

Por qué y cómo se hacen los cálculos para las memorias técnicas (I)

Diego Doncel, EA1CN
doctorohmio@gmail.com



Cuando tenemos nuestra revista en las manos y la ojeamos (si acaso) a ver qué encontramos en ella, hay artículos de divulgación que nos apetece leer y otros técnicos que miramos de soslayo pero que no nos atrevemos a hincarles el diente. Normal. Y si vemos fórmulas o, como yo digo, expresiones matemáticas, saltamos a otra cosa, pasamos página, las tememos; sobre todo si en nuestra vida no hemos estado habituados a estas expresiones matemáticas. Normal.

Por eso yo prefiero no poner esas expresiones matemáticas entre el texto, sino al final, por si se desea ampliar más conocimientos de los que se están aportando. Pero a veces esto es poco posible. En los cálculos de instalaciones de antenas, como los presento yo, es poco menos que imposible escaparse de ellas. Lógico. Los artículos que he publicado (y que posiblemente siga publicando) de los cálculos para las memorias de las instalaciones de antenas están en este segundo grupo de artículos que no suelen ser llamativos. A menos que estés enfrascado en preparar tu memoria, claro.

El por qué tiene, para mí, dos razones. La primera es porque debemos estar seguros y confiados de que la instalación soportará los embates de un fuerte viento (esto incluye las antenas), aunque las antenas soporten, según el fabricante, un velocidad máxima. La segunda es porque nuestro sistema de antenas debe estar informado a "Teleco" para estar en posesión de una licencia de radioaficionado de estación fija (lo dice el Reglamento), para no tener hipotéticos problemas con el seguro en caso de un siniestro en nuestra instalación y para que cualquier prójimo no dude de la legalidad y presencia de nuestras antenas.

Como dice el refrán, "cada maestrillo tiene su librillo", aunque yo no sea maestrillo de nada.

Personalmente, cuando me adentré en estos temas de cálculos en 2023 (lo anterior publicado en 2017 no valía para nada), estudié algunos programas de cálculos de estructuras para aplicarlos a nuestras instalaciones con resultados bastante exactos. Pero pensé que transmitir esto a los radioaficionados no familiarizados iba a resultar tan absurdo como predicar en el desierto, sin finalmente conseguir acercar los cálculos y resultados a los destinatarios que no utilizan habitualmente este tipo de herramientas.

Así que pensé en otros procedimientos que dieran valores similares a los obtenidos con esos programas y que aplicando ciertos márgenes de "confianza" concluyeran en resultados semejantes y enfocados ligeramente al alza. Encontrado este procedimiento, lo apliqué a algunos ejemplos y me convenció.

Desde mi punto de vista, así lo hago yo y así lo he hecho en mis propias memorias técnicas; solo hay que comprobar que el mástil soporta los esfuerzos del viento en las antenas con seguridad y calcular el diámetro adecuado de las riostras. Igual para una torreta, aunque no lleve riostras. El resto son "decisiones a tomar" basándose en datos y mediciones de fabricantes de prestigio, sin duda, muy importantes. De estas sujeciones depende la seguridad de una instalación, así que siempre se procura que sean bien estudiadas escogiendo material seguro y de calidad.

Por ejemplo: aplicando un programa de cálculo en una web,

obtengo un valor de tensión en la riostra única (considerada como la que soportará todo el esfuerzo, suposición teórica) de 400 kg y, por el procedimiento que utilizo, obtengo 390 kg, al que aplico un "beneficio" del 10%, consiguiendo 429 kg, que nos resulta beneficioso. Otro ejemplo es que se obtenga un diámetro de 1 mm de diámetro y yo decida 2 mm; nos es beneficioso también.

Necesidad

Tener la instalación de antenas "dada de alta" o "legalizada" es primordial. Hay que solicitar la licencia de estación fija sí o sí. Sé, me consta, que una inmensa mayoría de los radioaficionados de este país no la tienen así. Es como una espada de Damocles. Los problemas que pueden presentarse son varios. Uno de ellos es que, en caso de siniestro, la compañía de seguros nos plantee problemas ante algo no legalizado, teniendo que estarlo. Otro problema podría plantearse ante personas ajenas

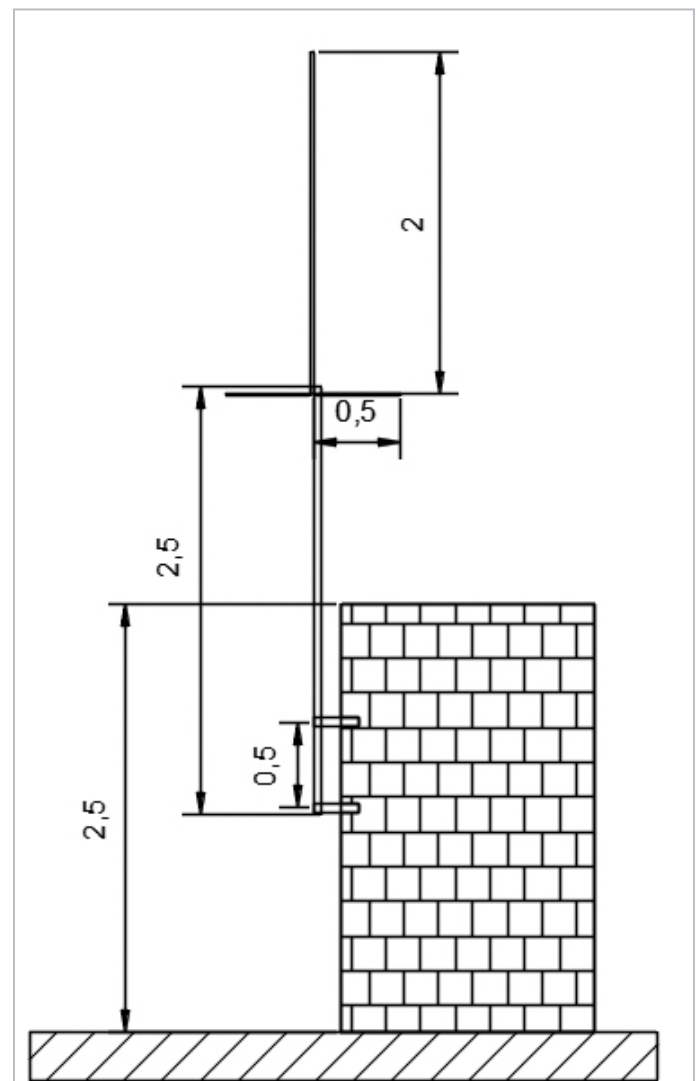


Figura 1. Ejemplo de instalación sencilla

que desconfíen de aquello que está allí instalado y busquen problemas. De cualquier manera, una instalación de antenas en un domicilio tiene que estar justificada ante cualquier autoridad que lo demande; justificada documentalmente, para responder legalmente ante cualquier pregunta como "¿por qué tiene usted eso ahí?", "¿para qué necesita usted eso ahí?", o "¿cómo justifica usted que eso que tiene instalado está seguro y legal?"

Hasta ahora los artículos que he presentado en nuestra revista han sido ejemplos que se me han ocurrido a mí entre los muchísimos que nos podemos encontrar en nuestra afición. Seguro, pero seguro, que raramente tu instalación es exactamente igual a la propuesta en cualquiera de mis artículos, lo sé. Pero el objetivo no es otro que servir de idea, de guía para tu propio diseño de instalación y memoria. Alguno de los ejemplos que últimamente he hecho viene motivado por una solicitud de ayuda demandada en un caso específico. No, yo no hago las memorias a nadie, no puedo, no quiero; pero si ves algún artículo de los aquí publicados seguro que encuentras apoyo para realizar los cálculos para la tuya.

¡Ah! Las ecuaciones, las expresiones matemáticas, los conceptos. Ahí está el hueso duro de roer. Normal.

■ *Debemos estar seguros y confiados de que la instalación soportará los embates de un fuerte viento (esto incluye las antenas), aunque las antenas soporten, según el fabricante, una velocidad máxima*

La parte difícil

Es tan amplio el espectro de colegas que estamos en esta afición técnica que podemos encontrar una variedad inmensa de posibilidades en ella. Desde aficionados que no quieren saber más que buscar una frecuencia y apretar la tecla del micrófono hasta el que se lo monta absolutamente todo. Es comprensible. En el término medio estamos los que procuramos entender el asunto de la propagación, de la ganancia de las antenas, de la ROE, del programa de PC para hacer digitales, el programa de log, leer artículos de radioafición, etc. Incluso instalar la propia antena sin excesivas complicaciones mecánicas. Apenas entendemos algunas expresiones matemáticas de relación de potencias, transformación de impedancias, decibelios, incluso relación de potencias de pico o envolventes. Se nos escapan muchas cosas que, pareciendo extrañas y difíciles, no lo son tanto. De hecho, tenemos a nuestro alcance Internet, YouTube y, cómo no, el *The Radio Amateur Handbook*, ese libro gordo que sujeta una pequeña escultura con nuestro indicativo allí en la estantería (ironía *off*). Y no digamos los libros de la biblioteca de la URE, indispensables para el principiante.

Nos preocupa enormemente que salten chispas en nuestro cuarto de radio, pero más nos preocupa que salten chispas en nuestro cerebro si tenemos que tratar de entender esos conceptos de "momento flector" o "tensión de las riostras" o "presión del viento" o "coeficiente eólico". Mejor quietos, dejemos que otro se ocupe de ello y nosotros solo a, como mucho, soldar los conectores, extender el cable coaxial y levantar el dipolo. Es comprensible. A mí me suena raro el coche y lo llevo al mecánico, no vaya a ser que toque donde no deba. Del lavavajillas mejor ni hablar.

Así pues, si queremos tener las cosas bien hechas, si queremos tener la instalación legalizada y en orden, bien calculada y, como algunos decimos, *dormir tranquilo*, no nos queda más remedio que transigir con conceptos "diferentes", que no nuevos, "raros", que no evidentes o palpables. Y no es difícil, os lo juro. Algunos de los colegas que me han escrito y que se han puesto manos a la obra con su memoria han conseguido y con éxito tener toda la documentación en regla.

Regla de tres

Casi. La cosa es de regla de tres, que ahora se llama "repartos proporcionales", pero que no dejan de ser reglas de tres. O casi. Como el fabricante más popular de mástiles da detalles de sus características en *newtons* por metro, Nm, prefiero calcular todo lo relativo a esto en esas unidades. Mientras que los fabricantes de cables de riostras expresan sus cargas de rotura en kilos, es por eso que en esta parte utilizo kilos.

Así pues, las etapas que se suceden para los cálculos que incluir en la memoria descriptiva son siempre los mismos:

- ▶ Conocer las dimensiones (superficies) de los materiales que se exponen al viento.
- ▶ Calcular si el mástil soportará la(s) antena(s) prevista(s).
- ▶ Calcular el diámetro de las riostras, si existen.
- ▶ Decidir los soportes de la instalación, de mástil, de torreta, de riostras y bases.

Y todo lo anterior para un supuesto de velocidad del viento de 150 km/h, que aunque parezca mucho puede darse en rachas y dando un margen de seguridad al mástil del 50%, ya que es la parte más débil de la instalación. La climatología va cambiando y con más frecuencia nos encontramos rachas de mucha velocidad y nunca sabemos dónde y cuándo.

El cálculo de una instalación se basa en conceptos básicos, que son:

- ▶ Momento flector de un mástil y conceptos básicos de geometría.
- ▶ Entender los esfuerzos que intervienen.
- ▶ Hacer unos sencillos cálculos de las fuerzas que intervienen, solo productos y sumas.
- ▶ Calcular el o los momentos flectores que intervienen.

Pero, claro, no te vas a poner a leer un artículo de instalación de una torre arriostrada con tres antenas en el mástil si, primero, no es lo que vas a instalar; segundo, que no tienes ni ganas de entender las "fórmulas" (expresiones matemáticas) por sencillas que te dicen que sean; y, por último, porque para eso están otros (¿ah, sí?) que te lo pueden hacer. Aunque sea pagando.

Observación importante

Vamos a detallar en estos artículos didácticos cómo se hacen los cálculos. No son cálculos científicos basados en ecuaciones y fórmulas difíciles de entender, sino en ciertos conceptos, productos y sumas. Hay que tener en cuenta las unidades en que se realizan los cálculos para no perderse. Conviene repasar cada cálculo para estar seguro de que se entiende. A lo largo de estos artículos se verán aproximaciones, redondeos de operaciones; ello no se hace aleatoriamente, sino en beneficio de los resultados sencillos que nos enseñen cómo deben, al final, realizarse las instalaciones. Así, si, por ejemplo, un mástil se dice que NO CUMPLE, es que, desde mi punto de vista, no tiene suficientes garantías de que vaya a soportar lo que se le exige, y al revés. También veréis resultados aproximativos: así, si un cálculo realizado con calculadora sale, por ejemplo, a 234,86 newtons y yo lo remato a 235 *newtons*, no será por error, sino por aproxima-

ción en nuestro beneficio. Y no pasa nada. Puedes hacerlo o no.

Otra cosa que quiero que sepáis, como he dicho antes, es que la mayoría de los cálculos que se realizan, los más complicados, los he realizado también utilizando programas existentes en la red de cálculos de estructuras, pero llegando a resultados tan similares como los que aquí se expondrán.

¿Te atreves?

¿Qué necesitas aprender? O, mejor dicho, ¿qué necesitas entender? Son cuatro cosas básicas como principiante y cinco como avanzado. No hay más. Adelante.

El viento

El viento sopla que da gusto algunas veces. Otros lo llaman “aire”; pues no, el viento es el aire en movimiento. Aire es lo que respiramos. El viento, cuando sopla, empuja las cosas y empuja nuestra instalación con ganas de romperla. Y lo consigue si no está bien calculada. Con las antenas es otra cosa. Porque la idea es calcular la instalación para una fuerza del viento determinada y la antena puede que no la soporte. Los fabricantes, algunos, dan en la relación de características la velocidad del viento que soporta, o no, y puede que sí la soporte o puede que no. Porque una cosa es el viento presionando en nuestra instalación y otra son las terribles ráfagas. Latigazos. Cuando hay viento, mucho, nosotros pensamos en la presión del viento, P_v , y nos imaginamos nuestra instalación castigada con esa presión del viento. Y pensamos si la aguantará, porque es nuestra instalación y nuestro dinero el que está en juego. Pues lógico.

La presión del viento depende de la velocidad. Parece de “Perogrullo”, pero es lógico: a más velocidad del viento, más presión. Más miedo nos entra cuando hay mucha velocidad. Hay unas expresiones matemáticas experimentales que determinan la presión del viento según la velocidad y según lo denso que sea el aire. No, no la voy a poner para que no dejes de seguir leyendo si es que estás aquí todavía. Está en alguno de mis artículos. En algún libro también; de los que tomo referencia para escribir mis artículos. Se escribe “ P_v ” (presión del viento) y se corresponde con fuerza por unidad de superficie. La fuerza se da en *newtons* y la superficie en m^2 , así pues la P_v es *newtons*/ m^2 . Vamos bien. En términos generales o normales, diría yo, la P_v que incide en nuestras antenas es de un valor de 1.060 N/m^2 , y eso, como veis en mis artículos (que yo lo he sacado de libros) corresponde con una velocidad del viento de 150 km/h , que, insisto, no es que sea una velocidad constante (que podría ser), sino de unas ráfagas que sí son posibles. A estas ráfagas las temo como al demonio.

