

Cálculos para Memoria Técnica

Torreta 180 mm con 3 antenas sujeta a paramento vertical

Diego Doncel, EA1CN
doctorohmio@gmail.com

Hasta ahora no había presentado, creo, los cálculos de una torreta de 180 mm de lado porque hacía mucho tiempo que la firma Televés había dejado de distribuir las, sobre todo la puntera para rotor. Como hay una firma que ahora las distribuye y están accesibles al radioaficionado deseoso de montar una torre soportada en paramento vertical (sin riostras), he pensado realizar detalladamente el cálculo del sistema para que sirva de ejemplo a los que la quieran montar y obtener la licencia correspondiente. Muy despacio.

Por otro lado, aunque el ejemplo supone tres antenas diferentes en el mástil, fácil será sustituirlas por aquellas del tipo que uno prefiera. Al final haré una nota respecto a posible añadido de dipolo en V invertida.

Descripción del sistema

En este caso vamos a ver un sistema radiante que estará soportado por una torreta triangular de 4,5 m de altura y 180 mm de lado, formada por un tramo intermedio de 3 m y una puntera de 1,5 m. La torreta estará apoyada en una base de acero galvanizado y específico para ella y, a su vez dicha base estará embutida en un prisma de hormigón armado, y que puede formar cuerpo con el suelo que la soporta. Se sujetará a paramento vertical con dos soportes espaciados 1 m y sujetos a dicho paramento con tornillos expansivos, como se explicará más adelante. Dentro de la torre, en su parte superior, que albergará el rotor de antenas, estará embutido un mástil de 3000x45x2 mm de acero galvanizado. El mástil tiene un voladizo de 1,5 m donde se ubican las antenas. Las antenas ejemplo que se muestran están sujetas al mástil de la siguiente manera y con estos pesos aproximados:

Antena HF a 10 cm de la cúspide de la torreta. Peso: 9 Kg

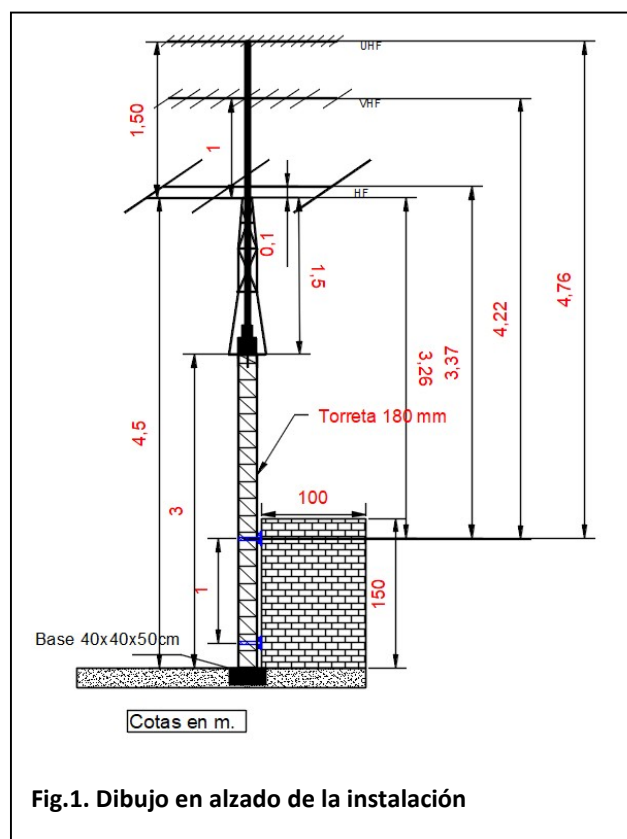
Antena de VHF a 1 metro de la cúspide de la torreta. Peso: 4 Kg

Antena de UHF a 1,5 m. En el extremo superior del mástil. Peso: 2 Kg

¿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 ítems anteriores, podemos empezar a realizar los cálculos necesarios, que consistirán en:

- Calcular las cargas al viento de cada parte de la instalación: Antenas, mástil, rotor y torre
- Calcular el momento flector del mástil que soporta las antenas
- Calcular el momento flector de la torreta respecto al soporte superior que la sujeta.

