

Cálculos para Memoria Técnica

Antena vertical para 28 MHz

Diego Doncel, EA1CN

doctorohmio@gmail.com

Introducción

En nuestro país, para obtener la licencia de estación de aficionado, hay que presentar una documentación, según el Reglamento y debe constar de varias partes, entre ellas de una Memoria Técnica de lo que se pretende instalar, aparte de unos planos y unos documentos acreditativos de propiedad, etc. La memoria debe incluir, aparte de los documentos que se exigen, un plano de alzado de la instalación acotado, es decir, con todas las dimensiones de lo que le rodea y también “cálculo y descripción de soportes, riostras, anclajes, resistencia de suelo y elementos en que vayan a apoyarse” (textualmente).

Claramente son tres elementos clave los que hay que dejar bien expuestos en dicha memoria:

- El mástil y/o torreta que soportará la(s) antena(s).
- Los soportes que sujetarán el mástil o la base donde se sustentará mástil o torreta.
- Las zapatas o soportes que sujetarán las riostras, en caso de existir.

Todo ello con un doble objetivo:

- Que la instalación sea fiable y segura ante las inclemencias del tiempo, dentro de los límites establecidos por la posible climatología existente.
- Que sirvan de base para el instalador que monte la instalación y proporcione el boletín firmado exigible por la administración.

Generalmente, a la Jefatura de Inspección de Telecomunicaciones correspondiente a la provincia donde se solicite la licencia mencionada, lo que le importa con más prioridad son las distancias de todo lo que rodea al sistema de antena tanto en horizontal como en vertical y (en nuestro caso) los resultados de los cálculos y las conclusiones que se desprenden de ellos y que justifiquen, como digo, la seguridad de la instalación.

En este artículo voy a explicar cómo se hacen los cálculos para la instalación de una antena tipo vertical como puede ser una de 28 Mhz que, si se entiende lo escrito y se comprenden los cálculos, puede adaptarse a cualquier otro tipo semejante de antena. Estos cálculos que voy a explicar “despacio” no son, exactamente, los que (según yo) hay que presentar en la Memoria, pero sirven para justificar los resultados que **sí** hay que presentar en la memoria y que servirán, junto con los planos, para que el instalador expida su boletín.

La memoria que ha de presentarse en Telecomunicaciones no está sometida a un criterio de presentación, es decir, a diferencia de otro tipo de Proyectos (los de ICT, por ejemplo), la administración dice qué tiene que contener pero no dice cómo, ni el formato. Así que podemos hacerla de la manera más conveniente y explícita. Aconsejo severamente sencillez y facilidad de presentación. Sin enrollarse.

Desde mi punto de vista, una forma adecuada de presentar la memoria sería dividirla en las siguientes partes y en este orden:

- Identificación del titular de la estación y otros datos
- Descripción de la instalación (para cada tipo que se fuera a instalar)
- Planos
- Cálculos
- Relación de materiales.

Descripción de la instalación

Se pretende instalar una antena vertical de 7,2 metros de altura, con 4 radiales de 2 metros cada uno y 27 mm de diámetro en un mástil de 6 metros de altura, de 45 mm de diámetro y pared de 2mm de acero galvanizado y sujeto a paramento vertical entre dos sujeciones separadas entre sí 1 metro. Dicho mástil, como se verá, deberá ser arriostrado con un conjunto de 3 riostras, separadas entre sus bases de sujeción unos 120°. Las riostras estarán sujetas al mástil a una altura de 0,5 m del extremo superior del mástil que tendrá un voladizo de 5 metros. El mástil estará soportado por sendos soportes en "L", de 20 cms de longitud, atornillados al muro portante con tornillos expansivos de 10 mm y taco químico HILTI. Para la instalación se utilizarán dos mástiles unidos (carraqueados) de 3 metros de longitud. En total 6 metros, de los que 5 metros son voladizos. Ver fig.1

Nota: La casa fabricante de la antena establece como parámetro que la fuerza del viento en la antena será de 130 Km/h.

Datos de la instalación:

Superficie de la misma: 0,23 m²

Longitud: 7,2 metros

Peso: 2900 gramos

Radiales: 4 radiales de 2 metros cada uno.

Resistencia al viento (fabricante): 130 km/h

Hago las siguientes observaciones importantes:

El fabricante, en los datos de la antena, no especifica cómo son los radiales pero sí sé que son de 2 metros de longitud y de 0,75 cm de diámetro cada uno.