La fuerza del viento

Luego veremos el asunto de las superficies despacio; vamos antes a ver un poco el asunto de la fuerza del viento. Si una antena tiene una superficie de medio metro cuadrado ($0,5 \text{ m}^2$) presentará una carga al viento (o sea, una resistencia al viento) resultado de multiplicar esa superficie por la presión del viento y por el coeficiente eólico (C_e). El coeficiente eólico compensa la diferencia de una superficie plana a una superficie cilíndrica, donde el viento parece que “se escurre” por los lados, y yo lo tomo de un valor de $0,7$. Así pues, $C_e = 0,7$. Más abajo lo explico más despacio, sigue.

Entonces, cuando calculamos la fuerza del viento en una antena, mástil o torre, multiplicamos por el coeficiente eólico y nos reduce un poco el resultado a tener en cuenta. Esa fuerza del viento en la antena (u otros componentes) multiplicada por su superficie y por el coeficiente eólico (si procede) es lo que llamamos “carga al viento”, y le doy la simbología Q_a (para una

antena), Q_m (para un mástil), y así sucesivamente.

Veamos qué nos da el resultado de la carga al viento en ese ejemplo propuesto. No es difícil. Que no, que no lo es. Ahí va:

$$Q_a = \text{superficie} \times P_v \times C_e$$

Y las unidades de medida son: m^2 , N/m^2 y nada más. C_e no tiene unidades, es un coeficiente.

Entonces, para ese ejemplo que hemos puesto, la carga al viento de la antena sería:

$$Q_a = 0,5 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 371 \text{ N (371 newtons)}.$$

■ *Tenemos a nuestro alcance Internet, YouTube y, cómo no, el The Radio Amateur Handbook, [...]. Y no digamos los libros de la biblioteca de la URE, indispensables para el principiante*

No hay que asustarse, no es difícil; se trata de multiplicar esos valores entre sí. Ese es el resultado. Has llegado hasta aquí y ya has conseguido saber más que otros que no se han atrevido a llegar. Bien.

¿Y el mástil qué? Pues el mástil también presenta resistencia al viento. Carga al viento. Y la llamamos “ Q_m ”. En algunos libros la llaman “carga intrínseca del mástil”, es decir, “incluida” en el mástil. Claro, también está ahí soportando el viento que le empuja. ¿O no? Pues eso. La carga al viento del mástil dependerá de su diámetro, lógicamente. También dependerá de su longitud, porque depende de la superficie que expone al viento. Así pues, depende del producto diámetro $\times$ longitud. Vamos entendiendo. Y se puede evaluar sabiendo la longitud del mástil que va a exponerse al viento o bien por unidad de longitud de mástil, de cada metro que se vaya a exponer.

Veamos un ejemplo: un mástil de 45 mm de diámetro, que son $0,045 \text{ m}$ de diámetro (recorad que la unidad son metros y que 1 metro son 1000 milímetros —eso sí lo sabes—); digo que un mástil de ese diámetro tendrá una carga al viento, Q_m , producto de su superficie por la presión del viento y por el coeficiente eólico. O sea (venga, ánimo), así:

$$Q_m = \text{superficie} \times P_v \times C_e$$

La superficie será resultado de multiplicar diámetro por longitud. En el ejemplo que hemos puesto, para 1 metro de mástil, sea el caso, valdrá:

$$Q_m = 0,045 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 33,4 \text{ N}$$

Sí, he redondeado de $33,39 \text{ N}$ a $33,4 \text{ N}$. Ya voy diciendo que si todos los redondeos son a mayores, será en nuestro propio beneficio de seguridad.

Las superficies

Las superficies de las antenas, de los mástiles, de las torres, de los rotores, son lo que nos importa conocer. Porque así sabremos cuánta carga al viento presentan. Pero ocurre que, en el

caso de superficies cilíndricas, como antenas o mástiles, por ejemplo, el viento no empuja igual que si es una superficie completamente plana. Digamos vulgarmente que el viento “no empuja igual una superficie cilíndrica que plana”, sino que esta es algo menor, y, de esta forma, aplicamos un pequeño coeficiente que llamamos “coeficiente eólico” para disminuir un poco ese efecto de presión en superficies cilíndricas. Y a ese coeficiente eólico le asigno un valor de 0,7; así, pues voy y escribo $C_e = 0,7$.

Cuando es un rotor el que es empujado por el viento, no es un cilindro propiamente dicho, aunque tiene ciertas formas “suaves” y no le aplicamos ese coeficiente a la fuerza del viento en él; que se fastidie, anda.

Dicho lo anterior, veamos cada parte por separado.

Dimensiones (superficies) de los materiales

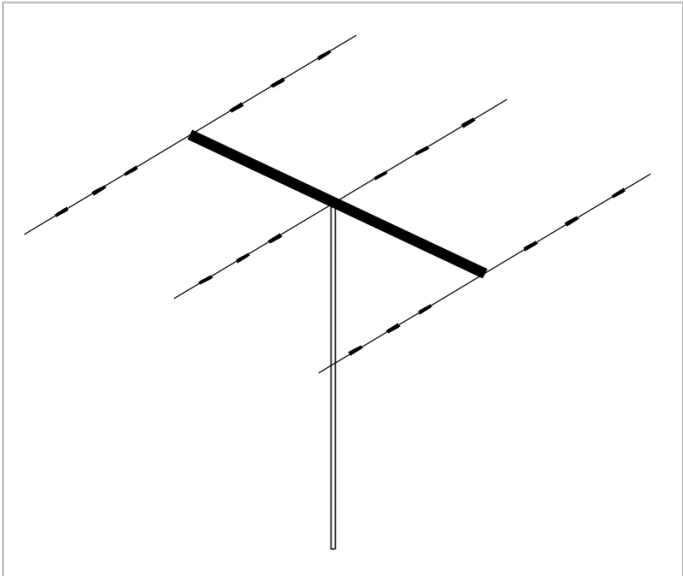


Figura 2. Típica antena yagi HF

Primero las antenas

A veces el fabricante da esa dimensión (alguna vez también está equivocada, me lo he encontrado), y la superficie se da en m^2 e implica todas sus partes. Podemos pensar que cuando el viento azota, según su dirección, no azota por igual a todas las partes, pero el que supongamos que sí nos dará mayores valores de esfuerzos que provocarán mejores soportes. Seguro. Calcular las superficies de las antenas no es más que medir o estimar las superficies que tienen el conjunto de elementos, largo por ancho, incluyendo el boom central en el caso de las yagi (se lee “iagi”), y los tubos en el caso de las antenas del tipo araña. Así, por ejemplo, una yagi de tres elementos tribanda, con trampas, para 10-15-20 m en la que el fabricante no da su superficie, podríamos estimarla de la siguiente manera:

- Supongamos tres elementos de 5 m de longitud y un diámetro medio de 2 cm, con seis trampas de 4 cm de diámetro y 20 cm de longitud, un boom central de 5 x 5 cm y 4 m de longitud.
- **Elementos:** $3 \times 5\text{ m} \times 0,02\text{ m} = 0,3\text{ m}^2$
- **Boom:** $0,05\text{ m} \times 4\text{ m} = 0,2\text{ m}^2$
- **Trampas:** $6 \times 0,04\text{ m} \times 0,20\text{ m} = 0,048\text{ m}^2$
- **Total:** $0,548\text{ m}^2$, que se puede aproximar a $0,5\text{ m}^2$ porque sople el viento irregularmente o a $0,6\text{ m}^2$ si queremos más seguridad.

Como las antenas y los mástiles y las torretas son de forma cilíndrica o están fabricadas (las torretas) con materiales cilíndricos, se determina que el viento no los “castiga” de igual forma que si fueran planas sus superficies, sino con menos fuerza, es por eso que utilizamos un “coeficiente eólico”, que yo, insisto, normalmente utilizo con el valor $C_e = 0,7$.

En este ejemplo la antena estará sometida a una carga del viento, aproximada, de:

- $Q_a = \text{superficie} \times \text{presión del viento} \times \text{coeficiente eólico}$
 - $Q_a = 0,5\text{ m}^2 \times 1.060\text{ N/m}^2 \times 0,7 = 370\text{ newtons}$.
- Valor aproximado porque el boom central, por ejemplo, no es cilíndrico. Y si lo es, puede aproximarse igualmente, si se desea.
- Si optamos por el valor mayor, de $0,6\text{ m}^2$, el resultado será:
- 445 newtons .

Otro ejemplo podría ser el de una antena vertical, similar a

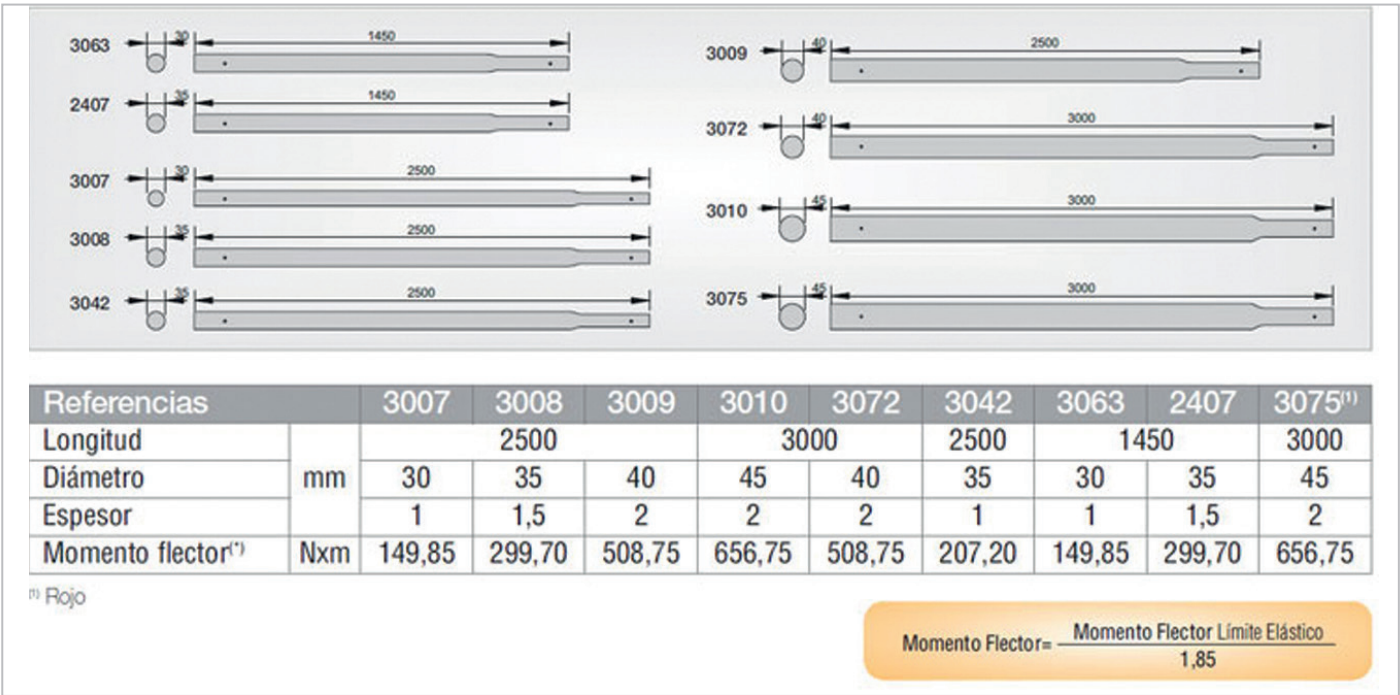


Figura 3. Cuadro de mástiles Televés

las náuticas, de 7,5 m de altura o longitud y un diámetro medio de 2 cm con tres radiales de 50 cm y 5 mm de diámetro.

Es muy fácil:

- ▶ Superficie del radiante: $7,5 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} = 0,15 \text{ m}^2$
- ▶ Superficie de los radiales: $3 \times 0,5 \text{ m} \times 0,005 \text{ m} = 0,0075 \text{ m}^2$

No es significativo frente al vertical.

Ahora el mástil

Como los mástiles tienen un diámetro específico, su superficie será el resultado de multiplicar su diámetro por la longitud que se utilice. Si una instalación se realiza sobre un mástil y exclusivamente, sin torreta, la parte de mástil que queda en voladizo es la que interviene para los cálculos.

Muchas veces especifico la superficie del mástil en función de su longitud, en m^2/m , es decir, superficie por metros. Así, por ejemplo, un mástil de 40 mm de diámetro tendrá una superficie de $0,04 \text{ m}^2/\text{m}$ y una carga al viento, según todo lo anterior, de:

- ▶ $Q_m = 0,04 \text{ m}^2/\text{m} \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 29,68 \text{ N/m}$ (es decir, por cada metro de mástil que quede en voladizo).

Si el mástil fuera uno de los más típicos, como el 3010 de Televés, que se nombra $3000 \times 45 \times 2 \text{ mm}$, sería así:

- ▶ $Q_m = 0,045 \text{ m}^2/\text{m} \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 33,4 \text{ N/m}$

Después el rotor

Hay muchos tipos de rotores, lo sabemos, entonces hay que saber sus dimensiones aproximadas de alto por grosor. Eso suele darlo el fabricante, si no, pues se miden y ya está. Aproximadamente. Por ejemplo, un rotor tamaño medio podría tener 186 mm diámetro $\times$ 300 mm de alto, en cuyo caso, su superficie sería:

- ▶ $S_r = 0,186 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,056 \text{ m}^2$

En este caso, provocará una carga al viento de:

- ▶ $Q_r = 0,056 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 = 59,1 \text{ N}$

Por fin las torres

Hay varios tamaños de torreta, generalmente las utilizamos de 160 mm, 200 mm, 400 mm, según las marcas; excepción hecha de las llamadas "torres autosoportadas", que tienen un tratamiento aparte.

En estos casos, para conocer sus superficies, tenemos que ir a los catálogos del fabricante o a detalles de los materiales, si es que el fabricante los suministra, que suele ser que sí.

Por ejemplo, en el caso de las torres con puntera de rotor de la firma TV95Premier, siendo de 200 mm de lado triangular, las superficies que el fabricante da para ellas son:

- ▶ Tramo intermedio de 2,5 m; área aparente enfrentada al viento: $0,29 \text{ m}^2$.
- ▶ Tramo de puntera para rotor de 1,5 m; área aparente enfrentada al viento: $0,12 \text{ m}^2$.

Y las respectivas cargas al viento, para ser consideradas, serían:

- ▶ Tramo intermedio, $Q_{Ti} = 0,29 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 215,18 \text{ N}$
- ▶ Tramo puntera, $Q_{Tp} = 0,19 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 141 \text{ N}$

Así, entonces, una torre de dos tramos y puntera tendría una carga al viento total de:

- ▶ $Q_T = 2 \times 215,18 \text{ N} + 141 \text{ N} = 571,3 \text{ N}$

Y si tiene un rotor incorporado, sería:

- ▶ $Q_T = 571,3 \text{ N} + 59,1 \text{ N} = 630,46 \text{ N}$

Y si tiene un mástil del tipo $3000 \times 45 \times 2 \text{ mm}$ para poner antenas arriba, sería:

- ▶ $Q_T = 630,46 \text{ N} + 33,4 \text{ N/m} \times 3 \text{ m} = 730,66 \text{ N}$

Hasta ahora me he guiado por los datos que los fabricantes dan a las superficies enfrentadas al viento de sus tramos de torres. No he tenido que calcular detalladamente cada caso en particular. Estos datos los he solicitado cada vez y me han sido dados. Así pues, tema zanjado.

