

Cálculos para hacer la Memoria Técnica

De antena vertical colineal bibanda

Diego Doncel, EA1CN

ea1cn@hotmail.com

Primera parte

Muchos Radioaficionados principiantes comienzan su andadura entre nosotros con un equipo de V/UHF ya sea portátil o de base y desean poner lo antes posible una antena en su ubicación fija. Generalmente se piensa en una antena colineal bibanda de V/UHF. Hay que tener Licencia de instalación fija (Artículo 3 del Reglamento). Su instalación suele ser sencilla y, algunas veces, no siempre, Telecomunicaciones así lo considera y no pide el boletín del instalador.

Para el principiante esto puede ser el primer escollo, no solo la instalación en sí, sino eso de tener que preparar una memoria técnica, tener que hacer unos cálculos de esfuerzos que presentar en ella y hacer unos planos. Un lío. Pero no; todo es mucho más fácil, mucho más de lo que se cree. Hay documentación e información sobre todo esto, lo que pasa es que, a veces, se hace “duro” de entender y comprender esos nuevos conceptos de los que nadie había hablado antes. Ejemplos de cálculos, memorias y boletín, los encuentras en mi web www.ea1cn.ure.es

Un aparte para aquellos otros veteranos que, por una razón u otra, desean renovar, actualizar o poner nueva una antena de este tipo y, vaya, ahora se encuentran con el “tema” de la memoria y los cálculos.

Como esta es una sección del “Principiante” y el objeto, en términos generales, es didáctico voy a explicar paso a paso cómo se hace todo esto de los cálculos para un tipo de antena vertical, sujeta a un mástil que, a su vez, está sujeto a un paramento vertical. Y lo voy a hacer con una antena popular de V/UHF pero que puede servir para cualquier otro tipo de antena vertical, del tipo de un radiante y radiales, o no, sin más que cambiar algunos valores. Las “cuentas” salen de la misma manera.

Lo que sigue es la explicación detallada para una antena tipo colineal vertical bibanda para las bandas de 2 m y 70 cm. pero, como digo, podría ser cualquier otro tipo de antena vertical. Algunos radioaficionados tienen problemas de sitio en su cubierta y no pueden optar a antenas dipolos o de otro tipo que no sea una antena vertical que utilizar en varias bandas, tipo una antena náutica, por ejemplo. Aquí se puede aprender a calcular lo necesario para la memoria técnica.

Por solicitud de ayuda de Manuel, EA7HAE, supe que hay una antena de este tipo (colineal bibanda) de la marca Tagra, que desconocía. Una antena de aspecto impresionante y de fabricación española. Aunque voy a explicar los cálculos para esta antena, insisto, cambiar a una antena similar o, incluso una vertical de HF no supone más que reemplazar unos valores por otros. Veamos cómo se hace.

Los cálculos se reducen a conocer los siguientes parámetros:

- Superficie de la antena que se quiere instalar
- Velocidad del viento que se va a considerar y la presión del viento que se ejerce sobre la instalación
- Decidir qué mástil se va a usar
- Decidir qué soportes sujetarán dicho mástil y cómo han de instalarse para que soporten el esfuerzo.
- El esfuerzo a que están sometidos los soportes. Saberlo y, si lo exigen, explicarlo.

Todo esto, despacio y detalladamente viene a continuación.

Esta antena que menciono, colineal, vertical y bibanda tiene una altura de 2,65 m y un solo tramo según las especificaciones del fabricante. Se trata de la antena Tagra, KAD BIBANDA, ANTENA DE FIBRA Y ACERO INOXIDABLE 143-147 / 430-450 MHz.

Manolo, EA7HAE, a quien agradezco su ayuda, me dice que la base o parte inferior de la antena tiene un diámetro de 2,6 cm, que yo consideraré de 3 cm. y que su extremo superior tiene un diámetro aproximado como la mitad del inferior. Esto indica que es una superficie tronco-cónica, pero hay muchas antenas similares que son cilíndricas, como por ejemplo, mi antigua bibanda A2E de los noventa; veremos la diferencia que hay.