También dice que la antena soportará 130 km/h. La instalación, sea en mástil o torreta (en este caso mástil) la voy a calcular para 150 Km/h, de manera que si viene un viento o una racha de viento de esa velocidad, al menos que la sujeción de la antena soporte esa presión del viento. Lo que pase con la antena en sí está sin prever. Hay veces que el viento es mayor y otra menor. Pero debemos garantizar nuestra seguridad en la instalación del mástil o de la torre, si es que la instalamos así.

En este ejemplo, voy a calcular todo con un mástil de 3000x45x2 mm.

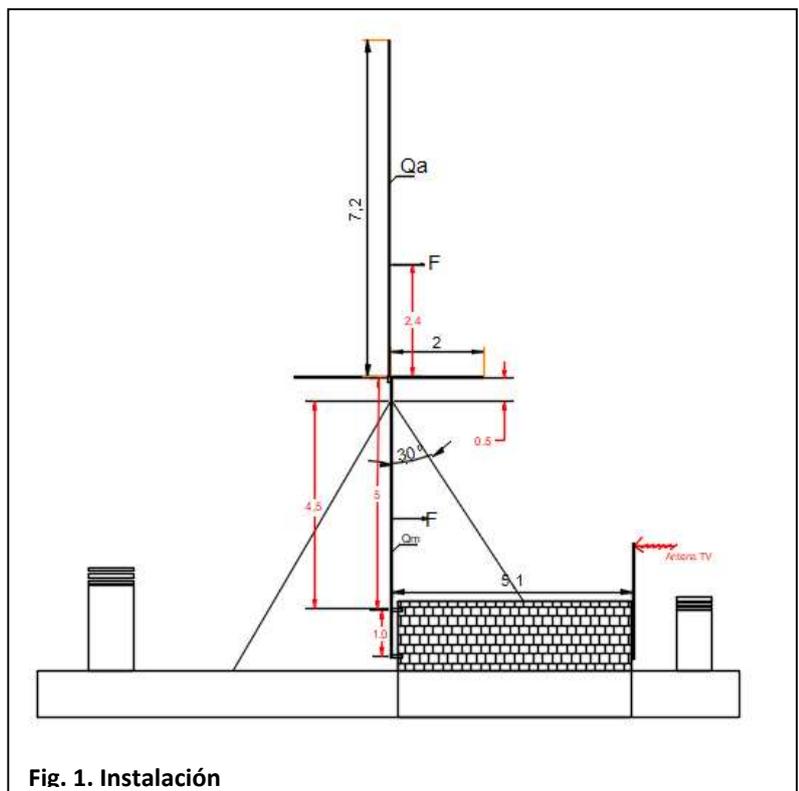
Lo primero que hay que hacer es calcular la fuerza del viento en todo el sistema para determinar cómo serán las riostras, los soportes de las riostras y el soporte o los soportes del mástil. Así pues, lo primero que hay que calcular es el momento flector que hay en el soporte del mástil más superior para determinar el diámetro de las riostras que se van a instalar.

En la figura 1 se ve el plano de la instalación en alzado con sus cotas. En él se ven las riostras dibujadas.

Para nuestras memorias y los cálculos que tenemos que presentar en ellas, lo primero que hay que conocer en la instalación (y si no se conoce, calcularlo es fácil) es:

- Superficie que enfrenta al viento la antena, radiante y radiales
- Superficie que enfrenta al viento el mástil

Generalmente los fabricantes dan estos valores y si no, hay que calcularlos lo más aproximadamente posible. Hay que vigilar un poco las características que dan los fabricantes de antenas y el asunto de las superficies al viento



porque puede uno encontrarse con errores. En las antenas verticales, se consideran por separado la parte vertical de la horizontal (radiales), porque se tratan de forma diferente. En las antenas yagi, sin embargo, toda ella se trata en conjunto.

Una vez hemos hallado las superficies mencionadas, hay que calcular las siguientes cosas:

- Presión del viento en la antena. Por un lado el vertical, por otro los radiales
- Presión del viento en el mástil en voladizo
- Momento flector en la base del mástil, donde se sujeta, para demostrar que, en efecto, son necesarias las riostras, en este ejemplo ya sabemos que vamos a instalarlas.

Como consecuencia de estos cálculos, en general, se obtendrá que sea preciso un juego de riostras. Calcular la tensión a que va a estar sometida una sola riostra, como si ella tuviera que soportar todo el esfuerzo del viento. Es el peor caso posible, a nuestro favor.