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. Muy fácil.

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:

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

Donde δ es la densidad del aire, que tomamos 1,225 kg/m³

v Es la velocidad del viento en m/seg (1 km/h = 0,277 m/seg)

Así pues, sustituyendo,

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

Superficie de cada antena

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

Antena HF de 0,47 m² a 10 cm de la cúspide de la torreta. Peso: 9 Kg

Antena de VHF de 0,1 m² a 1 metro de la cúspide de la torreta. Peso: 4 Kg

Antena de UHF de 0,07 m² a 1,5 m. En el extremo superior del mástil. Peso: 2 Kg

Superficie del mástil

El mástil tiene 45 mm de diámetro, así que cada metro de mástil tiene una superficie de 0,045 m², es decir, 0,045 m²/m de superficie.

Superficie del rotor

Estimamos un rotor de 30 cm de alto y 20 cm de ancho, aproximadamente, lo que hace una superficie de 0,06 m²

Superficie de la torre

Los datos de la torre comercial se obtienen del fabricante de la torre y tiene la siguiente superficie:

Tramo intermedio de 3 m de alto: 0,20 m²

Tramo superior, puntera para rotor, de 1,5 m de alto: 0,092 m²

Suma total: 0,3 m², aproximadamente. Esto equivaldría a una superficie media de 0,066 m²/m

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/m², la resistencia al viento o carga al viento Qv, 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

Así pues, aplicamos la expresión anterior a las diversas partes del sistema. Para el mástil y la torre, expresamos el resultado, también en N/m al ser carga distribuida. Carga distribuida se refiere a los elementos verticales, los elementos horizontales se llaman cargas puntuales.

$$\text{Antena HF: } 0,47\text{m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 348,7 \text{ N}$$

$$\text{Antena VHF: } 0,1\text{m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 74,2 \text{ N}$$

$$\text{Antena UHF: } 0,07 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 52 \text{ N}$$

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

$$\text{Rotor: } 0,06 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 = 63,6 \text{ N}$$

$$\text{Torre: } R_{\text{VTORRE}} = 0,066 \text{ m}^2/\text{m} \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 49 \text{ N/m}$$

Momento flector en el mástil en voladizo:

La forma de realizar el cálculo del momento flector del mástil en voladizo es, como sabemos, fuerza multiplicada por distancia al punto de apoyo. Recordemos que el mástil, al ser una carga distribuida, el punto de referencia de la fuerza, en su caso (superficie casi rectangular) es en la mitad de su altura. Según esto será (ver la figura de la instalación en alzado):

M_F = Momento de la antena de HF + Antena VHF + Antena UHF + Momento intrínseco del mástil

$$M_F = 348,7 \text{ N} \times 0,1 \text{ m} + 74,2 \text{ N} \times 1 \text{ m} + 52 \text{ N} \times 1,5\text{m} + 33,4 \text{ N/m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} = 224,6 \text{ Nm}$$

Los 0,75 m salen de la situación de la fuerza en el punto medio del voladizo del mástil.

Da un resultado aproximado de 225 Nm, Considerando un porcentaje de seguridad del 50% tendremos:

$$MF = 225 \text{ Nm} \times 50\% = \mathbf{337 \text{ Nm}}, \text{ así pues } \mathbf{CUMPLE} \text{ el mástil. (mod. 3010 de Televes con 656 Nm).}$$

Momento flector en la torreta:

El momento en la torreta, respecto al soporte más alto en el muro portante será la suma de los diversos momentos producidos por cada uno de los componentes del sistema, incluida la propia torre. Ver el dibujo de la instalación, fig.1.