Cálculos

Para calcular la superficie enfrentada al viento, debemos recordar cuál es la superficie lateral de un tronco de cono, que es:

$$\text{Superficie} = \pi \times \text{generatriz} \times (R + r)$$

Donde generatriz es, en este caso preciso, la altura de la antena y R y r son los radios inferior y superior.

En este caso tomaremos, redondeando un poco, a la generatriz como 2,7 m y $R = 0,015$ m y $r = 0,007$ m y de todo ello, cuando operemos, la mitad, porque sólo se ve la mitad, aproximadamente.

La expresión que sale, sustituyendo valores es:

$$\text{Superficie} = \frac{1}{2} \times (\pi \times 2,7 \text{ m} \times (0,015 \text{ m} + 0,007 \text{ m})) = 0,093 \text{ m}^2 \text{ que tomaremos } 0,1 \text{ m}^2$$

Quiero hacer notar, antes de seguir que, como habréis visto uso mucho el término “aproximadamente” porque, muchas veces esto nos beneficia al asegurarnos más seguridad en los resultados finales, que es lo que importa. A veces los decimales podemos reducirlos con tal de estar seguros de obtener resultados fiables, que es lo que nos hará “dormir tranquilo”.

Estudiemos cuánto será su resistencia al viento, y, si tenemos en cuenta que tiene radiales, éstos son, en este caso, 4 radiales de 49 cm. Los radiales son, cuando existen en este tipo de antenas, de una resistencia al viento poco representativa para el conjunto de toda la antena.

Consideremos una velocidad del viento de 150 km/h, que son 41,66 m/sg (pasando los km a metros y las horas a segundos). A esa velocidad del viento, la presión que ejerce es $P_v = 1060 \text{ N/m}^2$. De dónde viene esto, ya lo he explicado en otros artículos, así que no vamos a repetirlo.

Asimismo se considera, para los cálculos, un coeficiente eólico $C_e = 0,7$ porque suponemos que no es una superficie plana, entonces no se comporta igual que una superficie pseudo cilíndrica. Como si el viento *resbalara* por los bordes.

Resistencia al viento de la antena de aspecto tronco-cónica:

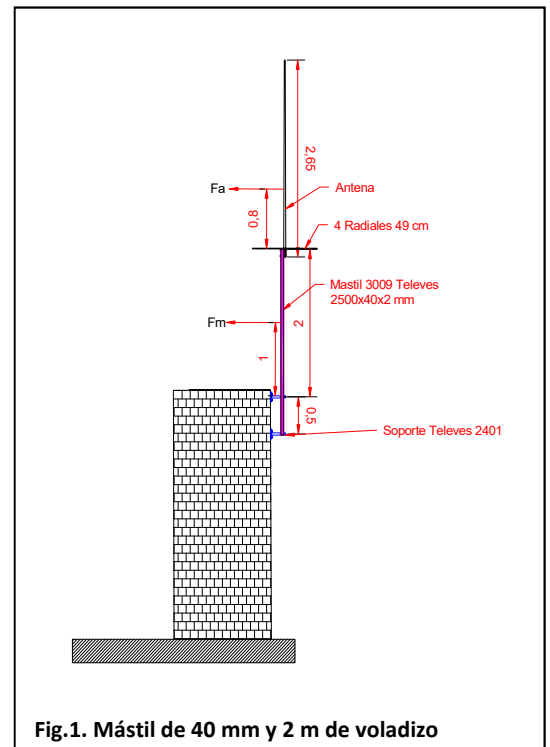
Como el radiante vertical tiene una superficie de $0,1 \text{ m}^2$, la carga al viento será igual a la superficie por la presión del viento y multiplicado por el coeficiente eólico, puesto que no son superficies planas puras. Es, lo que se llama, una *carga distribuida*.

Esto nos da:

$$Q_a = \text{Superficie} \times P_v \times C_e = 0,1 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 74 \text{ N (Newtons)}$$

Por curiosidad, veamos los radiales. Supuestos de 5 mm de diámetro y 49 cm de longitud.

$$Q_{\text{radiales}} = \text{Superficie} \times \text{Presión del viento} \times C_e = 0,005 \text{ m} \times 0,49 \text{ m} \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 1,8 \text{ N}$$



¿Consideraremos que el viento ataca a los 4 al mismo tiempo? ¿Merece la pena considerar, digamos, 2 radiales y 0,9 N? Yo creo que no.

