

# Cálculos para Memoria Técnica

## Antena tipo Hexbeam en torreta de 6,5 m

Diego Doncel, EA1CN

doctorohmio@gmail.com

En este artículo voy a desarrollar cómo sería el cálculo y comentar la instalación de una antena tipo Hexbeam sobre una torre de sección triangular de 6,5 m de alto y 220 mm de lado. Como en otros artículos, el objetivo es aprender cómo se realizan los cálculos para las memorias de instalación que hubiera que presentar en telecomunicaciones y también para cualquier instalación que deseemos hacer con una cierta seguridad. Es por ello que se detallan los pasos a dar para que cualquiera, con cierto interés, paciencia y ganas de aprender, pueda adaptar lo escrito a su propia instalación.

### Descripción del sistema de antena

El sistema radiante está formado por una torre triangular de 6,5 m y 220 mm de lado, en la que se embutirá un mástil que soportará la antena para HF que se prevé. Se trata de una antena tipo Hexbeam para HF de varias bandas. Ver figura 1.

Está previsto que esta antena se soporte en un mástil de dimensiones 2500x40x2 mm embutido en la puntera de la torreta 1,5 m y formando parte de la propia antena.

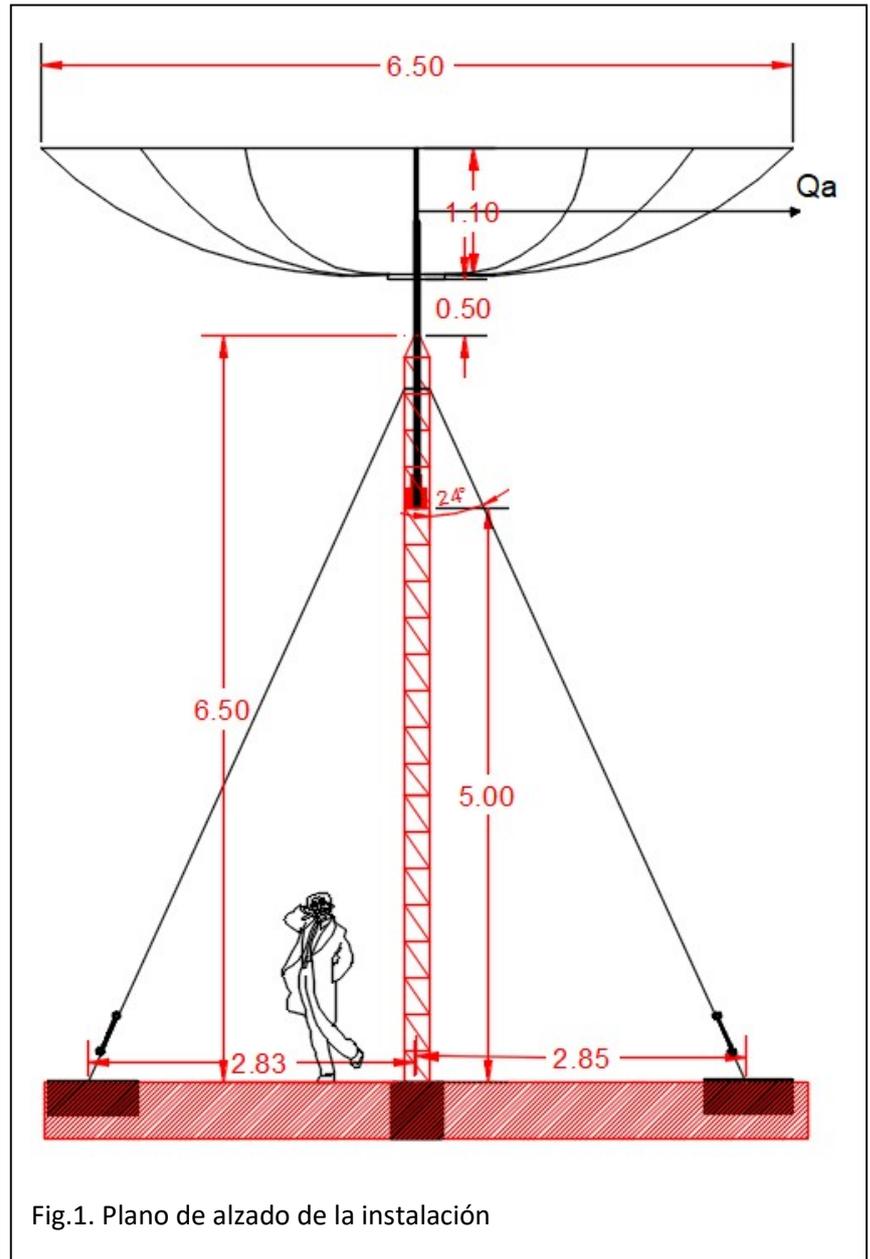
La torre que se menciona consta de dos secciones intermedias de 2,5 m y una puntera de 1,5 m donde se aloja el rotor con el mástil, el cual presenta un voladizo de 1,5 m para alojar la antena. La torre está arriostrada con un juego de tres riostras a 120°. El sistema está