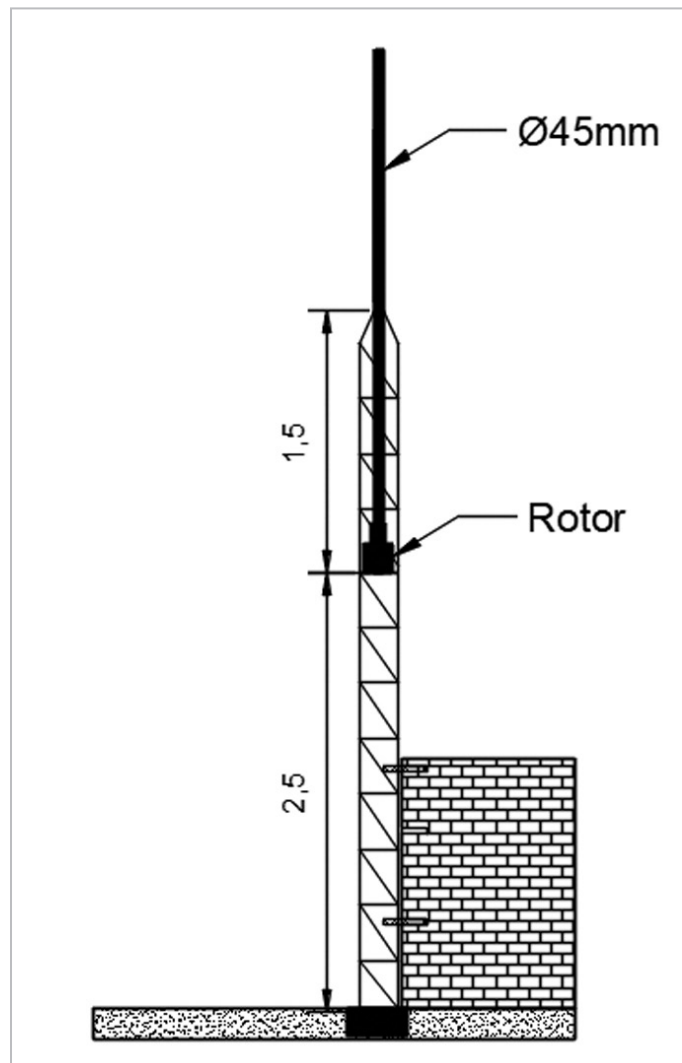


Figura 4. Torre básica con mástil

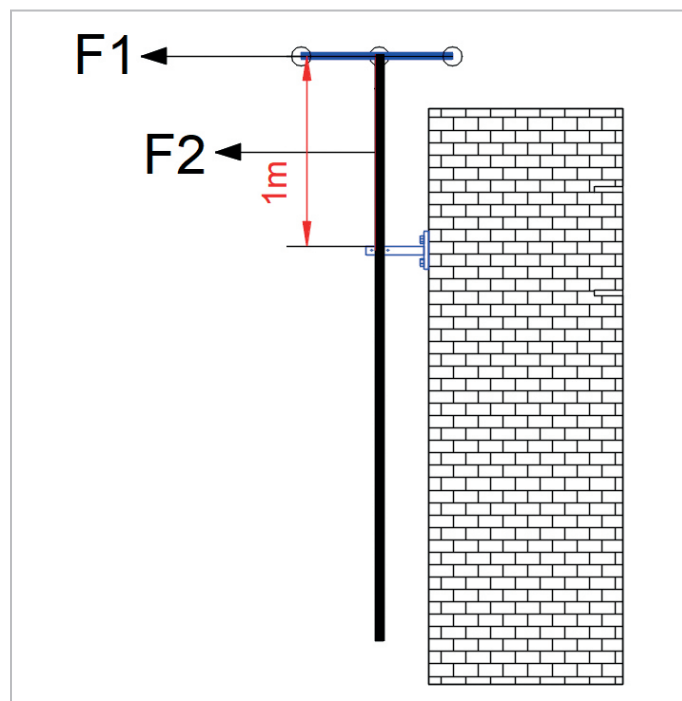


Figura 5. Fuerzas que se producen

Momento flector

¿Qué es? Es el par que se produce por la fuerza que se ejerce en el extremo de un mástil por culpa del viento que incide en la antena allí instalada multiplicada por la distancia al punto de apoyo o sujeción. Así de fácil. Se multiplica esa fuerza por la distancia a la sujeción. El resultado es el momento flector que produce la antena en ese mástil. Si te pasas de momento flector corres el riesgo de que el mástil se doble con el viento y no vuelva a su posición inicial. Mala cosa. La fuerza que se ejerce en un mástil por culpa del viento provoca que el mástil flexione ligeramente; el máximo está en el punto en que no volvería a su posición inicial, entonces queda doblado. Hasta ahí se puede llegar como máximo.

La fuerza a la que se refiere es la que produce la presión del viento en la antena y se mide en *newtons* o en kilos. Generalmente, el momento flector que soporta un mástil lo da el fabricante en *newtons* × metro, porque, como he dicho, responde a fuerza por distancia. Por ejemplo, un mástil de 3000 × 45 × 2 mm tipo 3010 de la firma Televis, soporta unos 657 Nm (*newtons* por metro).

El mástil tiene lo que se llama “momento intrínseco”, es decir, también participa en su propio momento flector, así pues tiene que participar en los esfuerzos a que se somete a sí mismo.

Aquí estamos, aquí te quiero ver; seguro que has llegado hasta aquí, sano y salvo. No te ha pasado nada. Nada más que has aprendido un poco más de estos temas. Venga, sigue, que puedes.

Ahora tenemos un ejemplo de una antena de medio metro cuadrado en extremo de un mástil de 1 m de voladizo. El momento flector es una regla de tres. Una suma de esfuerzos de la antena y del propio mástil. Tan sencillo. Suponte sujeto el mástil, dejando un voladizo de 1 m. Un mástil de 45 mm de diámetro. No, no lo has cortado (eso es una cosa seria, aunque no lo parezca), lo tienes sujeto dejando 1 m de voladizo. Veamos cómo sufre el pobre.

El momento flector será el resultado de la suma del momento que produce la antena y el momento que produce el propio mástil; momento intrínseco, decíamos. La antena es empujada con una fuerza y el mástil con otra fuerza, cada una de un valor. La fuerza de la antena (F1) se aplica en el extremo del mástil, donde está sujeta, y la fuerza que incide sobre el mástil (cuando es una superficie cilíndrica vertical) (F2) se considera que se aplica en el punto medio de su longitud en voladizo. Mira la figura 1.

Cada una de estas fuerzas produce un momento flector (ganas de doblar el mástil) respecto a la sujeción que hay. La antena producirá un momento flector resultado de multiplicar su carga al viento (Qa) por la distancia a la sujeción que es de 1 m. Así pues, la antena producirá un momento flector, Ma, así:

$$\blacktriangleright Ma = Qa \times 1 \text{ m} = 371 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 371 \text{ Nm (newtons-metro)}$$

El mástil producirá un momento flector, Mm, resultado de su carga al viento por la distancia de aplicación de la fuerza al punto de sujeción, así:

$$\blacktriangleright Mm = 33,4 \text{ N} \times 0,5 \text{ m} = 16,7 \text{ Nm}$$

Entonces, el resultado total de los momentos producidos por la antena y el propio mástil será la suma de ambos. Es decir:

$$\blacktriangleright M_{\text{Ftotal}} = Ma + Mm = 371 \text{ Nm} + 16,7 \text{ Nm} = 387,7 \text{ Nm}$$

Esto va a sufrir, en principio, dicho mástil. Suelo aplicar un coeficiente de seguridad del 50 %; así pues añadimos un 50 % a ese valor:

$$\blacktriangleright 387,7 \text{ Nm} + (50 \% \times 387,7 \text{ Nm}), \text{ o lo que es lo mismo: } 387,7 \text{ Nm} \times 1,5 = 581,5 \text{ Nm}$$

Si suponemos que vamos a utilizar en el ejemplo un mástil

del tipo 3000 × 45 × 2 mm, es decir, de 3 m de longitud, 45 mm de diámetro y 2 mm de pared, como puede ser, por ejemplo, el modelo 3010 de Televis que presenta un momento flector máximo de unos 657 Nm, diríamos que ese mástil CUMPLE.

Los mástiles que se suelen utilizar, yo al menos, son del tipo “carraqueados”, es decir, que se ensamblan unos con otros, y, por otro lado, son galvanizados. Tienen un tratamiento específico para evitar la oxidación. Es por eso que no se pueden cortar en trozos si no se les da, entonces, un tratamiento de galvanizado en frío.

Seguridad

Cuando se calcula el momento flector al que va a estar sometido un mástil o una torre, yo le aplico un coeficiente de seguridad para garantizar que va a soportar la fuerza del viento en la o las antenas que va a sujetar, por eso le añado un 50 % de margen, que es como multiplicar el resultado que me da por 1,5. Así duermo más tranquilo.

Has llegado hasta aquí, has aprendido a calcular la carga al viento de una antena, de un mástil y has aprendido a calcular el momento flector que se produce en un mástil por él mismo y por la antena que tiene en su extremo. Has aprendido un 50 % de todos estos cálculos para hacer una memoria descriptiva.

¿Qué te queda por saber de este capítulo tan fácil? Te queda por saber si el soporte que sujeta el mástil aguanta el tirón de la fuerza del viento, que tiende a arrancar todo el sistema de donde está sujeto. Fíjate, haya o no un soporte más abajo (que lo habrá) y para nuestra suerte. Cómo no lo va a haber. Observa la figura 2. Podrías pensar que ante la fuerza del viento son los dos soportes los que se ayudan mutuamente a soportar el sistema, y tienes razón. Vamos a pensar que solo el primer soporte se va a llevar todo el trabajo de sujetar el sistema y vamos a creer que hay una fuerza que tiende a arrancar el soporte con todo el sistema de la pared. Este soporte vamos a suponerlo de un modelo tipo 2401 de Televis, o similar, que está sujeto a la pared con cuatro tornillos cuya forma ya veremos. Antes debemos entender qué fuerzas van a presentarse en ese soporte como si fuera el único que sujeta el

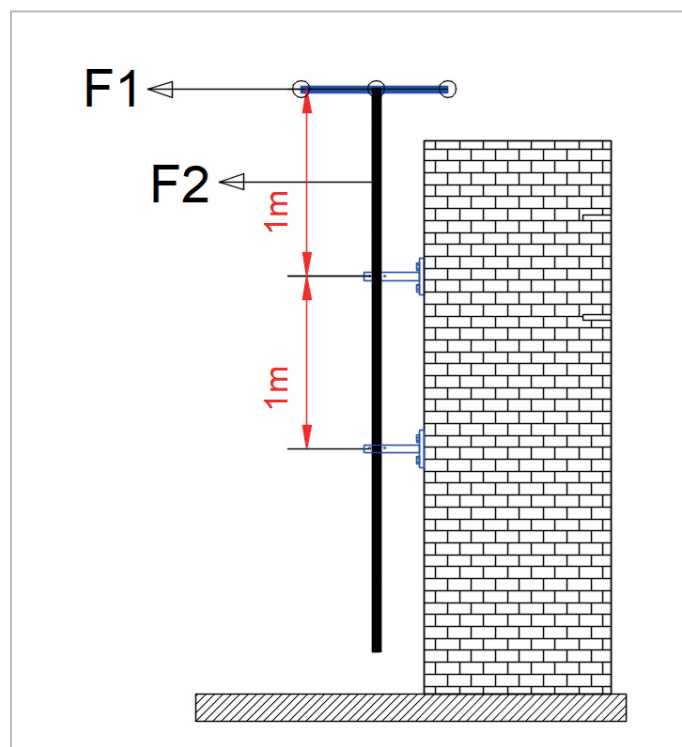


Figura 6. Con los dos soportes

sistema de antena (mástil + antena). Esa fuerza que resulta en ese soporte (recuerda, único por conveniencia) será la suma de las dos fuerzas existentes, F1 y F2, que son:

► $F_t = F_1 + F_2 = 371\text{ N} + 33,4\text{ N} = 404,4\text{ N}$

Si dicho soporte se sujeta al muro, por ejemplo, con cuatro tornillos (figura 3), cada tornillo soportaría (seguimos suponiendo) un esfuerzo de unos 100 N (dividiendo por cuatro el resultado anterior).

Para esta clase de soportes se utilizan tornillos expansivos con o sin taco químico. De esto se aprende de HILTI, que tiene unas opciones para estos anclajes (ver el cuadro adjunto al final).

Peso del material

Hay que considerar, aunque es menos importante, pero lo es, el peso del material sobre el (los) soporte(s) que sujetan el mástil al muro portante. Es una fuerza adicional y vertical que hay que tener un poco en cuenta. Este peso es el peso de la antena más el del mástil. Si suponemos que una antena pesa unos 2 kg y el mástil unos 6 kg, en la vertical consideraríamos unos 8 kilos, que pasados a *newtons* (multiplicando por 9,8 *newtons*/kg) serían alrededor de 80 *newtons*. Así pues, tendríamos una fuerza perpendicular al muro de unos 400 N y una vertical de unos 80 N. Observa el cuadro de los anclajes HILTI y deduce qué tornillo con taco químico o metálico puedes utilizar. El taco químico es muy aconsejable y se usa en ladrillo que es hueco. Ya verás que cada tornillo soporta 1.000 *newtons*, con lo que vas muy sobrado. Recuerda que aún hay otro soporte más abajo, que se anclará de igual forma. El sistema así instalado estará muy seguro.

Si has llegado leyendo hasta aquí, has aprendido a calcular un sistema sencillo de instalación de un mástil con una antena en su extremo. No, no es más difícil otro sistema de antena; un poco más laborioso sí, simplemente hay que tener más cosas en cuenta, solo multiplicar y sumar. Es muy sencillo. Más que otros conceptos más difíciles en nuestro mundo de radioaficionados. Hasta la próxima.

Tarea:

¿Soportaría ese esfuerzo un mástil tipo 3009 de Televés, de 2500×40×2 mm de 508 Nm de momento flector máximo con esa misma longitud en voladizo?

TIP: Si es que sí, vale. Si es que no, ¿qué voladizo debería tener como máximo?■

■ La idea es calcular la instalación para una fuerza del viento determinada y la antena puede que no la soporte. [...] Porque una cosa es el viento presionando en nuestra instalación y otra son las terribles ráfagas



Figura 7. Soporte 2401 Televés

HILTI				
ANCLAJE QUÍMICO		Valores en kN		
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	

Figura 8. Cuadro de anclajes HILTI

Por qué y cómo se hacen los cálculos para las memorias técnicas (II)

Diego Doncel

EA1CN

doctorohmio@gmail.com



Hola de nuevo. Si has leído el capítulo anterior, ya has aprendido cómo hacer los cálculos para un supuesto de una antena ideal y sencilla en un mástil sujeto a un paramento vertical. Ya es mucho, aunque no lo parezca.

En este capítulo vamos a ver cómo sería una antena real en un mástil que estaría sujeto también a un muro o paramento vertical.