Ahora viene una parte importante: ¿Qué mástil vamos a utilizar con seguridad?

Veamos el mástil de 40 mm de diámetro, tipo 3009 de Televés. 2500x40x2 mm

Este mástil, según el fabricante, tiene un momento flector máximo de 508 Nm

Nota: El momento flector es el producto de la carga al viento que soporta por la distancia al punto de sujeción del mismo. Eso que hace doblarse el mástil sin que vuelva a su posición inicial, que va a quedar hecho una lástima, vaya.

Veamos despacio cómo afecta la antena descrita y el propio mástil en sí, al uso de este mástil en concreto.

Pensemos en una instalación con este mástil y un voladizo de 2 metros. Es decir, desde el soporte superior del mástil, hay un voladizo de 2 m y, en su extremo, la antena. Fig.1

¿Qué esfuerzo soportará todo ello en esta instalación?

Si veis la figura, la situación queda clara.

Antes había dicho que podríamos considerar la antena en dos posibilidades, una cuyo tramo vertical fuera un tronco de cono muy alargado o bien cilíndrico, como son muchas antenas de este tipo. ¿Cuál sería la diferencia? Pues la diferencia está en que, en el caso de ser tronco-cónica, el punto de aplicación de la fuerza que la obliga a castigar al mástil estaría aplicado a 1/3 de la base, es decir, en este caso, a unos 0,8 m de la base y, en caso de ser cilíndrica, a 1/2 de la longitud total, unos 1,3 m de la base. Luego lo veremos.

En el primer caso, en el que su fuerza de aplicación de la presión del viento estuviera a 0,8 m, el momento flector que ejerce sobre el mástil en el primer soporte, el superior, sería:

$M_{\text{antena}} = \text{Carga al viento} \times \text{distancia al punto de sujeción}$. Sustituyamos valores:

$$M_{\text{antena}} = 74 \text{ N} \times (2 \text{ m} + 0,8 \text{ m}) = 207 \text{ Nm} \quad (1)$$

Tenemos que añadir ahora el propio mástil en el momento flector total. Se llama “momento intrínseco del mástil”. El mástil, con 2 m de voladizo tiene una superficie de:

$$S_m = \text{longitud} \times \text{diámetro} = 2 \text{ m} \times 0,04 \text{ m} = 0,08 \text{ m}^2 \text{ y tendrá una carga al viento de:}$$

$$Q_m = \text{Superficie} \times \text{Presión del viento} \times C_e = 0,08 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 \approx 60 \text{ N}$$

Su propio momento flector (momento flector intrínseco) será (fuerza aplicada en su punto medio):

$$M_{f_m} = 60 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 60 \text{ Nm}$$

Sumemos ambos momentos, de la antena y del mástil a ver qué nos da:

$$M_{\text{Total}} = 207 \text{ Nm} + 60 \text{ Nm} = 267 \text{ Nm}$$

Si aplicamos un coeficiente de seguridad del 50%, dicho momento flector pasaría a ser de:

$$M_F = 267 \text{ Nm} \times 1,5 = 400 \text{ Nm} \text{ que, para un mástil del tipo 3009, de 508 Nm de momento máximo, } \mathbf{CUMPLE}.$$

Estamos aprendiendo a calcular los esfuerzos de un mástil para una antena vertical de un tipo determinado. En este caso hemos visto una bibanda de 2,65 m de longitud. ¿Qué pasaría si quisiéramos poner una bibanda del tipo Diamond X-510 de 5,2 metros? ¿Serviría un mástil como el descrito? ¿Qué altura fiable de voladizo se podría poner?

Antena Diamond X-510 con un mástil de 40 mm de diámetro y 2 m de voladizo:

Si suponemos que la antena es, igualmente, un tronco de cono, similar al anterior ejemplo, es decir, de 3 cm de diámetro abajo y 1,5 cm arriba, pero de longitud de generatriz, 5,2 m, la superficie sería, sustituyendo valores:

Superficie = $\frac{1}{2}(\pi \times 5,2 \text{ m} \times (0,015 \text{ m} + 0,0075 \text{ m})) = 0,18 \text{ m}^2$ que tomaremos 0,2 m² (el doble de antes, claro, porque es el doble de alta)

Y su carga al viento sería, considerando la velocidad del mismo unos 150 km/h:

$Q_a = \text{Superficie} \times \text{Presión del viento} \times C_e = 0,2 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 148 \text{ N}$

Veamos ahora los momentos flectores.