- Calcular o determinar cómo serán los soportes que sujetarán las riostras allá donde se pongan
- Calcular el peso del sistema y la fuerza (vertical) que harán las riostras sobre el soporte del mástil
- Justificar que el soporte es adecuado al esfuerzo que se le exige.

En este artículo me voy a limitar a explicar cómo se hacen los cálculos para que, tranquilamente y si quieres, aprendas a hacerlo en un tipo de antena igual o similar.

También tengo que opinar que en nuestro país es obligatorio hacer las cosas así, por un motivo u otro y, ya sabemos, que aunque la instalación sea sencilla (incluso más que esta que propongo), las Jefaturas de Inspección de Telecomunicaciones suelen pedir un Boletín del instalador; esto quiere decir que un instalador autorizado será el que lo monte con o sin tu ayuda. Es por ello que hay que dar todos los datos posibles en la parte de "Planos" y que haya una justificación de cómo se va a instalar.

Cálculos

El viento empuja a la antena y al mástil de formas diferentes.

Hay dos clases de carga al viento: Distribuida y puntual.

La carga distribuida es la que se realiza en sistemas verticales y la carga puntual es la que se presenta en superficies horizontales. Así, el radiante y el mástil son cargas distribuidas y los radiales son cargas puntuales. A unas se las designa como Q (de carga) y a otras como P (de Presión)

También voy a decir que, para 150 km/h y una densidad del aire media de $1,225 \text{ kg/m}^3$ la presión del viento es, aproximadamente, 1060 N/m^2 , así que esto lo tomo como base de cálculos en este caso en que el fabricante estima que la antena no soporta más velocidad. También hay que hacer notar que una superficie cilíndrica no es igual que una superficie plana, así que le asigno un coeficiente eólico del 0,7; esto me ayuda a considerar más seguridad todavía. Por último, sabemos que hace tiempo existen unas cuerdas tipo Dyneema y que tienen unas características que vienen en los catálogos. Se pueden usar, claro que sí, con sus matices de instalación. Muy importantes. Yo calcularé riostras en cables de acero, de las "de siempre". Sustituirlas por cuerdas Dyneema es tan fácil como irse a las características del fabricante y aplicar la tabla adecuada.

Cálculos para la antena.

Como digo más arriba, hay que conocer todas las superficies enfrentadas al viento, con esto y con el valor de la presión del viento, resolvemos casi todos los cálculos.

Como el fabricante me da una superficie de exposición al viento de $0,23 \text{ m}^2$ sin distinguir radiante y radiales y como los radiales tienen $0,27 \text{ cm}$ de diámetro y 2 metros de longitud, puedo separar por partes los radiales y el vertical radiante. Todo esto es aproximado para otras antenas. Se pueden suponer otros valores. Recalcular todo para otro tipo de antena es cuestión de tener paciencia y repasar todo. Aprender.

Superficie de los radiales:

4 radiales de $0,75 \text{ cm}$ de diámetro y 2 metros de longitud cada uno dan un total de:

$$S_{\text{radiales}}: 4 \times 0,075 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 0,06 \text{ m}^2$$

Superficie del radiante:

$$S_{\text{vertical}}: 0,23 \text{ m}^2 \text{ (que dice el fabricante de toda la antena)} - 0,06 \text{ m}^2 \text{ (radiales)} = 0,17 \text{ m}^2$$

Superficie del mástil:

Supongamos un mástil de 6 m (dos mástiles unidos de 3 m cada uno), sujetos en su parte inferior por dos garras de muro separadas entre sí 1 m. Así pues el voladizo del mástil será unos 5 metros.

$$S_m = 5 \text{ m} \times 0,045 \text{ m} = 0,23 \text{ m}^2$$

Donde: 0.045 m es el diámetro y 5 m es el voladizo.

Carga del viento en la antena (radiante):

$Q_A = 0,17 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 126,1 \text{ N}$ (0,7 es el coeficiente eólico, se utiliza para compensar la diferencia entre superficies planas completamente y las cilíndricas expuestas al viento)

Carga del viento en la antena (radiales):

$$P_{\text{radiales}} = 0,06 \text{ m}^2 \times 1060 \text{ N/m}^2 \times 0,7 = 44,5 \text{ N}$$

Donde 0.06 m² es la superficie de todos los radiales.

Carga del viento en un mástil (distribuida) de 40 mm:

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

Existen programas en internet que calculan los esfuerzos a que están sometidos estos sistemas en forma de vigas, ya que podría asemejarse el sistema a una viga empotrada.