Antes de empezar, voy a recordarte un resumen de lo que debes conocer antes de ponerte a hacer cálculos:

- ▶ La superficie de las antenas que vayas a utilizar.
- ▶ El mástil y su superficie.
- ▶ Si es una torreta, lo mismo, su superficie.
- ▶ El tipo de soporte que se va a utilizar, anclaje, zapata, etc.

La superficie de la(s) antena(s) suelen darla los fabricantes, si no, pues se estima como mejor puedas con los diámetros y medidas que tenga. El mástil es fácil, el que más. Para las torretas basta con mirar las características que da el fabricante, porque suelen darlas casi siempre.

Nuestro ejemplo

Vamos a considerar una antena típica de V/UHF bibanda del tipo Diamond X510N. La he escogido porque es especialmente larga, para que aprendamos cómo se tratan antenas de cierta longitud de radiante.

El fabricante de esta antena, entre las características que nos importan, destaca que necesita un mástil de diámetro comprendido entre 30 mm y 62 mm, que la antena tiene una longitud de 5,2 m, un peso de 2 kg y que soporta una velocidad del viento de 40 m/s.

Hay que tener en cuenta un concepto muy importante que debe quedar claro. Yo calculo las instalaciones de las antenas para una velocidad del viento de 150 km/h, que ya es bastante (41,66 m/s). Puede ser que la o las antenas que se pongan, según el fabricante, no soporten esta velocidad; en cuyo caso, de producirse un fenómeno atmosférico de condiciones extremas, el soporte de la o las antenas (mástil, torre, etc.) resistiría ese viento y la antena no. Esto puede ocurrir y no podemos hacer nada, nada más que cruzar los dedos.

En este caso, el fabricante dice que la antena soportaría una velocidad de 40 m/s, que, pasada a km/h, supondría convertir los 40 m en kilómetros y los segundos en horas, es decir:

▶ 40 m son 0,04 km y 1 h será 3.600 s; así pues corresponden con 144 km/h. Pues eso. No está mal.

En este ejemplo para aprender a calcular los esfuerzos y el mástil, vamos a hacer dos supuestos: uno con un mástil de 40 mm de diámetro y otro con un mástil de 45 mm de diámetro. En el primer caso, estableceremos un voladizo de 1 m y en el segundo caso lo estimaremos de 1,5 metros, ya que es más grueso y aguanta más momento flector.

El mástil de 40 mm de diámetro y 2 mm de pared tiene (según Televés) un momento flector máximo de 508 Nm; y el mástil de 45 mm de diámetro y 2 mm de pared tiene (según Televés) un momento flector máximo de 656 Nm. Para saber esto solo hay que consultar la tabla de mástiles de esa firma.

Primer supuesto, mástil de 40 mm y voladizo de 1 m

Observa la figura 1, donde se ve la posible instalación.

He recortado un poco el dibujo de la antena para que quepa bien en esta página; como se ve, esta antena tiene 5,2 m de longitud y unos radiales de 5 mm de diámetro y 50 cm de longitud. Estimaremos que el radiante es un cilindro de unos 2 cm de diámetro. Los cálculos que vamos a aprender a hacer son aproximados, es decir, aproximando hacia arriba para tener un poco más de seguridad y facilitar las operaciones.

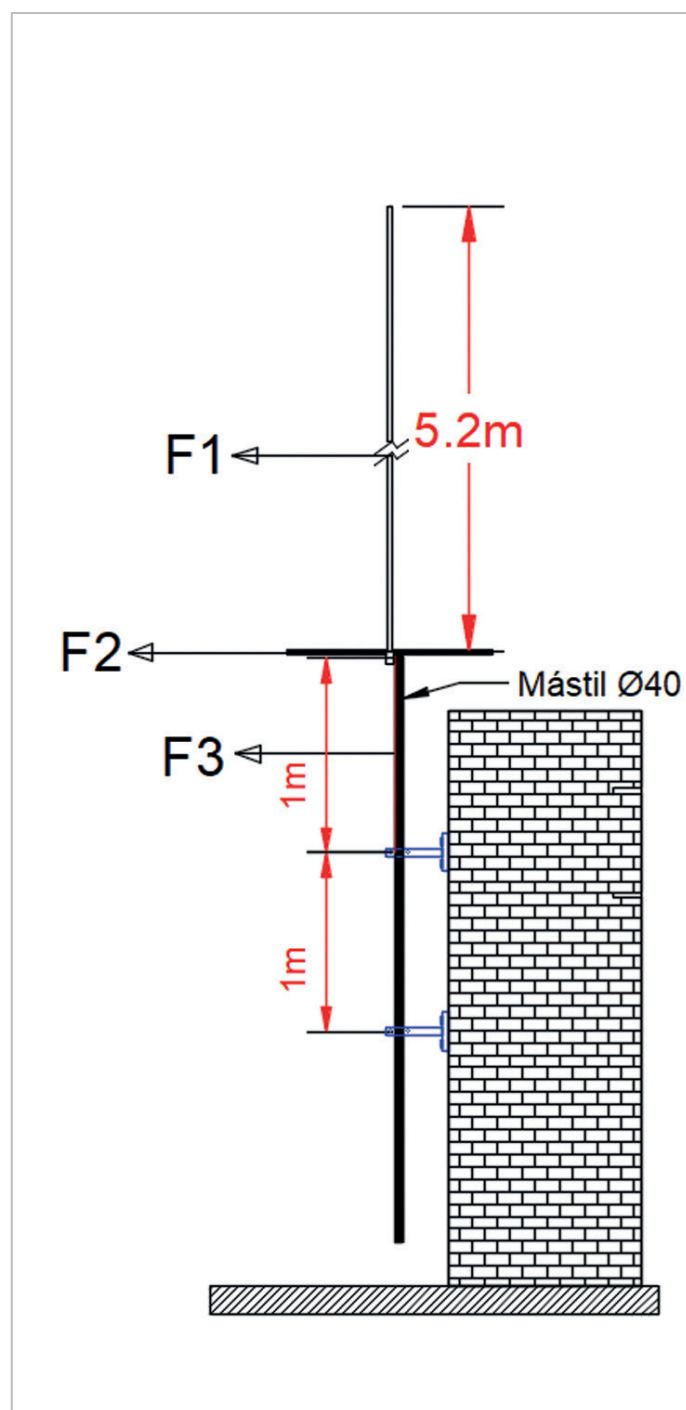


Figura 1. Con mástil de 40 mm

Lo primero que tenemos que ver es la superficie de cada parte de la instalación, para saber las diferentes cargas al viento que tienen. Consideraremos una presión del viento de $P_v = 1.060 \text{ N/m}^2$, y un coeficiente eólico $C_e = 0,7$ (ver el capítulo anterior). También consideraremos que el viento empuja a dos de los tres radiales al mismo tiempo.

Carga al viento de la antena

- **Superficie del radiante:** $S_r = 0,02 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} = 0,104 \text{ m}^2$
- **Carga al viento del radiante:** $Q_a = 0,104 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 77,1 \text{ N}$
- **Superficie de los radiales:** $S_r = 2 \times 0,005 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,005 \text{ m}^2$
- **Carga al viento de los radiales:** $0,005 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 3,7 \text{ N}$
- **Superficie del mástil:** $S_m = 0,04 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,04 \text{ m}^2$
- **Carga al viento del mástil:** $Q_m = 0,04 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 29,68 \text{ N}$

Ahora vamos a ver las fuerzas que intervienen en la instalación:

- **F1** es la fuerza en el punto medio del radiante de la antena;
- **F2** es la fuerza que se produce por los radiales; y
- **F3** es la fuerza en el centro del mástil en voladizo.

Así pues:

- **F1** = 77,1 N
- **F2** = 3,7 N
- **F3** = 29,68 N

Ahora vamos a calcular el momento flector a que está sometido el mástil respecto al primer anclaje que lo sujeta. Como sabemos, los momentos flectores se calculan multiplicando la fuerza por la distancia al punto de sujeción. Recordemos que en el caso del radiante y del mástil, el punto de aplicación es el punto medio de su altura (eso se llama “cargas distribuidas”, un concepto a recordar). Así pues, cada momento será de la siguiente forma:

■ *“Antes de ponerte a hacer cálculos debes conocer lo siguiente: La superficie de las antenas que vayas a utilizar; el mástil y su superficie; si es una torreta, lo mismo, su superficie; y el tipo de soporte que se va a utilizar, anclaje, zapata, u otro”*

- **Momento de la antena:** $M_a = F_1 \times (1 \text{ m} + 2,6 \text{ m}) = 77,1 \text{ N} \times 3,6 \text{ m} = 277,56 \text{ Nm}$
- **Momento de los radiales:** $M_r = F_2 \times 1 \text{ m} = 3,7 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 3,7 \text{ Nm}$
- **Momento del mástil:** $M_m = F_3 \times 0,5 \text{ m} = 29,68 \text{ N} \times 0,5 \text{ m} = 14,84 \text{ Nm}$

Si sumamos los tres momentos, nos dará un total de 296,1 Nm; y, si aplicamos un porcentaje del 50% de seguridad, nos dará un resultado total de:

- $M_{Ft} = 296 \text{ Nm} \times 1,5 = 444 \text{ Nm}$ (aproximadamente)

Que es menor que los 508 Nm que soporta como máximo dicho mástil. Así pues, el mástil, para esa longitud en voladizo, cumple. Probablemente, podríamos adoptar un poco más de voladizo, pero no es necesario; aunque podría hacerse.

Hasta aquí ha quedado claro, espero, cómo se ha calculado ese momento flector para ese mástil de 40 mm de diámetro. Estoy seguro de que lo has entendido.

Tarea: ¿Cuánto sería, teóricamente, la máxima longitud del mástil de 40 mm en voladizo?

Segundo supuesto, mástil de 45 mm y voladizo de 1,5 m

Observa la figura 2, donde se ve la posible instalación.

Al igual que antes, repetimos los cálculos con el nuevo mástil. Veamos:

Carga al viento de la antena

- **Superficie del radiante:** $S_r = 0,02 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} = 0,104 \text{ m}^2$
- **Carga al viento del radiante:** $Q_a = 0,104 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 77,1 \text{ N}$
- **Carga al viento de los radiales:** $0,005 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 3,7 \text{ N}$
- **Superficie del mástil:** $S_m = 0,045 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 0,0675 \text{ m}^2$
- **Carga al viento del mástil:** $Q_m = 0,0675 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 50 \text{ N}$

Ahora vamos a ver las fuerzas que intervienen en la instalación.

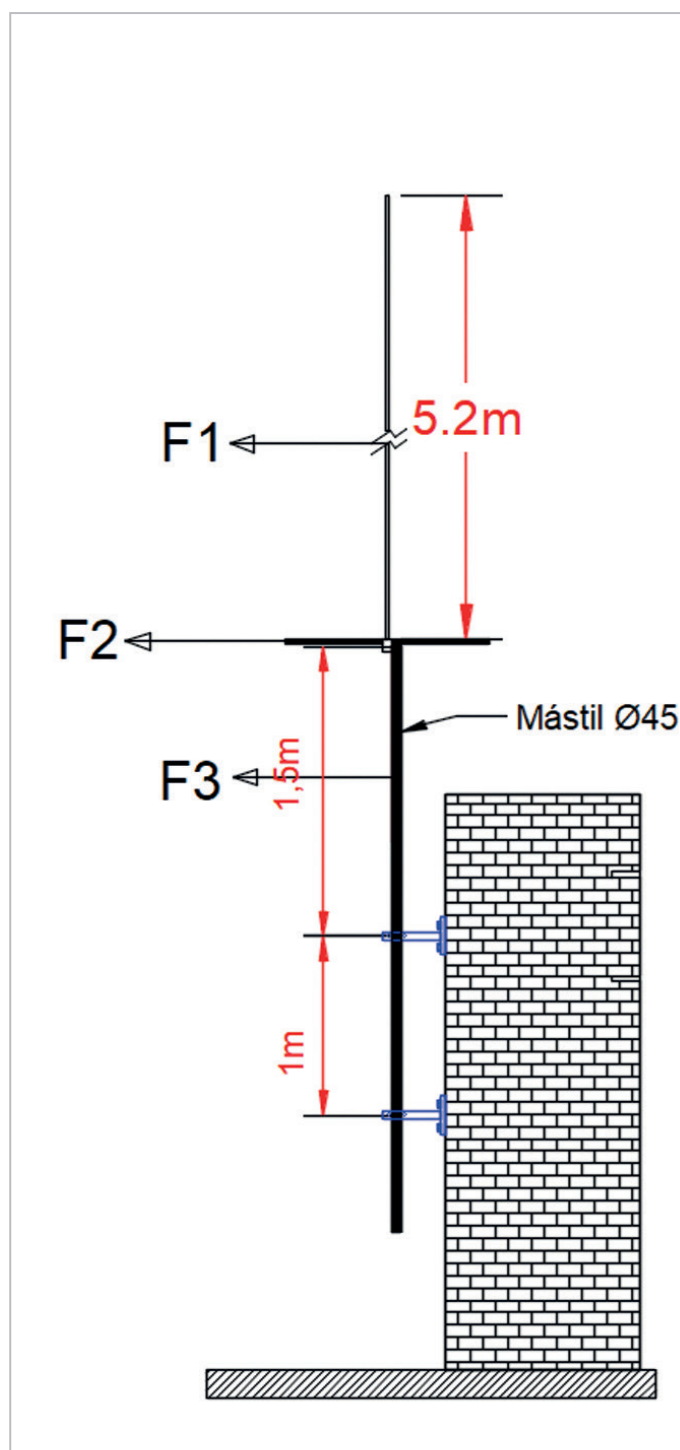


Figura 2. Con mástil de 45 mm

- **F1** es la fuerza en el punto medio del radiante de la antena;
- **F2** es la fuerza que se produce por los radiales; y
- **F3** es la fuerza en el centro del mástil en voladizo.

Así pues:

- **F1** = 77,1 N
- **F2** = 3,7 N
- **F3** = 50 N

Como la vez anterior, vamos a calcular los diversos momentos flectores. Atención:

- **Momento de la antena:** $M_a = F1 \times (1,5 \text{ m} + 2,6 \text{ m}) = 77,1 \text{ N} \times 3,6 \text{ m} = 316 \text{ Nm}$
- **Momento de los radiales:** $M_r = F2 \times 1,5 \text{ m} = 3,7 \text{ N} \times 1,5 \text{ m} = 5,55 \text{ Nm}$
- **Momento del mástil:** $M_m = F3 \times 0,75 \text{ m} = 50 \text{ N} \times 0,75 \text{ m} = 37,5 \text{ Nm}$

Si sumamos los tres momentos, nos dará un total de 360 Nm (aproximadamente); y, si aplicamos un porcentaje del 50% de seguridad, nos dará un resultado total de:

- **Mft** = $360 \text{ Nm} \times 1,5 = 538 \text{ Nm}$ (aproximadamente)

Que es menor que los 656 Nm que soporta como máximo dicho mástil. Así pues, el mástil, para esa longitud en voladizo, cumple. Probablemente, podríamos adoptar un poco más de voladizo, pero no es necesario; aunque podría hacerse.

Tarea: ¿Cuánto sería, teóricamente, la máxima longitud del mástil en voladizo siendo de 45 mm de diámetro?