Momento de la antena respecto al soporte superior, considerando la fuerza de aplicación a 1/3 de su altura (1/3 de la altura de 5,2 metros es, más o menos, 1,7 m):

$M_a = Q_a \times \text{distancia al soporte} = 148 \text{ N} \times (2 + 1,7) \text{ m} = 547 \text{ Nm}$

Momento intrínseco del mástil:

$M_m = 60 \text{ Nm}$ (lo hemos en el otro ejemplo)

Momento total del conjunto:

$M_{\text{Total}} = 547 \text{ Nm} + 60 \text{ Nm} = 607 \text{ Nm}$ que, con un margen de seguridad del 50% supondría: **911 Nm** para un mástil 3009 de 508 Nm de momento máximo, podríamos decir que **NO CUMPLE** (ni por asomo).

¿Y 1 m de voladizo del mismo mástil? Veamos:

Momento de la antena:

$M_a = Q_a \times \text{distancia al soporte} = 148 \text{ N} \times (1 + 1,7) \text{ m} = 400 \text{ Nm}$

Momento intrínseco del mástil:

$M_m = 60 \text{ Nm}$ (lo hemos visto más arriba)

Momento total del conjunto:

$M_{\text{Total}} = 400 \text{ Nm} + 60 \text{ Nm} = 460 \text{ Nm}$ que, para un mástil 3009 de 508 Nm de momento máximo, podríamos decir que con un 50% de seguridad **NO CUMPLE**. Cumpliría con un 10% de seguridad. ¿Te arriesgas?

¿Y 0,5 m de voladizo del mismo mástil?

Antena Diamond X-510 en mástil de 40 mm con 50 cm de voladizo:

Veamos:

$M_a = 148 \text{ N} \times (0,5 \text{ m} + 1,7 \text{ m}) = 325 \text{ Nm}$

Ahora la altura del mástil en voladizo es 50 cm (0,5 m) y su punto de aplicación de la fuerza: 0,25 m

$M_m = Q_m \times \text{distancia de la fuerza al punto de sujeción}$

$M_m = 0,25 \text{ m} \times \text{Superficie} \times P_v \times 0,7 = 0,25 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,04 \text{ m} \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 3,7 \text{ Nm}$

Momento total = 325 Nm + 3,7 Nm = 329 Nm que con un 50% de seguridad: $M_t = 329 \text{ Nm} \times 1,5 = 493 \text{ Nm} \rightarrow$

CUMPLE.

Conclusión: Podría instalarse una Diamond X-510 en un mástil de 40 mm de diámetro con un voladizo de 50 cm

Vamos a ver ahora la posibilidad de usar un mástil 3010 de Televes, de 45 mm de diámetro.