Así pues, constará de los siguientes apartados:

Momento de las antenas:

$$M_a = 348,7 \text{ N} \times 3,37 \text{ m} + 74,2 \text{ N} \times 4,22 \text{ m} + 52 \text{ N} \times 4,76 \text{ m} \approx 1735 \text{ Nm}$$

Momento del mástil:

La fuerza en el mástil se sitúa a una altura de 3,26 m. justo en el vértice de la puntera, en la mitad del mástil.

$$M_m = 33,4 \text{ N/m} \times 3 \text{ m} \times 3,26 \text{ m} \approx 327 \text{ Nm}$$

Momento causado por la propia torre:

$$M_t = 49 \text{ N/m} \times 4,5 \text{ m} \times 3,26/2 \text{ m} \approx 360 \text{ Nm}$$

El voladizo de la torre desde su sujeción superior es de 3,26 m y el punto de aplicación de la fuerza, su punto medio.

Momento total:

Suma de todos los momentos anteriores, es decir:

$$M_T = M_a + M_m + M_t = 1735 \text{ Nm} + 327 \text{ Nm} + 360 \text{ Nm} = 2421,5 \text{ Nm}$$

Suma total = 2421,5 Nm = 247 kgm

Peso sobre la base:

Consideremos el peso en la base sin tener en cuenta el esfuerzo que hacen los soportes, puesto que éstos sólo efectuarán fuerza horizontal.

Sumemos los pesos de los diversos componentes; antenas, mástil, torre, rotor y persona.

Antenas: 15 kg (suma de los pesos de cada antena, ver al principio).

Mástil: 6 kg

Torre: (fabricante): 4 kg + 10 kg

Rotor: 3 kg

Persona: 80 kg

Total: 6 kg + 4 kg + 10 kg + 3 kg + 80 kg = 103 Kg

Si ahora revisamos los datos proporcionados por Televés, por ejemplo, respecto a las dimensiones de las bases de antena en función de su carga, tendremos:

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

Así, en función del terreno, tomaremos la decisión de la base de la torreta, que en nuestro caso nos fijaremos en la columna que indica <2000 kg

Soportes de la torreta en el muro portante

Esta torre estaría sujeta al muro portante con unos anclajes de 30 cm de longitud atornillados al muro, tipo 2401 de Televés.

Como hemos visto, la fuerza de tracción, aproximada que trata de arrancar el soporte superior del muro al que está sujeta la torreta es de unos 2425 Newtons. Veamos las indicaciones de HILTI en sus soportes:

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		

Según las indicaciones de HILTI, para un tornillo, según sea el anclaje, su resistencia sería entre 1 y 2 kN. Como el soporte está sujeto con cuatro tornillos, podemos escoger el sistema que nos convenga entre los presentados en la tabla con la seguridad de estar en los términos correctos, siempre que se haga como dice en ella.

Adicional, instalación añadida de antena dipolo en la opción V invertida.

Pienso en un dipolo del tipo No resonante, las favoritas de aquellos principiantes (o no) que desean un dipolo sin complicaciones, para todas las bandas de 40 a 10 m, cuyo uso implica tener un acoplador y que normalmente sugiero o bien arriba, junto al balun, o bien en casa, del tipo automático, por ejemplo, el ATU-100, barato y eficaz, sin tirar cohetes, útil.

En el caso posible de acoplador arriba, se sujeta a la puntera de la torreta y se considera la forma de sujetar el balun central del dipolo. Un ejemplo está en mi página para un mástil con la antena sujeta en su extremo superior. Es una idea. Página: ea1cn.ure.es

Notas para la instalación

El mástil debe ir tapado por la parte superior para evitar resonancias acústicas. Las líneas de transmisión discurrirán por la torreta, formando un bucle para permitir la rotación del motor y sujetas con bridas apropiadas y hasta el acceso a la vivienda por el patio interior o por la conducción de ICT, si existe en dicho edificio y si es posible utilizarla por el espacio reservado para los tubos.

La cimentación de base de la torre debe hacerse con hormigón armado, donde se embutirá la base homologada, propiamente dicha, en el momento del fraguado. Teniendo en cuenta (midiendo con un nivel) que quede de tal manera que la torre esté vertical, cosa que se comprobará después, pudiendo ser necesario añadir alguna arandela para ajustar dicha verticalidad.

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.