Soportes y anclajes

Ya hemos visto en el capítulo anterior cómo se deciden y se tratan los anclajes. Aquí no hay que calcular nada, no hay que utilizar expresiones matemáticas. Hay que ver con qué fuerza trata el viento de arrancar el (los) soporte(s) de su anclaje y decidir con qué tornillos se sujetan. Podría decidirse por un anclaje empotrado en la pared, haciendo una pequeña obra de albañilería con cemento, pero el procedimiento de anclajes con tornillería expansiva es mucho más rápido y, según los casos, fiable y más fácil y limpio. Pero la otra opción es considerable, ciertamente.

Hay que calcular la fuerza con la que el viento intenta arrancar el soporte de su anclaje. Para ello tenemos que conocer, como vimos en el capítulo anterior, dos valores: la fuerza horizontal que tiende a arrancar el soporte de la pared, y la fuerza vertical, que es el peso del sistema sobre el soporte.

Fuerza horizontal

Será la suma de todas las fuerzas que intervienen en el sistema.

Primera opción: mástil de 40 mm

Fuerza total horizontal = $F1 + F2 + F3 = 77,1 \text{ N} + 3,7 \text{ N} + 29,68 \text{ N} = 111 \text{ N}$ (aproximadamente)

- **Fuerza vertical (peso)** = peso de la antena + peso del mástil = $2 \text{ kg} + 5 \text{ kg} = 7 \text{ kg} \rightarrow 70 \text{ N}$ (aproximadamente)

Segunda opción: mástil de 45 mm

- **Fuerza total horizontal** = $F1 + F2 + F3 = 77,1 \text{ N} + 3,7 \text{ N} + 50 \text{ N} = 131 \text{ N}$ (aproximadamente)

- **Fuerza vertical (peso)** = peso de la antena + peso del mástil = $2 \text{ kg} + 6 \text{ kg} = 8 \text{ kg} \rightarrow 80 \text{ N}$ (aproximadamente)

Hay que tener en cuenta que tenemos dos soportes, por lo que estos esfuerzos se repartirían entre ambos. Para el caso es casi igual, porque con los anclajes que vamos a diseñar vamos sobrados de seguridad.

Como en el artículo anterior, primera parte, utilizaríamos los anclajes HILTI (figura 3), cuyo cuadro vamos a reproducir ahora, y ello implicaría utilizar tornillos expansivos de M6 o M8 con taco químico o metálico (ver el cuadro adjunto).

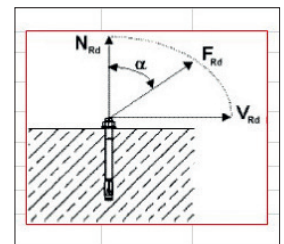
Próximo capítulo: mástil con rotor y riostras.

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 × 97 mm		11,1	17,8

Figura 3. Tabla de anclajes de Hilti

Apéndice de este capítulo

Llegado a este punto, creo que puede ser interesante que comprendas algunos conceptos que se refieren al mástil, ya que es el elemento más crítico de la instalación y el que va a sufrir más por la presión del viento. Así pues, si quieres, puedes seguir leyendo esta parte para tener algunos conceptos claros.



Mástiles para las antenas

En general, las antenas de radioaficionado se soportan por mástiles de uno u otro tipo que, a su vez, pueden estar sujetos bien por soportes normalizados en muros portantes o por torretas, ya sean de tipo triangular con rotor incluido o autosoportadas, en las que se han hecho las adaptaciones adecuadas para incluir un rotor de antenas.

La mayoría de las veces estos mástiles son adquiridos en comercios que distribuyen marcas conocidas de material de instalación de telecomunicaciones. Excepcionalmente se utilizan tubos de otro tipo para la sujeción de las antenas. Si bien en esta obra se referirán a mástiles y torres de conocidas marcas comerciales y fácil adquisición, al final se dará alguna orientación de cálculo o descripción de otro tipo de tubos.

Los mástiles tienen tres características fundamentales:

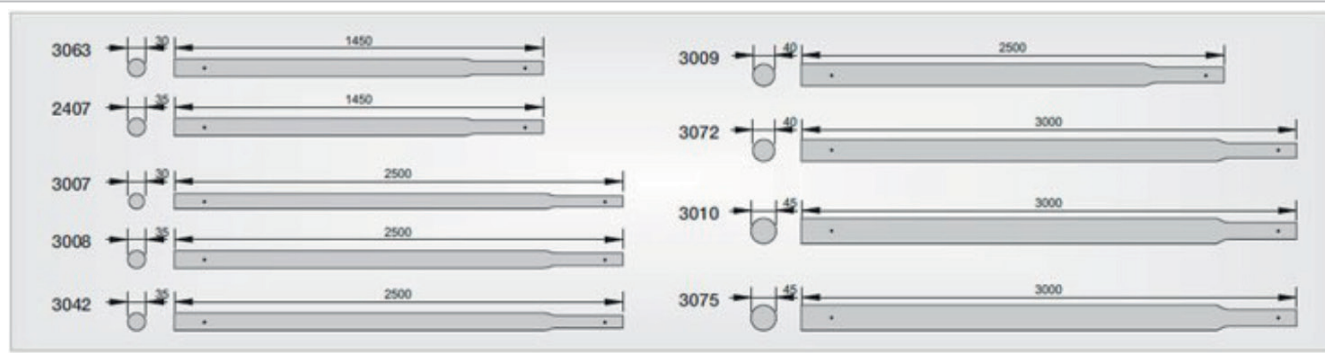
- Longitud (L).
- Diámetro (D).
- Espesor (E).

En la figura 1 puede verse una tabla de mástiles de la firma Televés con sus características más destacables.

En términos generales, las instalaciones de los radioaficionados se realizan en mástiles de dos clases fundamentales:

- **Carraqueados o enlazables:** son un tipo de mástiles, como los reflejados en la tabla anterior, que se enlazan entre sí utilizando un tornillo con tuerca, disponiendo cada uno de una parte más delgada para la conexión con otro igual.
- **Telescópicos:** este tipo es un modelo que, como su propio nombre indica, se extiende en la longitud total que tiene, asegurando sus partes con el correspondiente tornillo de fijación incorporado.

En esta obra se referirá al uso de mástiles carraqueados, si bien la utilización de los mástiles telescópicos no difiere exageradamente de los cálculos que se presentan. Los tubos de fontanería de hierro no son adecuados en ningún caso, pues están diseñados para la compresión interior y no para flexión.



Diagramas de mástiles Televisivos con sus características más importantes:

- 3063: 30 mm de diámetro, 1450 mm de longitud.
- 2407: 35 mm de diámetro, 1450 mm de longitud.
- 3007: 30 mm de diámetro, 2500 mm de longitud.
- 3008: 35 mm de diámetro, 2500 mm de longitud.
- 3042: 35 mm de diámetro, 2500 mm de longitud.
- 3009: 40 mm de diámetro, 2500 mm de longitud.
- 3072: 40 mm de diámetro, 3000 mm de longitud.
- 3010: 45 mm de diámetro, 3000 mm de longitud.
- 3075: 45 mm de diámetro, 3000 mm de longitud.

Referencias		3007	3008	3009	3010	3072	3042	3063	2407	3075 ⁽¹⁾
Longitud		2500			3000		2500	1450		3000
Diámetro	mm	30	35	40	45	40	35	30	35	45
Espesor		1	1,5	2	2	2	1	1	1,5	2
Momento flector ⁽¹⁾	Nxm	149,85	299,70	508,75	656,75	508,75	207,20	149,85	299,70	656,75

⁽¹⁾ Rojo

Momento Flector = $\frac{\text{Momento Flector Límite Elástico}}{1,85}$

Figura 4. Tabla de mástiles Televisivos con sus características más importantes

Además, y muy frecuentemente, se utilizan dos tipos de mástiles: los que miden 2,5 m y 40 mm de diámetro con pared interna o espesor 2 mm, o los que miden 3 m y 45 mm de diámetro con pared interna o espesor 2 mm, dependiendo del tipo de antena que se vaya a incorporar a dicho mástil.

Aunque, por la fabricación de los mástiles, hay diversos tipos de material, recubrimiento y acabado, en esta obra me referiré exclusivamente a los mástiles de tipo acero cincado, a veces con el tratamiento RPR (recubrimiento protector reactivo, patentado por Televis), que los dota de una resistencia a la aparición de óxido superior a 500 horas en cámara de niebla salina (5 % de sal, 1 atmósfera, 35 °C).

Momento flector

El momento flector de un mástil se produce por la fuerza que ejerce el viento sobre todas las antenas y el propio mástil en el extremo superior del empotramiento o anclaje del mástil. Se mide en Nm (newton por metro) porque es el resultado de fuerza por distancia.

Momento, por la ley de la palanca, es igual a la fuerza que se aplica multiplicada por la distancia al punto de apoyo o sujeción.

Momento = fuerza × distancia al punto de apoyo o sujeción.

Si en la figura consideramos a Q_a como la carga que produce una antena (por ejemplo horizontal, Yagi) en el extremo del mástil que tiene una carga Q_m , el momento flector a que está sometido el mástil respecto a su fijación, y que se representa como un empotramiento a la derecha, sería:

► **Momento flector que produce la antena (es una carga puntual):** $M_a = Q_a \times 2 \text{ m}$

► **Momento flector que produce el propio mástil (carga distribuida, la fuerza se aplica en el centro):** $M_m = Q_m \times 1 \text{ m}$

Ejemplo: si la antena tiene un $Q_a = 60 \text{ N}$ y el mástil tiene un $Q_m = 30 \text{ N/m}$, el momento flector total sería: $M_T = 60 \text{ N} \times 2 \text{ m} +$

$30 \text{ N/m} \times 2 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 180 \text{ Nm}$

Y para saber si el mástil soportaría dicho momento y estaría más seguro, se aplica un coeficiente de seguridad del 50%, quedando: $M_T = 180 \text{ Nm} \times 1,5 = 270 \text{ Nm}$

Límite elástico y límite de rotura

Citando los manuales de asistencia técnica de Televis, podemos comprender estos conceptos de la forma siguiente:

Un momento flector provoca en un tubo un esfuerzo de compresión en una “cara” y un esfuerzo de tracción en la “cara” opuesta.

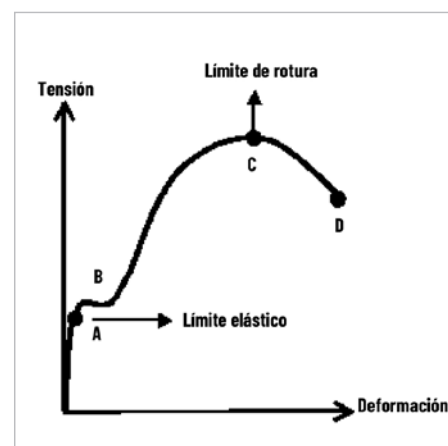
La deformación del acero sometido a tracción/compresión, sigue la gráfica adjunta:

1. En los primeros valores de tensión la deformación es inapreciable.

2. En un determinado momento, la deformación empezaría a ser patente. Existe un punto de tensión máxima en el que, si la tensión desapareciera, se recuperaría la forma original del tubo (A). Llegado a este punto, aun manteniéndose constante la tensión, la deformación sigue aumentando (zona B).

3. Si la tensión sigue subiendo, llega un punto donde el tubo se dobla. Es el límite de rotura (C). En este punto, el material empieza a tener un comportamiento mecánico diferente, de manera que, aunque se disminuya la tensión, la deformación sigue aumentando.

Se definen por tanto dos puntos a considerar en el cálculo del momento flector del mástil: límite elástico y límite de rotura, como hemos visto. Siempre estaremos atentos al primer límite para no llegar al segundo límite. ■



Por qué y cómo se hacen los cálculos para las memorias técnicas (III)

Diego Doncel
EA1CN
doctorohmio@gmail.com



Bienvenido a esta tercera parte de “Quiero aprender a calcular mi instalación”. Como imaginas, son muy diversas las posibilidades que un radioaficionado tiene de instalaciones de antenas, infinitas casi. Pero unas y otras, como estamos viendo, tienen componentes comunes: antenas, mástiles, torretas, rotor, soportes y anclajes. Y los cálculos que hay que hacer se resumen siempre en los mismos objetivos: calcular las superficies, cargas al viento, esfuerzos, momentos flectores y decidir los soportes o anclajes que se utilizarán, rios-tras en su caso. Verás que en muchas operaciones los resultados los clasificamos como “aproximadamente”; en otras las consideramos con menos decimales. Esto es porque, si redondeamos los valores a mayores, lo que conseguimos es menos decimales. Al final, ya verás, nos dará igual en la toma de decisiones, que es lo importante.

Esta vez voy a desarrollar un tema que, aunque sencillo, sirve de base para otros más complicados. Vamos a pensar en una antena direccional, sobre un mástil con un rotor y todo arriostrado con un juego de tres riostras. Así aprendemos a calcular otra cosa más de nuestros sistemas: los diámetros mínimos de las riostras que se utilizarán.

Para este ejemplo, vamos a pensar en una antena direccional de tres elementos para 28 MHz; pero piensa que, si entiendes los cálculos y aprendes a utilizarlos, adaptarías cualquier otro tipo de antena a tu instalación, sin más que recalcular los valores, nada difícil. Adelante.

Ejemplo para una antena de cuatro elementos

La antena que proponemos tendría estas características:
Características mecánicas de la antena SIRIO SY27-4

- ▶ Dimensiones antena: $5.846 \times 4.030 \times 100$ mm.
- ▶ Dimensiones boom: 4,03 m.
- ▶ Diámetro elementos: 16-12-8 mm.
- ▶ Peso: 6,10 kg.
- ▶ Mástil-sección: diámetro 35-50 mm.

El fabricante dice que la antena soporta vientos de 120 km/h, de manera que si calculamos la instalación para que soporte vientos de 150 km/h y se producen estos vientos o sus rachas, al menos salvamos el resto, que no la antena. O sí.

En este caso necesitamos, como siempre, saber la superficie de la antena. Vamos a realizar un cálculo aproximado. Para ello consideremos que tiene cuatro elementos de unos 5,8 m cada uno de longitud (aproximada), y cuyos diámetros de promedio son 16, 12 y 8 mm; como nos falta un elemento, lo consideraremos de 12 mm. Así pues, las superficies de los elementos serían:

- ▶ Superficie elementos: $5,8 \text{ m} \times (0,016 \text{ m} + 0,012 \text{ m} + 0,012 \text{ m} + 0,008 \text{ m}) = 0,3 \text{ m}^2$ (aproximadamente).

El boom central tiene una longitud de 4,03 m y un diámetro de 33 mm, por lo que su superficie sería:

- ▶ Superficie boom central: $4,03 \text{ m} \times 0,033 \text{ m} = 0,13 \text{ m}^2$.

Así pues, la superficie total de la antena, teóricamente, sería de: $0,3 \text{ m}^2 + 0,13 \text{ m}^2 = 0,43 \text{ m}^2$; pero para estar más seguros, vamos a pensar en unos $0,5 \text{ m}^2$, así añadimos accesorios de montaje,

abrazaderas, etc.

Si suponemos que, ante la presión del viento, toda la antena está expuesta (que es mucho suponer) a la carga de un viento de 150 km/h, teniendo en cuenta una $P_v = 1.060 \text{ N/m}^2$ y un $C_e = 0,7$, sería:

$$Q_a = 0,5 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 371 \text{ N}$$

¿Qué rotor podríamos ponerle?