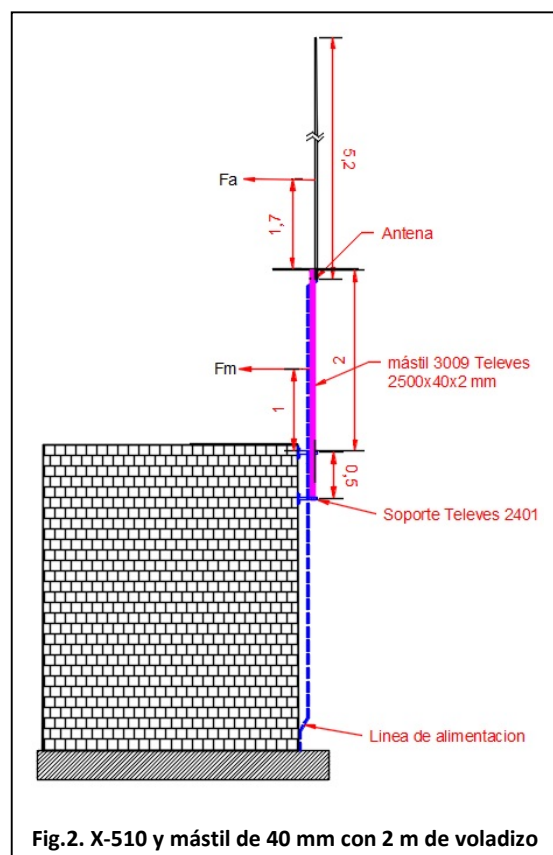


Fig.2. X-510 y mástil de 40 mm con 2 m de voladizo

Antena Diamond X-510 instalada en un mástil de 45 mm de diámetro y 1 m de voladizo: (Fig.3)

$Q_a = 148 \text{ N}$ (visto antes)

Momento en el mástil, soporte superior, a 1 m de voladizo: $148 \text{ N} \times (1 \text{ m} + 1,7 \text{ m}) = 400 \text{ Nm}$

Superficie del mástil en voladizo: $S_m = 0,045 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,045 \text{ m}^2$

Carga al viento de 1 m de mástil: $Q_m = 0,045 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 33,4 \text{ N}$

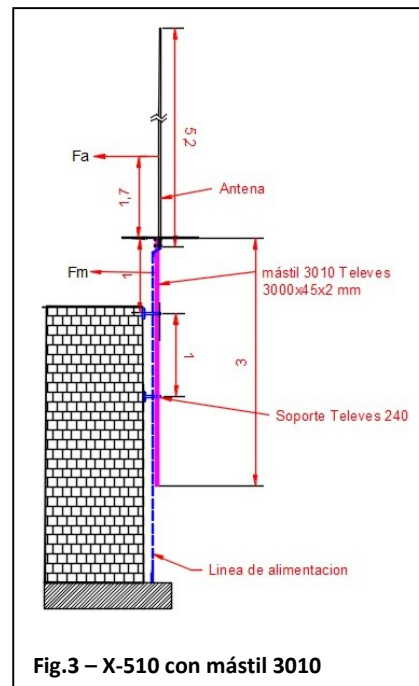
Momento intrínseco del mástil: Carga al viento por distancia del punto de aplicación de la fuerza.

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

Momento total de antena y mástil:

$M_T = 400 \text{ Nm} + 16 \text{ Nm} = 416 \text{ Nm}$ que con un 50% de margen de seguridad, nos dará: $624 \text{ Nm} \rightarrow$ **CUMPLE**

Poner el mástil de 45 mm con 1 m de voladizo, nos daría un margen de seguridad del 50%. Casi es la máxima altura en mástil del modelo 3010 de Televés que podríamos instalar. Mejor no arriesgarse más.



Este es un cuadro resumen de lo visto hasta aquí.

Antena	Mástil	Voladizo	Decisión
Antena Tagra 2,65 m	Mástil 40 mm	2 m	NO CUMPLE
Diamond X-510	Mástil 40 mm	2 m	NO CUMPLE
Diamond X-510	Mástil 40 mm	1 m	NO CUMPLE
Diamond X-510	Mástil 40 mm	0,5 m	CUMPLE
Diamond X-510	Mástil 45 mm	1 m	CUMPLE

Antena cilíndrica

Algunas antenas colineales bibanda son cilíndricas. La mía A2E, de los 90, lo es, por ejemplo. Veamos igualmente, en una situación igual, cómo respondería la antena Diamond X-510 con mástil de 45 mm de diámetro y 2 m de voladizo y considerando la antena como un **cilindro** y no tronco-cónica, considerando un diámetro medio de 2 cm. (fig.4)

Superficie de la antena Diamond, considerada de un diámetro medio de 2 cm:

$S_a = 0,02 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} = 0,1 \text{ m}^2$ (sale la mitad de la superficie y de todos los cálculos, porque son proporcionales).