apoyado en una base homologada, de acero, embutida en un prisma de hormigón de 50x50x50 cm (aproximadamente, ver al final) y solidario con el suelo del edificio. En caso de ser de interés especial, se ruega leer hasta el final para los matices de cálculos.

### Cálculo de las solicitaciones del sistema

¿Qué hay que conocer previamente para calcular las solicitaciones del sistema? Hay que conocer:

- La superficie de la antena que se va a instalar arriba del mástil
- La superficie del mástil que va a soportarla



- La superficie del rotor
- La superficie de la torre.

Con esos datos y la presión del viento, obtendremos la resistencia de cada parte a la acción del viento.

Vamos a considerar la velocidad del viento de 150 km/h y eso provocará una presión de 1060 N/m<sup>2</sup>.

También vamos a considerar un coeficiente eólico de 0,7. La velocidad del viento, 150 Km/h equivale a 41,6 m/seg. Es el resultado de dividir 150000 m entre 3600 seg.

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

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

Donde  $\rho$  es la densidad del aire, que tomamos 1,225 kg/m<sup>3</sup>

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

Así pues, sustituyendo,

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

### ¿Qué hay que calcular?

Conocidos los condicionantes de la instalación, hay que calcular:

- El momento flector del mástil en voladizo
- El momento flector de toda la torre sin riostras
- La tensión que soportará una sola riostra (peor caso) que contrarreste ese momento flector.
- Los soportes de la base de la antena y de las sujeciones de las riostras.

Utilizaremos como unidades de medida el Newton, ya que tanto los momentos flectores de los mástiles como la resistencia de los soportes (HILTI) se suelen dar en Newtons (N) y utilizaremos kg porque las cargas de rotura de los cables de las riostras suelen darse en kg. Recordemos que un Newton equivale a 9,8 kg. En la figura 2 vemos un esquema de los esfuerzos y dimensiones que se encuentran en la torreta, como si de una viga empotrada en un extremo se tratara. Los cálculos que realizaremos no son científicos, no tenemos necesidad de excesiva precisión, sino de valores suficientemente seguros para que la instalación quede firme. Por otro lado, siempre hay que hacer la observación de que, si bien, se calculan los valores para una velocidad del viento de 150 Km/h y el fabricante asevera que la antena soporta hasta 130 km/h, esto quiere decir que aseguramos mástil y torre y, ante un viento que la antena no soporta, intuimos las consecuencias. También he de hacer observar para los puristas de los cálculos que no son precisos cálculos con decimales exhaustivos si, realmente, vamos a concluir en valores existentes de diámetros de riostras, diámetro y profundidad de tornillos, etc. Veremos.

### Superficie y resistencia de la antena.

Superficie de la antena: 0,39 m<sup>2</sup> (0,4 m<sup>2</sup>)

Como es una antena en situación vertical, la consideraremos como carga distribuida.

$Q_a = 0,4 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 296,8 \text{ N}$

Peso de la antena: 15 Kg

### Superficie y resistencia al viento del mástil

También es una carga distribuida

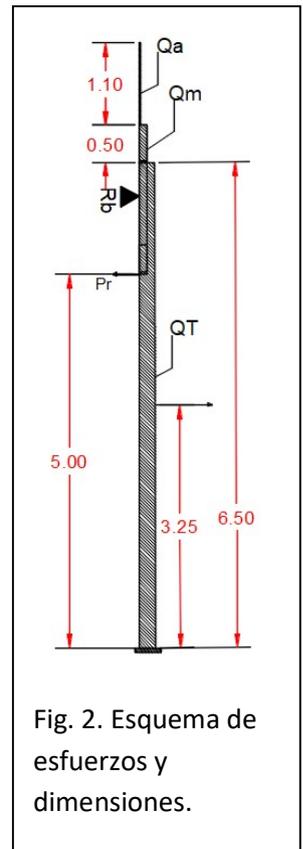


Fig. 2. Esquema de esfuerzos y dimensiones.