Ahora veamos el rotor que podríamos poner. Vamos a considerar un rotor tipo Yaesu G-450, con su ubicación en un mástil, aunque es un poco grande para este tipo de antena. Las características de este rotor, según el fabricante, serían:

- ▶ Peso: 3,2 kg; que añadiendo las sujeciones al mástil, serán unos 4,5 kg.
- ▶ Dimensiones: diámetro = 170 mm, y altura = 263 mm; añadimos las sujeciones al mástil, $200 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$.

Esto nos daría una superficie aproximada de $(0,170 \text{ m} \times 0,263 \text{ m}) + (0,2 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}) = 0,07 \text{ m}^2$.

Sobre los mástiles

Consideremos un mástil de 45 mm y 3 m de longitud, típico 3010 de Televés, que está sujeto en su parte inferior con unos soportes separados 50 cm, así que el voladizo serían 2,5 m.

Vamos a suponer que la antena está sujeta por un mástil de 40 mm y 0,5 m de longitud.

Todo ello quedaría de la forma indicada en la figura 1.

Si el mástil que sujeta la antena es de 40 mm, ¿a qué momento flector estará sometido?

Como hay unas riostras sujetando desde el rotor hasta arriba, el punto de sujeción del mástil será en el propio rotor, y la distancia en voladizo de dicho mástil serán 0,5 m. Vamos a estudiar esta parte en concreto.

Carga al viento de la antena:

Como hemos visto antes, $Q_a = 0,5 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 371 \text{ N}$

Carga al viento del mástil que la sujeta:

Como el mástil tiene 40 mm de diámetro y 0,5 m de longitud, su carga al viento será:

$$Q_{m40} = 0,04 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 15 \text{ N (aproximado)}$$

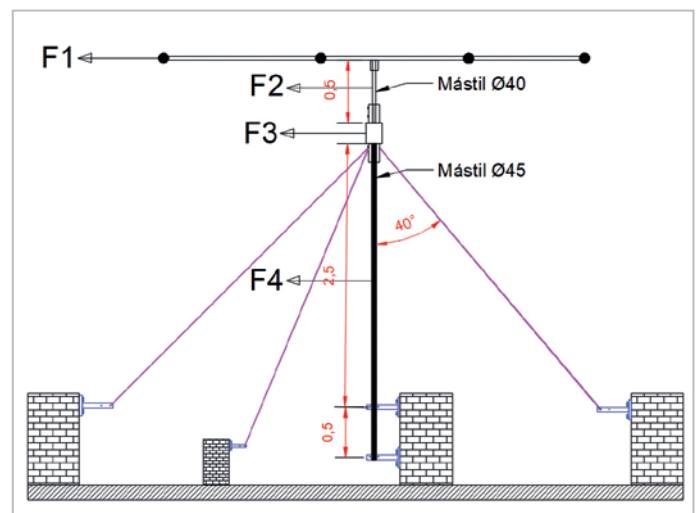


Figura 1. Esquema de la instalación

damente).

Así pues, el momento flector a que está sometido dicho mástil por la antena y él mismo será:

(Atención, la fuerza de aplicación en el mástil está a la mitad de su longitud, 0,25 m)

► $MF = Ma + Mm$

► $MF = 371 \text{ N} \times 0,5 \text{ m} + 15 \text{ N} \times 0,25 \text{ m} = 185,5 \text{ Nm} + 3,75 \text{ Nm} = 190 \text{ Nm}$, aproximadamente; que, aplicando un porcentaje de seguridad del 50 %, daría: $190 \text{ Nm} \times 1,5 = 285 \text{ Nm}$.

Vemos que el mástil previsto soporta perfectamente dicho momento flector, el cual, en el mástil es como máximo 508 Nm, de donde se deduce que podría tener un poco más de voladizo.

Tarea 1: si ponemos un mástil de 40 mm y 1 m de longitud para sujetar la antena, ¿podríamos poner la antena arriba del todo? Si fuera que sí, dílo; y si fuera que no, ¿en cuánto nos pasamos? ¿Tú qué harías en este caso? (Solución: no, te pasas un 14 % de seguridad).

Cálculo de las riostras

Esta parte siempre parece más difícil y en realidad no lo es tanto. Casi podría decirse que es tan fácil como aplicar una regla de tres (que no lo es tampoco).

Si vemos detenidamente la figura 1, entenderemos que las riostras tienen que soportar todo el esfuerzo a que somete el viento al sistema justo en ese punto donde se fijan, en la base del rotor. Vamos a suponer que el viento sopla en la dirección de una sola riostra, que sería el peor caso, y que dicha única riostra deberá soportar todo el esfuerzo a que obliga el viento, presionando en todo el sistema. Esta suposición es gratuita y, en realidad, no es probable, con lo que las tres riostras se repartirían el esfuerzo máximo a que somete el viento a una sola de ellas.

Si no estuvieran las riostras (en nuestro ideal, la riostra única), el momento flector que se produce en el soporte superior del mástil será mayor al que este aguanta, y se doblaría y se vendría todo abajo. Entonces, pensemos que en el punto de sujeción de las riostras tendrá que haber una fuerza (F) que compense o contrarreste dicho momento flector. Esa fuerza, perpendicular al mástil, sería la que haría la única riostra ideal y, como hay tres, siempre cualquiera de ellas hará un esfuerzo menor que ella.

Entonces, vamos a calcular el momento flector de todo el sistema en el soporte superior del mástil y, como consecuencia, deduciremos la fuerza que contrarreste dicho momento flector.

Momento flector de todo el sistema respecto al soporte superior

Será la suma de todos los momentos de cada parte del sistema, es decir:

- Momento por la antena.
- Momento por el mástil de 40 mm.
- Momento por el rotor.
- Momento por el mástil de 45 mm.

Cada momento estará formado por su correspondiente carga al viento multiplicado por la distancia al soporte superior. Así pues, empezamos:

Momento de la antena.

- Carga al viento de la antena: $Qa = 371 \text{ N}$.
- Distancia de la antena al soporte: $2,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = 3 \text{ m}$ (despreciamos la altura del rotor).
- Momento de la antena: $Qa \times 3 \text{ m} = 371 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 1.113 \text{ Nm}$.

Momento del mástil de 40 mm

- Carga al viento de ese mástil: $Qm1 = 15 \text{ N}$.
- Distancia del punto de aplicación (F2) de la fuerza de ese mástil

al soporte: $2,5 \text{ m} + 0,25 \text{ m} = 2,75 \text{ m}$.

- Momento de ese mástil: $Qm1 \times 2,75 \text{ m} = 15 \text{ N} \times 2,75 \text{ m} = 41,25 \text{ Nm}$. (He despreciado la longitud que proporciona el rotor, no es relevante).

Momento del rotor

- Carga al viento del rotor: $Qr = 0,07 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 = 74,2 \text{ N}$.
- Distancia del rotor al soporte (F3): $2,5 \text{ m}$.
- Momento del rotor: $Qr \times 2,5 \text{ m} = 74,2 \text{ N} \times 2,5 \text{ m} = 185,5 \text{ Nm}$.

Momento del mástil de 45 mm

- Carga al viento de ese mástil: $Qm2 = 0,045 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 83,5 \text{ N}$.
- Distancia del punto de aplicación (F4) de la fuerza de ese mástil al soporte: $2,5 \text{ m} / 2 = 1,25 \text{ m}$.
- Momento de ese mástil: $Mm2 = 83,5 \text{ N} \times 1,25 \text{ m} = 104,3 \text{ Nm}$.

■ *Los cálculos que hay que hacer se resumen siempre en los mismos objetivos: calcular las superficies, cargas al viento, esfuerzos, momentos flectores y decidir los soportes o anclajes que se utilizarán, riostras en su caso*

Momento total de todo el conjunto:

- $MT = Ma + Mm1 + Mr + Mm2 = 1.113 \text{ Nm} + 41,25 \text{ Nm} + 185,5 \text{ Nm} + 104,3 \text{ Nm} = 1.444 \text{ Nm}$.

Como es de esperar, dicho momento flector no es soportado por el mástil de 45 mm. Una fuerza que, en la base del rotor, es decir, a $2,5 \text{ m}$ de altura sobre el soporte superior, compense ese momento flector tendrá un valor mínimo de $F \times 2,5 \text{ m} > 1.444 \text{ Nm}$; por lo que dicha fuerza F será de un valor mínimo de $1.444 \text{ Nm} / 2,5 \text{ m} = 578 \text{ N}$ (aproximadamente). Si damos un margen adicional a dicha fuerza, digamos del 10 %, resultará de un valor de: $578 \text{ N} \times 1,1 = 636 \text{ N}$ (aproximadamente).

Pero este valor corresponde con una fuerza que es perpendicular al sistema, y la riostra forma un determinado ángulo con la vertical del mástil, por lo que la fuerza real tendrá un valor mayor.

Tabla 1. Valores de seno, cos y tg de ángulos aprox.

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

Ahora viene un concepto nuevo, que es el de “seno de un ángulo”. Tranquilo, eso lo da la calculadora. Dependerá del ángulo que forme la riostra con la vertical. En nuestro ejemplo hemos puesto 40°, pero puede ser diferente en cada caso y, lógicamente, tendrá un valor según el ángulo y su coseno. Eso se hace con la calculadora o, aproximadamente, con la tabla 1 que te adjunto.

Si. Aproximadamente, insisto, el ángulo que obtenemos es de 40°, el valor de esa fuerza sería:

► Fuerza de la riostra: fuerza resultante/seno del ángulo, es decir: $636 \text{ N} / 0,64 = 994 \text{ N}$.

Al final explicaré como medir ese ángulo, de forma aproximada. Todo es aproximado, excepto nuestra seguridad.

Atención: recordemos que es una suposición el que una sola riostra soportaría todo el esfuerzo, por lo que si el viento sopla (como será seguro) en otra dirección diferente, las riostras se repartirán ese esfuerzo entre ellas. Así pues, siempre vamos con ventaja. Ese valor que obtenemos lo vamos a pasar a kilogramos porque las tablas de diámetros de riostras se plantean así. Basta dividir por 9,8 ese valor, lo que resultará: $994 \text{ N} / 9,8 \text{ kg/N} = 101 \text{ kg}$.

■ *Las riostras tienen que soportar todo el esfuerzo a que somete el viento al sistema justo en ese punto donde se fijan, en la base del rotor*

Pretensado de las riostras

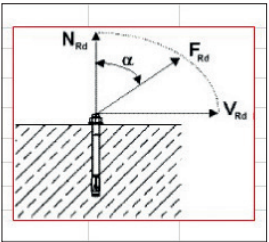
Ahora bien, una vez instalada nuestra riostra o, mejor dicho, nuestras riostras, habrá que darles un pretensado para que no estén flojas. Los fabricantes establecen un pretensado de un 10 % de la carga de rotura. A la vista de la tabla, vemos que el diámetro mínimo de la riostra con carga de rotura de 200 kg podría ser de 2 mm; así pues daríamos un pretensado de 20 kg. Sí, lo sé, Sé lo que estás pensando: ¿Cómo mido o calculo ese pretensado? Pues la respuesta es o con un aparato o a ojo. Si se hace a ojo, lo mejor es hacerlo a mano, en los tensores que pondrás: un poco en cada una de las tres, hasta que quede “un poco tenso”, pero de esto hablaremos otro día en la parte de “instalación”. Observa que, en caso de ausencia de viento, la riostra única estaría sometida a la tensión de pretensado únicamente y, en caso de viento muy fuerte (digamos 150 km/h), estaría sometida a la tensión de pretensado más la fuerza que hace contra el viento. En total serían unos 120 kg.

Tabla 2. Cables de acero para riostras				
Diametro	Sección mm²	Hilos	Carga rotura (Kp)	Carga rot. (Kp/mm²)
2	3,13	7 x 0,6	200	63,69
3	7,06	7 x 0,6	784	70,5
4	12,57	7 x 1,3	1.100	87,51
5	19,63	7 x 1,6	1.800	91,7
6	28,27	7 x 2,0	3.000	106,12

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 × 97 mm		11,1	17,8

Tabla 3. Cuadro de anclajes Hilti

También tienes que pensar que, en ausencia de viento, hay tres riostras con pretensado actuando, lo que equivaldría, aproximadamente, a sumar tres esfuerzos de pretensado con sus correspondientes componentes verticales, es decir, $3 \times 20 \times \cos 40^\circ$, y eso equivaldría a añadir al peso del sistema unos 46 kg.



Hemos llegado casi al final. Has aprendido a calcular un momento flector, a decidir si el mástil es el adecuado y a decidir el diámetro de las riostras. Te queda decidir los anclajes para los soportes del mástil y de las riostras, cosa que has aprendido en el primer capítulo (mástil). Suponiendo, claro está, que lo hayas leído y que pretendas instalarlos como te indico, con soportes del tipo 2401 de Televés (o similar), anclados con tornillos expansivos a paramento vertical. Porque otra opción sería en zapatas sobre el terreno para las riostras, o peana de hormigón armado para el mástil. Nada difícil, todo está pensado.

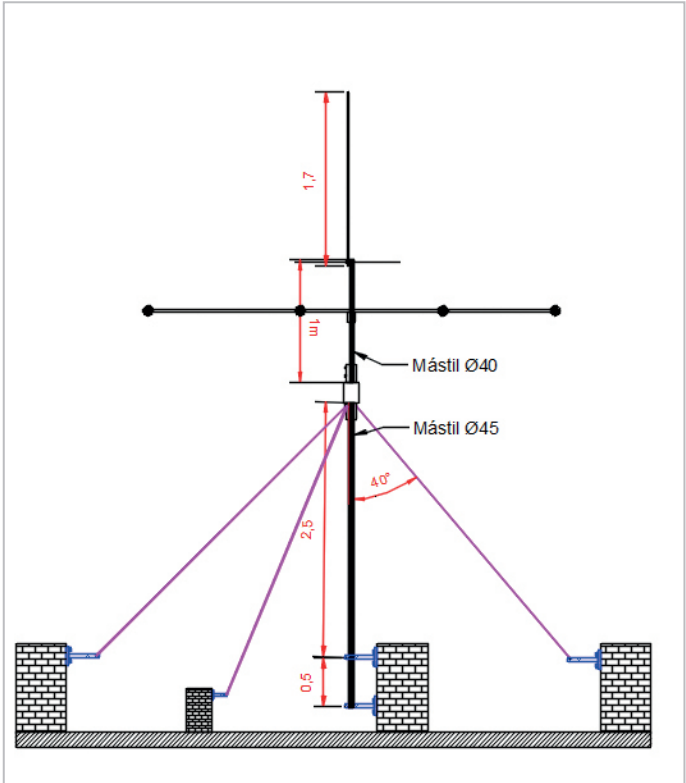


Figura 5. Fig. 2. Tarea 3

Soportes del mástil

Como hemos visto en el primer capítulo, el (los) soporte(s) del mástil están supeditados al peso que tiene el sistema. En este caso hay que añadir la componente vertical de esa fuerza que hace la riostra “única”, o sea:

- Componente vertical, que sería: $120 \text{ kg} \times \cos 40^\circ = 120 \text{ kg} \times 0,77 = 92,4 \text{ kg}$.