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

Momento en el mástil: $= Q_a \times \text{distancia al soporte} = 74 \text{ N} \times (2 + 2,6) \text{ m} = 340 \text{ Nm}$ (la mitad, claro)

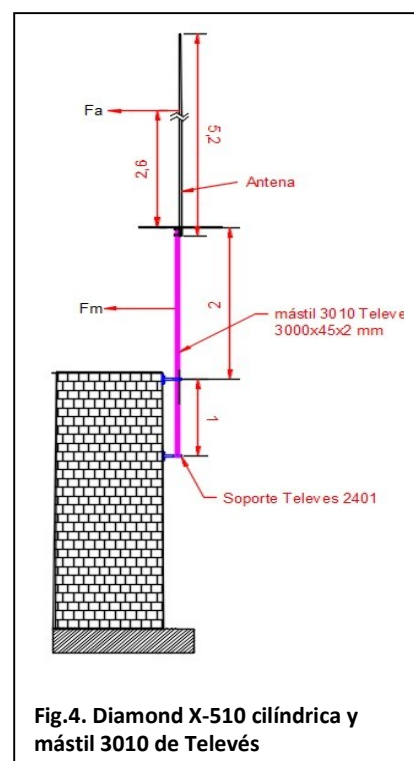
La superficie al viento del voladizo del mástil, sería ahora, en el mástil de:

$S_m = \text{Longitud} \times \text{diámetro} = 2 \text{ m} \times 0,045 \text{ m} = 0,09 \text{ m}^2$ y su carga al viento, en 2 m de voladizo, sería de:

$Q_m = \text{Superficie} \times \text{Presión del viento} \times C_e = 0,09 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 66,8 \text{ N}$

Su momento flector intrínseco, sería de:

$M_m = Q_m \times \text{distancia punto aplicación de la fuerza al soporte} = 66,8 \text{ N} \times 1 \text{ m} =$



66,8 Nm que, sumados a los de la antena, como antes, daría:

$M_{Total} = 340 \text{ Nm} + 66,8 \text{ N} = 406 \text{ Nm}$ con un 50% de seguridad: 610 Nm

El mástil **CUMPLE**. Un poco justo, pero cumple. Fig.4

Observad la diferencia de asumir que la antena es un cilindro (¿Y qué diámetro medio tomamos?) o un tronco de cono, como es en realidad.

Conclusión: La elección, en este caso, de un mástil 3010 de Televés, 3000x45x2 mm con un voladizo máximo de 2 m nos valdría. Ahora bien, es más seguro, como vemos, considerar la antena lo que **realmente** es en su vertical, no un cilindro, sino un tronco de cono. En estas antenas verticales con plano de tierra no es demasiado importante levantarlas en exceso, a menos que haya un obstáculo muy próximo. Por experiencia.

Ya sabemos, como principiante, a qué atenernos en la instalación del mástil con la antena. Hay que estar muy seguros de que las cosas se instalan muy bien y con seguridad, para estar tranquilos si vienen vientos muy fuertes, como los que algunas veces se provocan.

En este artículo, si queréis podéis aprender y sustituir los valores que se muestran de antenas, por otros del tipo de la antena que corresponda con la decisión que hayáis adoptado.

Hablemos ahora de los soportes que sujetan dicho mástil y toda la instalación.

Los soportes del mástil

Los soportes del mástil están sometidos a dos esfuerzos, como se comprenderá. Uno de ellos es el que se produce porque el mástil (con su antena) quiere arrancarlo de la pared, sea la fuerza perpendicular o lateral. Ver el dibujo de la tabla de HILTI. Otro esfuerzo es el vertical, debido al peso de la antena (y el mástil también). No tiene demasiada dificultad de instalación si se hace como indica ese cuadro con los tornillos adecuados; véase su resistencia.

No obstante vamos a explicar cómo sufren esos soportes; a qué esfuerzos, aproximados, están sometidos. (por si lo piden). Realmente solo hay que justificar que cumplen con su cometido.

En primer lugar, veamos el primer ejemplo, en el que los soportes están separados 50 cm. con un voladizo de 2 m en el mástil. Tiene que cumplirse entre los soportes que la suma de sus momentos sea cero, es decir, el momento en uno debe ser igual al momento en el otro.

Esfuerzo horizontal en los soportes

Para el caso inicial de la antena de 2,65 m, Tagra.

Si R_a es el esfuerzo horizontal que tiende a arrancar el soporte superior de su sujeción y R_b el esfuerzo en el soporte inferior, ha de cumplirse en ambos que la suma de momentos sea cero para el equilibrio del sistema.