Mástil 2500x40x2 mm, superficie del voladizo (1 m):

$$S = 0.04 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,04 \text{ m}^2$$

$$Q_m = 0,04 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 29,68 \text{ N}$$

#### Superficie del rotor

$$\text{Típica: } 0,20 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} = 0,08 \text{ m}^2$$

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

#### Superficie y resistencia de la torre

El fabricante indica que los valores de área aparente que expone son “*los equivalentes de cálculo, enfrentada al viento según eurocódigo*”.

$$\text{Tramos intermedios (cada uno): } 0,29 \text{ m}^2$$

$$\text{Tramo superior: } 0,12 \text{ m}^2$$

Peso de la torre: 29 kg

$$2 \text{ tramos intermedios: } 2 \times 0,29 \text{ m}^2 + 1 \text{ tramo superior: } 0,12 \text{ m}^2$$

$$\text{Total: } 2 \times 0,29 \text{ m}^2 + 0,12 \text{ m}^2 = 0,7 \text{ m}^2$$

$$Q_T = 0,7 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 519,4 \text{ N}$$

#### Momento flector en el mástil:

Será el provocado por la antena (carga distribuida y aplicada en su punto medio) más el propio mástil en la parte externa del mismo (carga distribuida y aplicada en el punto medio del voladizo que es 1,5 m)

$$M_F = 269,8 \text{ N} \times 1,05 \text{ m} + 29,68 \text{ N/m} \times 0,5 \text{ m} = 298 \text{ Nm}$$

Si adoptamos un margen de seguridad del 50%: **447 Nm**; **CUMPLE** el mástil. (Por ejemplo, el modelo 3009 de Televés, de 508 Nm)

#### Momento flector en la base de la torreta

$M_T$  = Antena + mástil completo + rotor + torre, es decir:

$$M_T = Q_a \times 7,55 \text{ m} + Q_m \times 6,5 \text{ m} + P_r \times 5 \text{ m} + Q_T \times 3,25 \text{ m}; \text{ de donde:}$$

$$M_T = 269,8 \text{ N} \times 7,55 \text{ m} + 29,68 \text{ N/m} \times 3 \text{ m} \times 6,5 \text{ m} + 84,8 \text{ N} \times 5 \text{ m} + 519,4 \text{ N} \times 3,25 \text{ m} = \mathbf{4727 \text{ Nm}}$$

Veamos el desglose para que se entienda. Insisto que son valores de medida no muy críticos, el resultado final variará muy poco. Veremos.

Los 7,55 m son los que hay desde el punto medio de la antena hasta la base. Aproximadamente.

Los 6,5 m son los que hay desde el punto medio del mástil (vértice de la torreta) hasta la base.

Los 5 m son los que hay desde la base del rotor hasta la base de la antena.

Los 3,25 m son los que hay desde el punto medio de la torre hasta la base de la torre.

No pasa nada en absoluto si estas medidas no son exactas, no cambiará el resultado final prácticamente.

#### Cálculo de las riostras

Calcularemos las riostras de manera que supongamos que una sola riostra soportará todo el esfuerzo del sistema ante la presión del viento.

Hay varios procedimientos para ello, uno es el procedimiento científico, otro es el procedimiento práctico y rápido. El primero utiliza cálculos complejos que pueden realizarse con programas existentes en la red.

Utilizaremos el segundo, más rápido y sencillo. Compararemos resultados. No obstante, pienso que una instalación como la propuesta no exige un cálculo de excesiva precisión, más bien con cierta holgura en

valores, cuyo objetivo no es otro que garantizar (en cierto modo) que la instalación es segura dentro de lo más posible y, como decimos siempre, “dormir tranquilos”.

El valor obtenido por un programa de cálculo en internet para la reacción de la riostra en su punto de conexión es de 823 N.