Entonces, sobre los soportes actuaría una fuerza igual a la componente vertical más los pesos de la antena, rotor y mástiles. Veamos:

- Pesos: Pantena + Pmástil 1 + Protor + Pmástil 2 = $6,1 \text{ kg} + 2 \text{ kg} + 4,5 \text{ kg} + 6 \text{ kg} = 18,6 \text{ kg}$.
- Peso total sobre los soportes, aproximado: $18,6 \text{ kg} + 92,4 \text{ kg} = 111 \text{ kg}$ (unos 1.000 N).

Esos 1.000 N se reparten entre dos soportes y cuatro tornillos por cada soporte. Así pues, quedaría bien estable y seguro si se utilizaran tornillos expansivos de 6 u 8 mm de diámetro con penetración de 6 cm en taco químico o metálico. Ved el cuadro de Hilti, observaréis la tolerancia con que hemos estudiado el tema para llegar a la conclusión de utilizar riostras de diámetro superior al exactamente calculado por métodos precisos. Así es la cosa.

Soportes para la riostras

Tenemos que ver qué fuerzas extremas habrá sobre la sujeción de las riostras. Es muy fácil, porque ya sabemos que directamente son unos 120 kg (1.176 N), que se traducen en dos componentes, vertical y horizontal, con un ángulo de unos 40° . Eso indicaría que serían, aproximadamente:

- Componente vertical: $1.176 \text{ N} \times \cos 40^\circ = 1.176 \text{ N} \times 0,77 = 905 \text{ N}$ (“Vrd” del dibujo en la tabla).
- Componente horizontal: $1.176 \text{ N} \times \sin 40^\circ = 1.176 \times 0,64 = 752 \text{ N}$ (“Nrd” del dibujo en la tabla).

Como siempre, a repartir entre cuatro tornillos que sujetan el soporte a la pared. Así pues, cada uno de los tres soportes o anclajes iría con cuatro tornillos M6 o M8 de penetración 6 cm y anclaje químico o metálico.

¿Cómo medir el ángulo aproximado que forma la riostra con el mástil?

Hay un concepto de trigonometría que es la “tangente” de un ángulo en un triángulo: un triángulo rectángulo que se forma entre los lados formados por la altura del mástil, la distancia desde la base del mástil a la sujeción de la riostra y esta misma. La tangente del ángulo que nos preocupa se forma por la relación de “cateto opuesto dividido por cateto contiguo”, es decir, longitud desde la base del mástil a la sujeción de la riostra dividido por altura desde la base hasta la sujeción de la riostra. Dividimos esos valores y lo metemos en una calculadora para hallar el ángulo correspondiente con la expresión “tg-1” o cotangente del ángulo, o bien aproximamos con la tabla 1.

Final

Has aprendido mucho: calcular el momento flector de un mástil y decidir diámetro de riostras y soportes del mástil y de las riostras, en paramento vertical. No es mucho más lo que te queda por aprender. Una torreta, digamos, es muy similar a lo que sabemos, ya lo verás.

Tarea 2: suponer en el caso anterior el ángulo de unos 30° y ver el resultado que se obtiene.

Tarea 3 (preparación para el máster —sonrisa—): suponer un mástil de 40 mm y 1 m de longitud, poner la antena directiva a la mitad del mástil, y arriba del todo poner una colineal bibanda pequeña del tipo VX-50 de 1,7 m de longitud y 2 cm de diámetro con casi 1 kg de peso. Cálculo de momentos y diámetro de riostras, ángulo supuesto de 40° .

Nota: suponer tres radiales de 50 cm y 5 mm, pero el viento solo castiga a dos de ellos simultáneamente.

- Sol: $M_m \approx 344 \text{ Nm}$ (cumple) y diámetro mínimo 2 mm. Hasta la próxima.■

Cálculos para memoria técnica. ¿Quieres aprender? (IV)

Diego Doncel
EA1CN
doctorohmio@gmail.com



Si has leído o entendido los capítulos anteriores, tienes mucho camino recorrido y has aprendido mucho. En este capítulo, como penúltimo de esta serie, vamos a tratar el tema de las torres. Es más fácil de lo que parece.

A veces me han preguntado sobre una instalación con torre sin arriostrar. No arriostrar puede motivarse (por ejemplo) porque no se deseen más cables en un jardín que puedan molestar a los usuarios u otros motivos.

Recuerda que, siempre, si la torre está en una ubicación transitada, aunque sea a veces, hay que señalar las riostras por algún sistema de accesorios colgando. Lo dice el reglamento.

Está claro que la altura que una torreta con antenas no sujeta a paramento vertical, sino sobre una base (del tipo que sea), dependerá del esfuerzo que se presenta en la base y que dicho esfuerzo se deberá a toda la instalación en sí misma. (Figura 1.)

Si tienes dudas de a partir de qué altura hay que arriostrar una torre triangular uniforme de una dimensión concreta de lado (por ejemplo 180 o 360 mm), puedes hacer dos cosas: una es calcular el momento flector que se produce en su base debido a todo el sistema, teniendo en cuenta el valor máximo que soporta la torre prevista, según el fabricante; y otra es fijarte en lo que ya prevén los propios fabricantes en sus aplicaciones, como es el caso de Televés. Mira el catálogo de *Torres* y sus aplicaciones y verás a partir de qué instalación se determinan riostras para una carga en las antenas de 510 N. Observando dicho catálogo, veréis que es muy crítico en la altura de torre sin riostras. Aparte de esto, siempre está la consideración de “decidir” utilizarlas, aun cuando “realmente” no sean necesarias (según cálculos) y se pongan por el motivo de siempre: confianza y seguridad.

Instalación de torre con riostras

El cálculo de una instalación con torreta, siendo esta soportada en una base y arriostrada con un juego de tres riostras a unos 120° aproximadamente de separación, no tiene mucha diferencia con lo ya expuesto: mástil con antenas que se calcula como hasta ahora; torre arriostrada que se calcula como el mástil del capítulo anterior y ahora añadiremos la base para la torreta. Tal cual se plantea, casi esto último es lo único diferente o añadido a lo anterior.

Así pues, como hemos visto, el trabajo se limita a calcular el mástil y el diámetro de las riostras (decisión según los cálculos). No es más difícil; algo más laborioso quizás.

La propuesta sería de la forma que se muestra en la figura 1.

Antes de nada, veamos unos componentes típicos para la instalación:

- Antena de 432 MHz: 0,18 m² y 4 kg
- Antena de 144 MHz: 0,2 m² y 4,3 kg
- Antena de 50 MHz: 0,32 m² y 4,2 kg

Estos valores, como siempre, o los da el fabricante o ya sabemos cómo calcularlos o medirlos.

- Mástil 3000 × 45 × 2 mm tipo 3010 de Televés o similar.
- Superficie: 0,045 m²/m (por metro lineal) y 6 kg
- Rotor: 0,08 m² y 6 kg
- Tramo intermedio de torre 220 mm: 2,5 m, 0,29 m² y 12 kg cada uno
- Tramo puntera de torre 220 mm: 1,5 m, 0,12 m² y 5 kg

La seguridad es lo importante

Estos datos de la torre están sacados de un fabricante, pero también hay torres de otros anchos; en estos casos los cálculos son muy similares, solo cambian la superficie y el peso, que los daría el fabricante.

Como ya vamos aprendiendo a calcular de manera aproximada todo lo que concierne a momentos flectores y pesos, iremos dando los pasos detallados para no perdernos.

Lo primero es conocer las superficies de cada una de las partes que tiene el sistema, y eso ya sabemos hacerlo; ahora queda calcular las cargas al viento de cada parte. Para ello va-

■ *Cargas puntuales son las antenas horizontales y rotores. Cargas distribuidas son los mástiles, antenas verticales, torres..., en cuyo caso el punto de aplicación de las fuerzas se considera en el centro o medio de su longitud, cuando sean cilíndricas y uniformes*

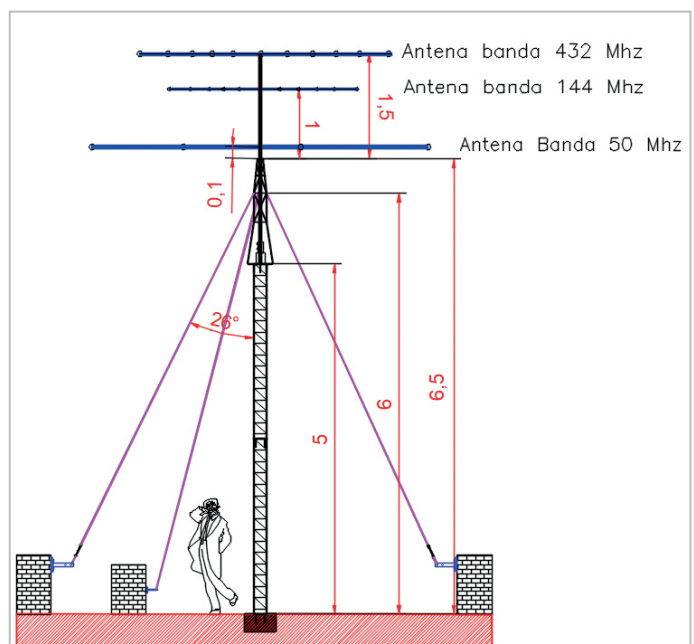


Figura 1. Plano en alzado del sistema

mos a considerar que, como siempre, realizaremos los cálculos para una velocidad del viento de 150 km/h, lo que supone una presión del viento $P_v = 1.060 \text{ newtons/m}^2$ y un coeficiente eólico $C_e = 0,7$. El resultado de estos datos los he consultado en libros dedicados a los cálculos de estructuras, no me los he inventado. Si se toman valores aproximados, no saldrán valores muy diferentes en los resultados; no por ello perdemos seguridad, que es lo importante. Recordad que el coeficiente eólico se toma porque las superficies no son planas, sino cilíndricas y, por lo tanto, el viento no las presiona igual. La expresión de la carga al viento de cada parte es sencilla y tiene el aspecto siguiente:

$$Q_v = \text{superficie} \times \text{presión del viento} \times C_e \text{ (coeficiente eólico)}$$

A sabiendas de que, por ejemplo, el rotor no tendrá la aplicación de C_e porque no es una superficie cilíndrica.

Nuevo concepto: "carga puntual" y "carga distribuida". No nos alteremos, no es difícil. Una carga puntual al viento es aquella que actúa sobre un área pequeña o un punto concreto de una estructura también llamada "concentrada". Y una carga distribuida es aquella que actúa a lo largo de todo un elemento estructural.

Ejemplos: cargas puntuales son las antenas horizontales y rotores; cargas distribuidas son los mástiles, antenas verticales, torres, en cuyo caso el punto de aplicación de las fuerzas se considera en el centro o medio de su longitud, cuando sean cilíndricas y uniformes.

Bien, vamos allá con cálculos que ya conocemos.

■ *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*

Cargas al viento de cada parte del sistema

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, tal como hemos explicado antes.

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, o eso esperamos. Esta es la idea.

Veamos los resultados de lo explicado anteriormente en otros capítulos.

- Carga al viento antena 432 MHz:
 $Q_{a432} = 0,18 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 133,5 \text{ N}$
- Carga al viento antena 144 MHz:
 $Q_{a144} = 0,2 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 148,4 \text{ N}$
- Carga al viento antena 50 MHz:
 $Q_{a50} = 0,32 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 237,4 \text{ N}$

► Mástil utilizado:

$Q_m = 0,045 \text{ m}^2/\text{m} \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 33,4 \text{ N/m}$ (atención, que se da en newtons por cada metro)

► Rotor:

$$Q_r = 0,08 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 = 84,8 \text{ N}$$

► Torreta: hay dos tramos de $0,29 \text{ m}^2$ y un tramo (puntera) de $0,12 \text{ m}^2$

► Qtorre = $((0,29 \times 2) + 0,12) \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 519,4 \text{ N}$

Lo primero a calcular es el mástil en voladizo y su momento flector. Esto ya sabemos cómo se hace: multiplicando las cargas de cada antena y el propio mástil por sus distancias a la punta de la torre, que es el punto de flexión. Hemos supuesto, como es natural, que el mástil de 3 m tiene la mitad en voladizo y la otra mitad dentro de la puntera de la torre en el rotor.

Así pues, veamos despacio.

Momento flector en el mástil en voladizo

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

► Momento flector de la antena de 432 MHz:

$$M_{fa432} = 133,5 \text{ N} \times 1,5 \text{ m} = 200,2 \text{ Nm}$$

► Momento flector de la antena de 144 MHz:

$$M_{fa144} = 148,4 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 148,4 \text{ Nm}$$

Momento flector de la antena de 50 MHz:

► $M_{fa50} = 237,4 \text{ N} \times 0,1 = 23,7 \text{ Nm}$

► Momento flector del propio mástil en voladizo, momento intrínseco, punto de aplicación de la fuerza: $0,75 \text{ m}$

► $M_{fm} = 33,4 \text{ N/m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} = 37,6 \text{ Nm}$

► $M_F \text{ total} = 200,2 \text{ Nm} + 148,4 \text{ Nm} + 23,7 \text{ Nm} + 37,6 \text{ Nm} = 410 \text{ Nm}$

Aplicando un porcentaje de seguridad del 50 %, tendremos:

► $M_{Fm} = 410 \text{ Nm} \times 1,5 = 615 \text{ Nm}$

Que, para un mástil como el indicado, cuyo momento flector máximo es 657 Nm, CUMPLE.

Así pues, la primera parte, resuelta. No ha sido difícil. Otros tipos de antenas necesitarán cálculos similares. 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 mi opinión, solo 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.

Tarea: ¿se podría añadir una antena colineal de 1,7 m sin radiales y 2 cm de diámetro, en la cúspide del mástil, bajando ligeramente la antena de 432 MHz para hacer sitio a ella? Calculadlo.

Solución: sí, M_f total aproximadamente 413,55 Nm y con 50 % unos 620 Nm.

Cálculo de las 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 solo 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, rotor y la propia torre 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. Caso similar será en proporción al que vimos en el capítulo anterior con el mástil arriostrado.

Momento en la base de la torreta

Este momento es el que producen 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
 $Ma_{432} = Qa_{432} \times \text{distancia a la base de la torreta} = 133,5 \text{ N} \times 8 \text{ m} = 1.068 \text{ Nm}$
- Momento producido por la antena de 144 MHz
 $Ma_{144} = Qa_{144} \times \text{distancia a la base de la torreta} = 148,4 \text{ N} \times 7,5 \text{ m} = 1.113 \text{ Nm}$
- Momento producido por la antena de 50 MHz
 $Ma_{50} = Qa_{50} \times \text{distancia a la base de la torreta} = 237,4 \text{ N} \times 6,6 \text{ m} = 1.567 \text{ Nm}$
- Momento producido por todo el mástil de 45 mm
 $Mm = Qam \times \text{distancia de su punto medio a la base de la torreta} = 33,4 \text{ N/m} \times 3 \text{ m} \times 6,5 \text{ m} = 651,3 \text{ Nm}$
- Momento producido por el rotor de antenas
 $Mr = Qr \times \text{distancia del rotor a la base de la torreta} = 84,8 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 424 \text{ Nm}$
- Momento producido por la propia torreta
 $M_{\text{torre}} = Q_{\text{torre}} \times \text{distancia de su punto medio a la base de la torreta} = 519,4 \text{ N} \times 3,25 \text{ m} = 1.688 \text{ Nm}$
- Momento total en la base de la torreta:
 $MT = 1.068 \text{ Nm} + 1.113 \text{ Nm} + 1.567 \text{ Nm} + 651,3 \text{ Nm} + 424 \text{ Nm} + 1.688 \text{ Nm} \approx 6.511 \text{ Nm}$

La riostra única, ideal, sujeta a 6 m de la base, en la zona del aro de la torreta, debería contrarrestar dicho momento flector o 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: $F \times 6 \text{ m} > 6.511 \text{ Nm}$

Es decir: $F > 6.511 \text{ Nm} / 6 \text{ m} > 1.085 \text{ N}$; si, a pesar de todo, le damos un margen del 10 % de seguridad, sería un equivalente a $1.081 \text{ N} \times 1,1 = 1.194 \text{ N}$ (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:

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

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 solo en la dirección de una sola riostra, y el esfuerzo se repartirá entre dos o tres 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). También 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 $305 \text{ kg} + 78 \text{ kg} = 383 \text{ kg}$.

