el ejemplo, habría que tomar decisiones en cuanto al cambio de antenas o ubicación de las mismas en el mástil. En opinión del autor, sólo deben utilizarse mástiles de acero galvanizado y cuyas características estén homologadas por el fabricante. Sin duda, hasta que no se cumplan las características del mástil es inútil considerar los cálculos siguientes.

Riostras

Para calcular el diámetro de las riostras, tendremos que saber antes a qué esfuerzo van a ser sometidas. Para ello calcularemos el esfuerzo que realizará una sola riostra, como si sólo una fuera la que soportara todo el esfuerzo; sería un caso hipotético y el menos probable pero de esta manera y, al estar distribuida la fuerza en tres riostras, la seguridad de sujeción de las riostras se garantiza aún más.

Para conocer dicho esfuerzo tenemos que conocer antes el momento flector que se produce en la base de la torre con las antenas, mástil y rotor incluidos. Una vez conocido dicho momento, estudiaremos el esfuerzo que lo contrarreste por la acción de la riostra (única) en el punto de sujeción de ella en la torre.

Momento en la base de la torreta

Este momento es el que produce las antenas, el mástil, el rotor y la propia torreta. Al igual que se calculó antes para el mástil únicamente, el momento flector en toda la torre será igual a las presiones de viento respectivas de cada componente por las distancias hasta la base de la torreta, esto es (viendo la figura de alzado del sistema):

Momento producido por la antena de 432 Mhz

$$Ma_{432} = Q_{a432} \times \text{distancia a la base de la torreta} = 133,5 \text{ N} \times 8 \text{ m} = 1068 \text{ Nm}$$

Momento producido por la antena de 144 Mhz

$$Ma_{144} = Q_{a144} \times \text{distancia a la base de la torreta} = 148,4 \text{ N} \times 7,5 \text{ m} = 1113 \text{ Nm}$$

Momento producido por la antena de 50 Mhz

$$Ma_{50} = Q_{a50} \times \text{distancia a la base de la torreta} = 237,4 \text{ N} \times 6,6 \text{ m} = 1567 \text{ Nm}$$

Momento producido por todo el mástil de 45 mm

$$M_m = Q_{am} \times \text{distancia de su punto medio a la base de la torreta} = 33,4 \text{ N/m} \times 3 \text{ m} \times 6,5 \text{ m} = 651,3 \text{ Nm}$$

Momento producido por el rotor de antenas

$$M_r = Q_r \times \text{distancia del rotor a la base de la torreta} = 84,8 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 424 \text{ Nm}$$

Momento producido por la propia torreta

$$M_{torre} = Q_{torre} \times \text{distancia de su punto medio a la base de la torreta} = 510,5 \text{ N} \times 3,25 \text{ m} = 1660 \text{ Nm}$$

Momento total en la base de la torreta

$$M_T = 1068 \text{ Nm} + 1113 \text{ Nm} + 1567 \text{ Nm} + 651,3 \text{ Nm} + 424 \text{ Nm} + 1660 \text{ Nm} \approx 6483 \text{ Nm}$$

La riostra única, ideal, sujeta a 6 m de la base, en la zona del aro de la torreta, debería soportar un momento flector mayor al que nos ha salido en la expresión anterior. Mayor, por seguridad. Esto sería así.

La fuerza de la riostra única, (F) debería cumplir: $F \times 6 \text{ m} > 6483 \text{ Nm}$ es decir: $F > 6483 \text{ Nm} / 6 \text{ m} > 1081 \text{ N}$, si, a pesar de todo le damos un margen del 10% de seguridad, sería un equivalente a: $1081 \text{ N} \times 1,1 = 1190 \text{ N}$ (**122 kg aprox.**)

Esta fuerza sería perpendicular a la torreta, pero si el ángulo que formaría la riostra con la torre fuera (ejemplo) de unos 26°, repasemos el caso anterior del mástil arriostrado, entonces, el valor aproximado de dicho esfuerzo sería:

$$F (\text{riostra única}) = 122 \text{ kg} / \sin 26^\circ (\text{ver la tabla-1}) = 122 \text{ kg} / 0,4 = 305 \text{ kg}$$

Nota: El valor de 0,4 lo hemos considerado

aproximado entre los existentes en dicha tabla, es una forma de redondear. El real es 0,43.

Como hemos comentado en el capítulo anterior, será muy raro, casi imposible, que el viento sople sólo en la dirección de una sola riostra y, el esfuerzo se repartirá entre 2 ó 3 riostras, pero es igual, la damos por

suficiente por seguridad y confianza. Si vemos la tabla de cables de acero para riostras, estaríamos pensando en un cable de 3 mm de diámetro. Igualmente a como vimos, habría que dar un pretensado de unos 78 kg (que es el 10% de la carga de rotura). Igualmente, pensamos que, en reposo y sin vientos, cada riostra estará sometida a un esfuerzo de pretensado de unos 78 kg y en caso de viento fuerte, como mucho, a unos $305 \text{ kg} + 78 \text{ kg} = 383 \text{ Kg}$.