En el soporte superior, será: ver (1)

$$M_a + M_m = 207 \text{ Nm} + 60 \text{ Nm} = 267 \text{ N}$$

En el soporte inferior será: $R_b \times 0,5 \text{ m}$

Entonces, igualando: $267 \text{ N} = R_b \times 0,5$ y de aquí, $R_b = 534 \text{ N}$ (54 Kg)

Entonces la reacción en el soporte superior, R_a , será la suma de fuerzas que hay en él, debidas a la antena y al mástil, ya que los radiales los hemos despreciado:

$$R_a = 74 \text{ N} + 60 \text{ N} + R_b = 74 \text{ N} + 60 \text{ N} + 534 \text{ N} = 668 \text{ N} \text{ (68 Kg)}$$

Por otro lado, hay un esfuerzo vertical debido al peso de los materiales, que será:

Peso: Antena + mástil

$$\text{Peso} = 3 \text{ kg} + 3 \text{ kg} = 6 \text{ kg}$$

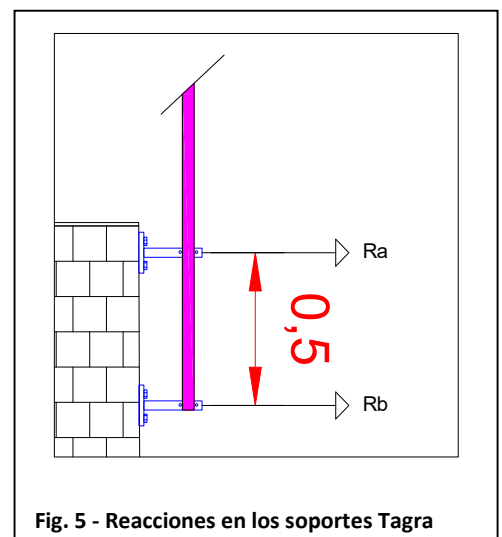


Fig. 5 - Reacciones en los soportes Tagra

Así pues en los soportes hay unas componentes horizontales de unos 60 kg una vertical de 4 Kg en cada uno, aproximadamente. Sin considerar, porque no son representativos los momentos que se producen por culpa de estos pesos.

Antena Diamond X-510 con un mástil de 45 mm tipo 3010 de Televés.

Si yo la instalara, como mucho a 1 m de voladizo, en este caso los esfuerzos en los soportes, separados 1 m entre sí, nos darían unos valores siguientes:

Soporte superior. Momento total aproximado: MT = 416 Nm

En el soporte inferior habrá Rb x 1 m

Igualando: 416Nm = Rb x 1 m luego Rb = 416 N (42 Kg)

La reacción en el soporte superior, Ra, será la suma de las fuerzas, como antes:

Ra = 148 N + 33,4 N + Rb = 148 N + 33,4 N + 416 N = 597 N (61 Kg)

El mástil más la antena pesarán unos 8 Kg.

Vemos que los soportes están sometidos a fuerzas diferentes pero relativamente pequeñas para lo que soportan los tacos y tornillos expansivos HILTI según el cuadro que tenemos.

Los soportes estarían formados por soportes normalizados de 20 cm de longitud, sujetos a paramento vertical con tornillos expansivos de 8 mm y una profundidad de penetración de 60 mm, taco químico HILTI HIT-HY-270-23 en ladrillo de ½ pie que tienen un poder de tracción de varios kN, según los tornillos y anclaje que se utilice. Ver el Catálogo y el cuadro de HILTI. En las figuras 7, 8, 9 y 10, veréis los mástiles de Televés, anclajes HILTI, soporte 2401 y tornillos expansivos para taco químico.