Decisión final (que es lo importante): riostras de 3 mm de diámetro.

Tabla 2. Cables de acero para riostras				
Diámetro	Sección mm²	Hilos	Carga rotura (Kp)	Carga rot. (Kp/mm²)
2	3,13	7 x 0,6	200	63,69
3	7,06	7 x 0,6	784	70,5
4	12,57	7 x 1,3	1.100	87,51
5	19,63	7 x 1,6	1.800	91,7
6	28,27	7 x 2,0	3.000	106,12

¿Y un segundo juego de riostras?

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 abajo 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 seis pretensados de unos 78 kg. Realmente no se suman así, sino sus componentes verticales a 26°.

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

■ 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 solo una fuera la que soportará todo el esfuerzo

Tabla 3. Zapata de hormigón para la base de la torreta o mástil

Resistencia del terreno en kg/cm²	Carga vertical sobre la base			
	< 2.000	< 3.000	< 4.000	< 5.000
0,5 terrenos húmedos	75 x 75 x 50	90 x 90 x 50	105 x 105 x 70	120 x 120 x 70
1	55 x 55 x 50	60 x 60 x 50	70 x 70 x 70	80 x 80 x 70
2	40 x 40 x 50	50 x 50 x 50	60 x 60 x 70	70 x 70 x 70
4 - terrenos secos	40 x 40 x 50	40 x 40 x 50	50 x 50 x 70	60 x 60 x 70

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 + 24 kg + 5 kg ≈ 48 kg
- Sin viento con persona subida: hay que sumar: el peso del material (48 kg) + persona (80 kg) + 3 × comp. vertical de pretensado (3 × 78 × cos 26°) = 48 kg + 80 kg + (3 × 78 × cos 26°) = 338 kg
- Con viento de 150 km/h, aproximadamente: 48 kg + (338 kg ×

cos 26°) = 48 kg + 347 kg = 395 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.

Soportes de las riostras

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

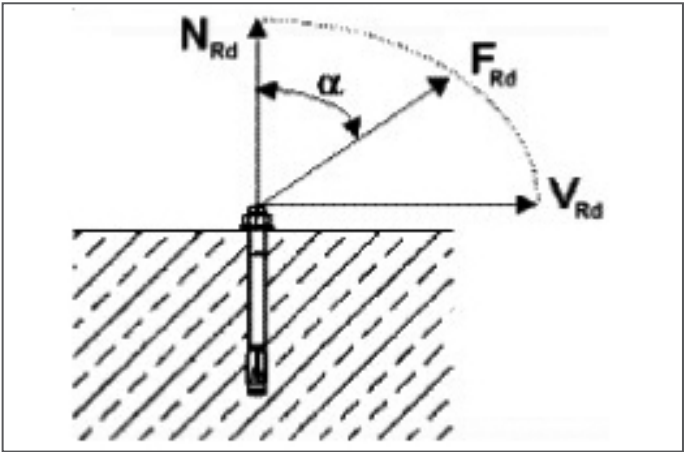
Cada soporte estará sometido a un esfuerzo aproximado de 383 kg, con sus componentes vertical y horizontal, y estos componentes son los siguientes:

- Componente vertical: 383 kg (3.753 N) × cos 26° = 3.753 N × 0,9 = 3.377 N
- Componente horizontal: 383 kg (3.753 N) × sen 26° = 3.753 N × 0,4 = 1.500 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 cuatro tornillos expansivos que soportan, cada uno de ellos, unos 1.000 N (ver cuadro de HILTI, donde se observa que Nrd sería 1.500 N / 4 y Vrd sería 3.377 N / 4). Así pues, con tornillos expansivos de M8 y penetración 6 mm en anclaje químico o metálico serían suficientes para garantizar el esfuerzo.■

Tabla 4. Tabla de anclajes HILTI

Tabla 4. Tabla de anclajes 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 × 97 mm		11,1	17,8



Cálculos para memoria técnica. ¿Quieres aprender? (y V)

Diego Doncel
EA1CN
doctorohmio@gmail.com



Este puede ser el último capítulo de esta serie. Para culminarla, veamos una situación de instalación más fácil de lo que en principio parece, porque solo hay que calcular el mástil.

Sí, es una torre autosoportada. En este tipo de torres, el fabricante te dice los datos de la base, cómo empotrarla y qué dimensiones y tipo de cemento a utilizar, así que solo hay que seguir sus instrucciones. Y si fuera una torre de construcción artesanal, de igual manera solo hay que fijarse en el modelo más similar de un fabricante.

Vamos a tratar una torre autosoportada de 18 metros con una antena direccional cúbica Quad en su parte superior. La antena, en este ejemplo, se hará girar con un rotor existente en una jaula prevista en la parte superior de la torreta. Aunque en este ejemplo se hablará de una antena única, ya sabemos, por el capítulo anterior, cómo calcular el mástil para otro tipo de antena o varias al tiempo.

En este caso hay que fabricar una jaula para rotor, o bien disponer de una plataforma soldada para atornillar el rotor y una segunda plataforma en la puntera para albergar el cojinete del mástil. Esta torreta es comercial y las características de la misma y los datos e instrucciones de instalación los da el fabricante. Lo único a calcular es el mástil que soporta la antena, en este caso. Muy sencillo.

Los datos más importantes que el fabricante de la antena (StatusQuad) suministra son que el peso es 45 kg y la superficie al viento es de 1,35 m². Con estos datos vamos a calcular el mástil que soporta dicha antena en el rotor y con el cojinete adecuado en la cúspide de la torreta.

Vamos a suponer una velocidad del viento de 150 km/h, para lo cual, y con una densidad del aire de 1,25 kg/m³, se establece una presión del viento de 1.060 N/m². Asimismo, utilizaremos un coeficiente eólico Ce de 0,7. Según estos valores vamos a calcular el momento flector en el mástil que la soporta, suponiendo que utilizaremos un mástil de 3000 × 45 × 2 mm de acero galvanizado, tipo 3010 de Televés (o similar).

Cálculos

Supongamos que deseamos una longitud de mástil en voladizo de 50 cm. Veamos los cálculos.

Carga al viento de la antena:

La carga al viento de la antena, a la que consideramos como una carga puntual contra el mástil.

$$Q_a = \text{superficie} \times P_v \times C_e$$

$$Q_a = 1,35 \text{ m}^2 \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 1001,7 \text{ N}$$

Carga al viento del mástil:

$$Q_m = 0,045 \text{ m}^2/\text{m} \times 1.060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 33,4 \text{ N/m}$$

En este caso vamos a utilizar la carga del mástil en función de su longitud.

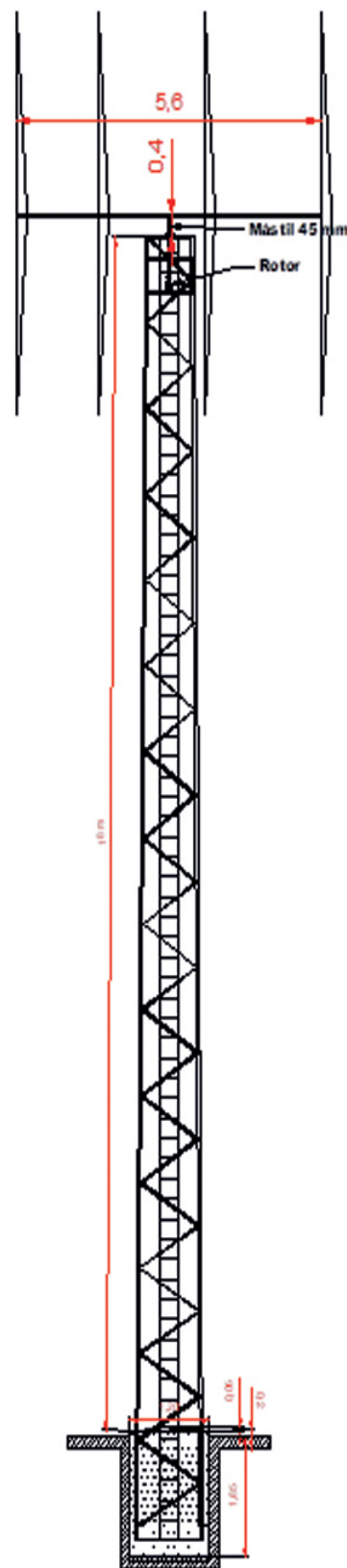


Figura 1. Aspecto en alzado en escala. Detalles más abajo

Un mástil como el especificado (3010 de Televés) tiene un momento flector máximo de unos 656 Nm.

Momento flector en el mástil

El momento flector del mástil tiene un punto de aplicación de su fuerza en el centro de su longitud, al ser una carga distribuida).

Este momento será debido a la antena y al propio mástil, y tendremos, para un supuesto de 50 cm de mástil:

$$MT = 1.001,7 \text{ N} \times 0,5 \text{ m} + 33,4 \text{ N/m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 505 \text{ Nm}$$

Al que aplico un coeficiente de seguridad del 50 %, en cuyo caso, resultará:

$MT = 505 \text{ Nm} \times 1,5 = 757,5 \text{ Nm}$. Así pues, el mástil, de 50 cm de longitud y con este coeficiente de seguridad, NO CUMPLE.

Supongamos ahora una longitud del mástil de 40 cm desde la puntera de la torre.

$$MT = 1.001,7 \text{ N} \times 0,4 \text{ m} + 33,4 \text{ N/m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} = 403,3 \text{ Nm}$$

Con el coeficiente de seguridad del 50 % se obtendría: 605 Nm. Así pues, el mástil, en esta longitud de voladizo y con este coeficiente de seguridad, CUMPLE.

Por tanto, tú decidirás si aplicas el coeficiente de seguridad o no, y, si lo aplicas, qué longitud de voladizo de mástil adoptarías.

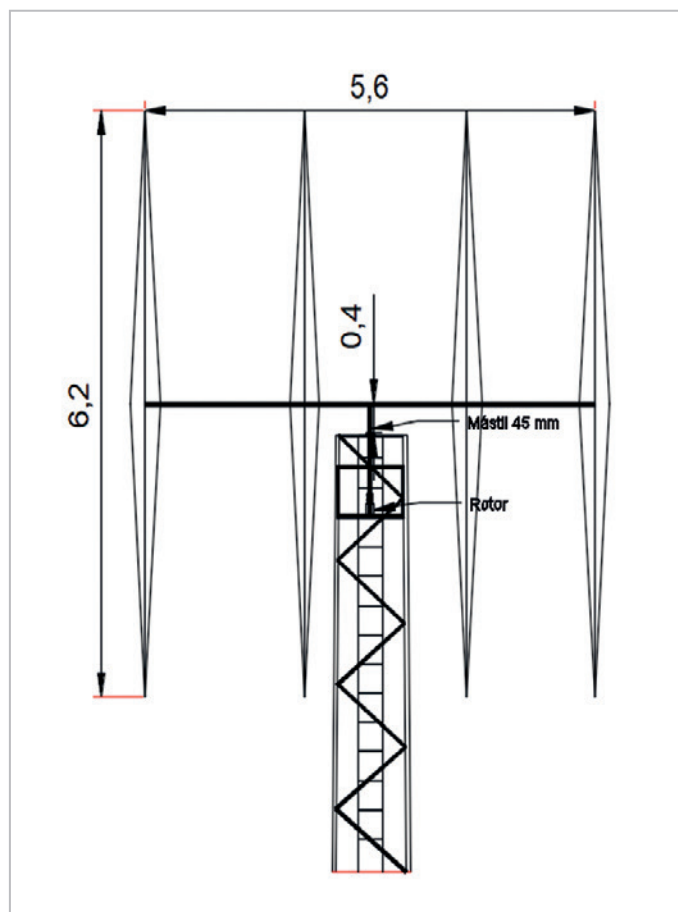


Figura 2. Detalle de la parte superior

■ *“En las torres autosostenidas, el fabricante te dice los datos de la base, cómo empotrarla y qué dimensiones y tipo de cemento a utilizar, así que solo hay que seguir sus instrucciones. Y si fuera una torre de construcción artesanal, de igual manera solo hay que fijarse en el modelo más similar de un fabricante”*

Instalación

En el caso de que la instalación se realice en un terreno normal, las dimensiones de la cimentación serían, según el fabricante, las que se muestran en la figura 3: si el terreno es del tipo blando, la altura sería de 2 m; y si es duro, de algo menos de lo indicado en la figura. Todos los detalles están en el catálogo del fabricante. Si se desearan alturas de torre diferentes, el fabricante indica todos los detalles de la instalación en su tabla.

Como puede verse, en este caso, los cálculos se limitan al momento flector del mástil.

Nota: recordad que hay que proveer de una toma de tierra adecuada para la torreta, junto a la misma.■

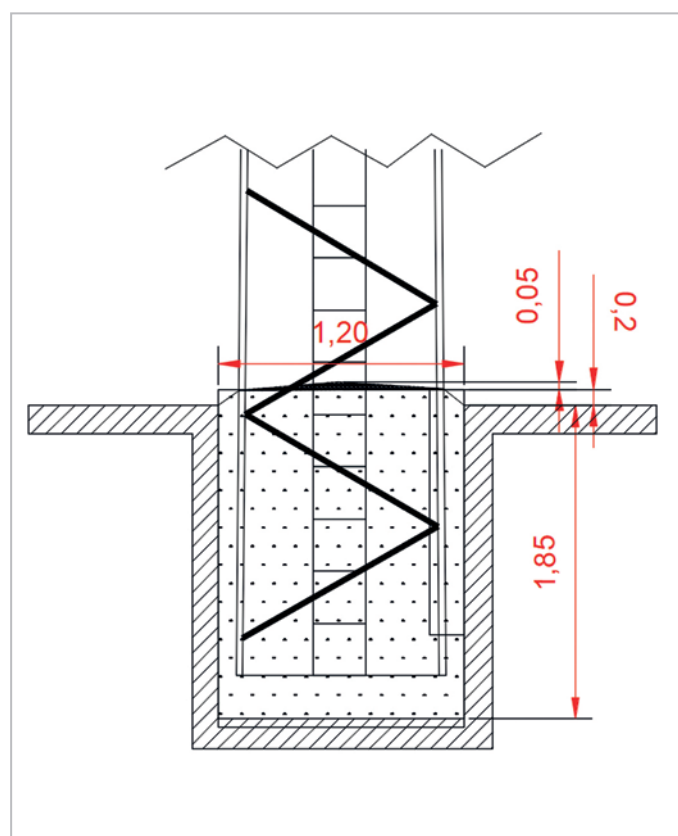


Figura 3. Cimentación en terreno normal