El momento flector calculado anteriormente en la base de la torre es de 4727 Nm, si este momento deber ser compensado con la reacción de la riostra a 6 m. Dicha riostra debería proporcionar un momento opuesto (reacción) de:

$$R_b = 4727 \text{ N/m} / 6 \text{ m} = 788 \text{ N (80 kg)}$$

Por seguridad, añadiremos al esfuerzo de la riostra un 10%, lo que implica:  $80 \text{ kg} \times 10\% = 88 \text{ kg}$

Ahora veamos el ángulo que, en este ejemplo, forma la riostra con la torre. Es de  $24^\circ$ , lo que implica unos valores de trigonometría siguientes:

$$\text{Seno } 24^\circ = 0.4 \text{ y } \text{cos } 24^\circ = 0.91$$

La riostra, que, en nuestro ejemplo, forma un ángulo de  $24^\circ$  con la vertical de la torre, tendrá una tensión aproximada de:

$$TR = 88 \text{ kg} / \text{sen } 24^\circ = 216 \text{ kg}$$

Esta tensión tendrá dos componentes, Vertical y Horizontal, de los siguientes valores:

$$C_v = 216 \text{ kg} \times \text{cos } 24^\circ = 197 \text{ kg}$$

$$C_h = 216 \text{ kg} \times \text{sen } 24^\circ = 88 \text{ kg}$$

Según las características de los cables de acero para riostras (ver tabla en la figura 3) la riostra mínima a utilizar sería de 4 mm (Televés), en este caso, si utilizamos un pretensado de 10% (aconsejable por la firma en estas instalaciones), nos daría un valor de unos 110 kg, que sumados al obtenido anteriormente, resultará:

$$TR_{\text{riostra}} = 216 \text{ kg} + 110 \text{ kg} = 326 \text{ kg}$$

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
NO TELEVES				
3			784	

Fig. 3. Tabla de cables de acero para riostras

### Componentes verticales y horizontales de la riostra (única)

¿Por qué necesito saber la componente vertical y horizontal de las riostras?

Porque la componente vertical se sumará al peso del sistema sobre la base. Además ambas componentes actuarán sobre los soportes de las riostras, los que sujetarán a éstas y ello condiciona el tipo de sujeción, tornillos, instalación, etc.

Si no hay viento, una riostra tendrá que soportar sólo el esfuerzo del pretensado, que es de unos 110 kg y, como son 3 riostras, en la base habrá un esfuerzo, debida a ellas de:

$$(110 \text{ kg} \times \text{cos } 24^\circ) \times 3 = 301 \text{ kg (a lo que habrá que sumar el peso de otros factores, como veremos).}$$

En caso de viento a 150 km/h consideramos que el esfuerzo en la base sería el de una riostra sola más los tres esfuerzos de pretensado, es decir, 216 kg + 301 kg = **517 kg**

El valor obtenido, como digo, proporcionará una componente vertical y horizontal que influirán en las decisiones de la base de la torreta y la zapata o sujeción de las riostras.

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

Fig.4 Tabla de dimensiones de zapatas

Carga vertical sobre la base (pesos) y base de la torreta:

Supuesto sin viento:

Antena: 15 kg, Mástil y rotor: 15 kg, Torre: 29 kg, Por las riostras: 301 kg, una persona: 80 kg

**Total: 440 kg** (aproximadamente)

Supuesto con viento:

Antena: 15 kg, Mástil y rotor: 15 kg, Torre: 29 kg, Por las riostras: 517 kg

**Total: 576 kg** (aproximadamente)

Según esto, consultando las dimensiones propuestas por Televés para la base de la torreta, se podría poner la base homologada de la torreta embutida en un prisma de hormigón de dimensiones mínimas 40x40x50 cm para terrenos secos y 75x75x50 cm para húmedos. Ver Fig. 4

TENSION 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

Fig. 6. Anclaje de riostras en zapatas o pilotes.

Soportes para las riostras (zapatas):

Consultando las dimensiones propuestas para las zapatas de torretas y, considerando las componentes vertical y horizontal de la tensión de la riostra, vemos la tabla de la Fig.6.