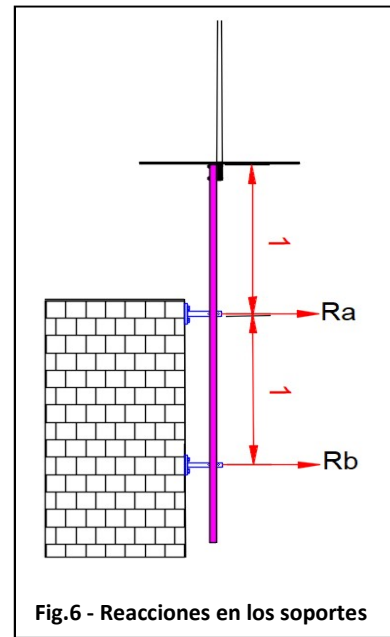


Fig.6 - Reacciones en los soportes

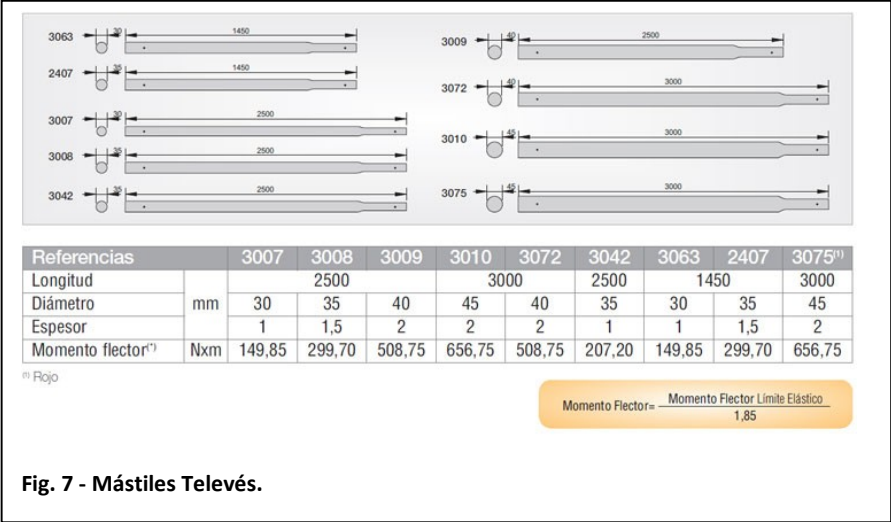


Fig. 7 - Mástiles Televés.

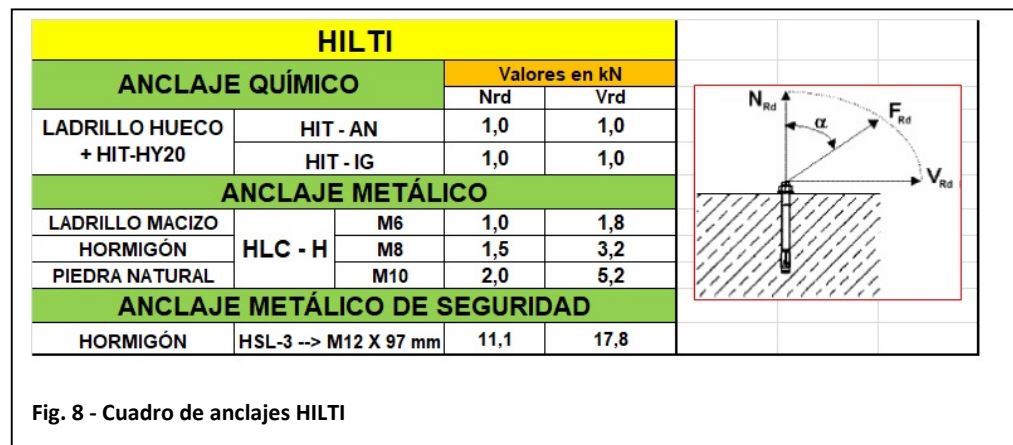


Fig. 8 - Cuadro de anclajes HILTI



Fig. 9 - Soporte de mástil 2401 Televés

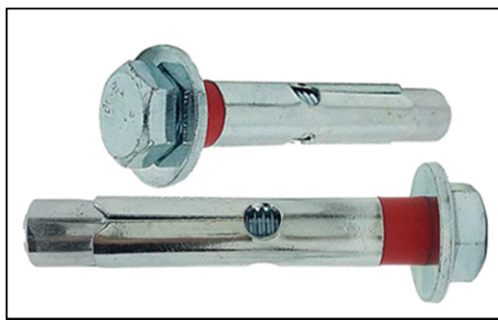


Fig. 10 - Tornillos expansivos