Ángulo	Coseno	Seno	Tangente
10	0,98	0,17	5,67
20	0,94	0,34	2,75
30	0,87	0,50	1,73
40	0,77	0,64	1,19
50	0,64	0,77	0,84
60	0,50	0,87	0,58
70	0,34	0,94	0,36
80	0,17	0,98	0,18
90	0,00	1,00	0,00

Tabla-1. Tabla de valores trigonométricos

CABLES PARA RIOSTRAS				
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

Tabla de cables para riostras

Decisión final: Riostras de 3 mm de diámetro.

Nota: ¿Y un segundo juego de riostras, porque nos parece oportuno? Si se decidiera así, un segundo juego de riostras podría ser de menor diámetro, habida cuenta de que más debajo de los 6 m el esfuerzo sería menor y podría ponerse de 2 mm de diámetro o, simplemente, mantener el mismo diámetro. Hay que tener en cuenta que este segundo juego de riostras llevará pretensado también, por lo que, en ausencia de viento, serían 6 pretensados de unos 78 kg. No se suman así, sino sus componentes verticales a 26°.

Esfuerzo sobre la base de la torre.

Dicho esfuerzo sería equivalente a sumar el peso de toda la instalación (antenas + rotor + mástil + torre) y añadir la componente vertical de la tensión de la riostra única más su pretensado, como máximo. Sí, añadir el peso de una persona arriba subida.

Peso del material: Peso de antenas + peso rotor + peso mástil + peso torre = 4 kg + 4,3 kg + 4,2 kg + 6 kg + 16 kg + 5 kg ≈ 40 kg

Sin viento con persona subida:

Hay que sumar: El peso del material (40 kg) + Persona (80 kg) + 3 x comp. Vertical de pretensado (3 x 78 x cos 26°)=

$$40 \text{ kg} + 80 \text{ kg} + (3 \times 78 \times \cos 26^\circ) = 330 \text{ kg}$$

Con viento de 150 km/h, aproximadamente: 40 kg + (383 kg x cos 26°) = 40 kg + 347 kg = **387 kg**

Veamos la tabla de bases de torres que ofrece la firma Televés. Tabla -3. La segunda columna de la izquierda nos dice los tamaños de dichas bases de hormigón.

ZAPATA DE HORMIGÓN PARA LA BASE DE LA TORRETA o MÁSTIL				
Resistencia del terreno en kg/cm ²	Carga vertical sobre la base			
	<2000	<3000	<4000	<5000
0,5 Terrenos húmedos	75x75x50	90x90x50	105x105x70	120x120x70
1	55x55x50	60x60x50	70x70x70	80x80x70
2	40x40x50	50x50x50	60x60x70	70x70x70
4 - Terrenos secos	40x40x50	40x40x50	50x50x70	60x60x70

Tabla-3 Bases de torretas según terrenos y cargas

Soportes de las riostras

Los soportes para las riostras, al igual que vimos en el caso del mástil, se deciden de igual manera. Veamos.

Cada soporte estará sometido a un esfuerzo aproximado de 383 kg (con sus componentes vertical y horizontal), estos componentes son los siguientes:

Componente vertical: 383 Kg (3753 Newtons) x cos 26° = 3753 N x 0,9 = 3377 N

Componente horizontal: 383 kg (3753 Newtons) x sen 26° = 3753 N x 0,4 = 1500 N

Estos soportes, de tratarse de los modelos 2401 de Televés (o similar), al igual que vimos en el mástil arriostrado, están sujetos anclados con 4 tornillos expansivos que, cada uno de los cuales soporta unos 1000 N, ver cuadro de HILTI, donde se observa que Nrd serían 1500 N /4 y Vrd sería 3377 N / 4. Así pues con tornillos expansivos de M8 y penetración 6 mm en anclaje químico o metálico serían suficientes para garantizar el esfuerzo.

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	

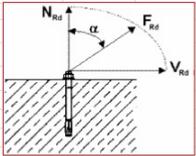
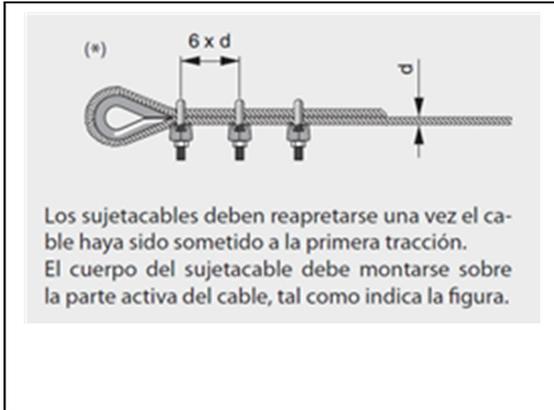


Tabla de anclajes HILTI



Comentarios para la instalación

- Segundo juego de riostras: no es necesario, se puede poner igual al superior en los 5 m de altura, los cálculos dan margen para los esfuerzos posibles.
- La base de la torreta utilizará un soporte normalizado de empotrar en dado de hormigón armado.
- Las riostras se sujetarán en *la zona* del aro superior, en las varillas verticales.
- Se utilizarán tensores normalizados que se tensarán con la mano suavemente y se retensarán a los 15 días.
- Se utilizarán guardacabos.
- Se utilizarán sujetacables para instalar los cables. Ver figura.

Agradecimientos y bibliografía:

EA4DTP. Luis Ignacio

Catálogos de Televés, TV95Premier y HILTI

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.