Se observa un valor de 85x85x70 cm para esos valores de tensión en los puntos de anclaje. Estas zapatas tendrían que estar solidarias al encofrado o suelo de la terraza, caso de ser esta ubicación o enterradas en prisma de hormigón, caso de ser tierra. Podría utilizarse, si se trata de muro portante, unas garras de muro

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	

Fig. 6. Tabla de anclajes HILTI

con argollas para riostras o soporte de mástiles, sujetas a ladrillo con tornillos expansivos de 6-10 mm en taco químico, penetración 6 cm. En la tabla de la fig. 7 pueden verse varias opciones de instalación de anclajes tanto del tipo químico o metálico. Como puede verse los valores de  $N_{rd}$  y  $V_{rd}$  están considerados para un solo anclaje, mientras que se utilizarían 4, así pues los anclajes propuestos en la tabla serían suficientes para soportar suficientemente el esfuerzo a que van a ser sometidos cada soporte tipo, por ejemplo, 2401 de Televes.

Nota: Ver características y solicitudes en el catálogo de HILTI.

### Notas de Instalación

Las riostras no se sujetarán exactamente en el extremo superior de la torreta, sino en la zona del aro existente a 46 cm de la puntera, **no en el aro**.

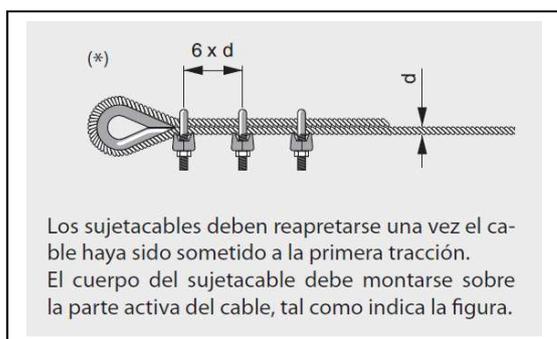
Aquí están calculadas para acero, pero se pueden cambiar a cuerdas Dyneema, teniendo en cuenta las diferencias de tensión de rotura. Nunca hacer nudos en ellas. Yo prefiero las riostras de acero.

Sí, se puede poner un mástil de 45 mm de diámetro (del tipo 3010 de Televés). Pesará más. Hay que tenerlo en cuenta porque las riostras tienen que soportar más tensión. Hay que tener en cuenta que se ha calculado para una sola riostra y que, en realidad serán 3 riostras, esto afianza más seguridad en los cálculos realizados.

Se puede poner un segundo juego de riostras a media altura y, de ponerlo, podría ser igual que el que está en la parte superior. Habrá más carga en la base, hay que tenerlo en cuenta.

También se puede poner la antena a menos distancia de la cúspide de la torreta, con lo que el mástil tendrá menos momento flector.

- Las riostras se sujetarán en la parte del aro de torreta, no en el aro. En el tubo vertical
- Las riostras llevarán tensores y sujeta-cables. Se tensan con la mano, se re-tensan a los 15 días. Interesante el artículo de Juan Carlos, EA4ETR, mayo-2007, sobre medidas de tensión en riostras.
- La base de la torreta, normalizada, será embutida en el prisma en el momento del fraguado del hormigón armado.
- Para las riostras se utilizarán argollas normalizadas
- Se vigilará seriamente la verticalidad de la torreta
- Si el mástil queda abierto por arriba, hay que taparlo para evitar resonancias acústicas.
- Según donde se instale la torreta puede producir vibraciones en el edificio.
- En caso de riostras con cuerdas Dyneema, seguir puntualmente las indicaciones de la página de Mastrant - Cuerdas Dyneema.



Forma de instalar los perrillos de cables.



## **Notas del autor del artículo para la presentación de la Memoria Técnica:**

Si se va a utilizar para la Memoria a presentar en Telecomunicaciones yo haría las siguientes observaciones:

- Planos: El de alzado, similar que el que yo propongo, muy detallado. Los planos se pueden hacer a mano sin ningún problema. No hay que poner, claro, el diagrama de tensiones, eso es para aprender, si no se sabe. Hay que indicar todas las distancias a muros, chimeneas, antenas TV, etc.
- Cálculos. No hay que copiar todo lo expuesto, sino sólo los resultados.
- Materiales. Lista de materiales y hojas descriptivas de los materiales a utilizar, como antena, torre, cables, guardacabos, tensores, argolla de riostras, etc. se pueden obtener de los catálogos de Televés, TV-95Premier y HILTI, por ejemplo.
- Línea de alimentación. Sólo es necesario especificar el tipo, el grosor, la longitud y por donde discurrirá hasta la estación, con todo detalle, cómo se sujetará.
- Riostras. Si están en un sitio transitado, aunque sea puntualmente, tienen que estar señalizadas de alguna forma, lo dice el Reglamento.

### **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***