Supondremos que todo el viento sopla en la dirección de una sola riostra, como situación peor (aunque poco probable), de esta manera estaremos aumentando nuestra seguridad. Nosotros vamos a aplicar una forma sencilla de calcular, con aproximación, esa reacción a que se somete a las riostras (a la riostra única en nuestro caso).

Recordemos que no estamos en un mundo científico donde las precisiones son críticas, sino en un mundo de aficionados donde lo que pretendemos es asegurarnos que la instalación cumpla con las condiciones previstas ante las inclemencias del tiempo y nos deje "dormir tranquilos", así pues nos es libre de hacer suposiciones físicas no muy exactas quizás, pero sí prácticas y fiables.

Con una superficie de la parte vertical de la antena de 0,17 m² y una longitud de 7,2 m, sale un diámetro medio de 2,4 cm. El aspecto de dicho radiante, a la vista del viento, es prácticamente un triángulo, así pues vamos a suponer que el centro de gravedad está a una distancia de 1/3 de altura de dicho radiante, por lo que suponemos también la fuerza aplicada y distribuida en dicho elemento en ese punto, es decir a 2,4 metros.

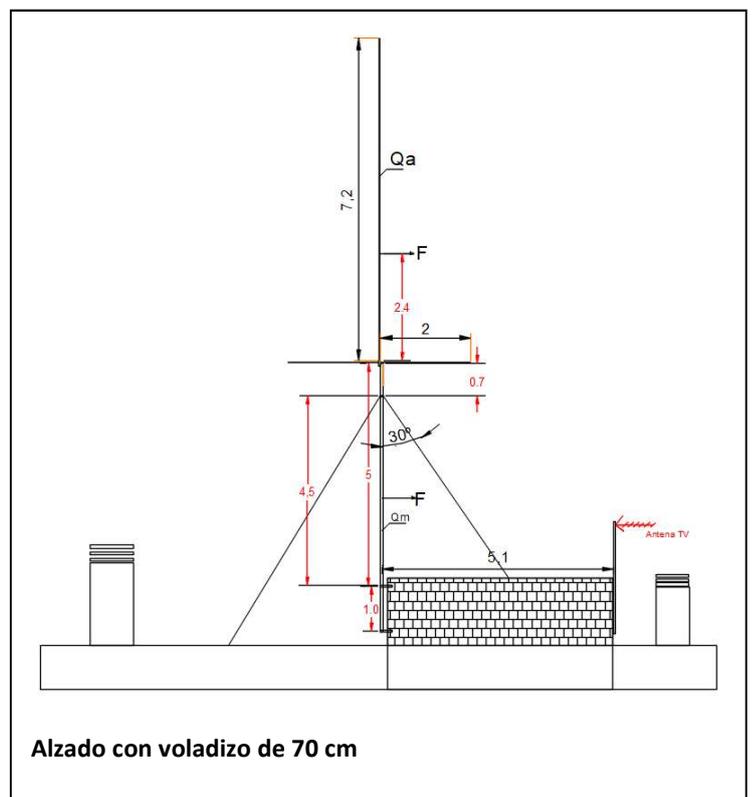
Supongamos un voladizo de mástil de 50 cm. Para un mástil de 40x2 mm de diámetro:

El momento flector en dicho mástil con 50 cm de voladizo sería:

$$M_m = 126,1 \text{ N} \times (2,4 + 0,5) \text{ m} + 44,5 \text{ N} \times 0,5 \text{ m} + 33,4 \text{ N/m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 392 \text{ Nm}$$

que con un margen de seguridad del 50% nos daría: 588 Nm.

Si el voladizo fuera de 70 cm, el momento resultante sería:



$M_m = 126,1 \text{ N} \times (2,4 + 0,7) \text{ m} + 44,5 \text{ N} \times 0,7 \text{ m} + 33,4 \text{ N/m} \times 0,7 \text{ m} \times 0,35 \text{ m} = 430 \text{ Nm}$ que con un margen de seguridad del 50% nos daría: $645 \text{ Nm} < 656 \text{ Nm}$

Podría ser un mástil 3010 de 3000x45x2 mm a 70 cm de voladizo máximo, cuyo momento flector máximo (en el límite elástico) es 656 Nm

Cálculo de las riostras

Lo primero que debemos hacer es calcular el momento flector en la base del mástil, en el soporte superior en el muro.

Sabemos que el momento flector de una fuerza es el valor de ésta por su distancia al punto de apoyo. En este caso el soporte superior del mástil.

En el caso de una fuerza distribuida, como es el mástil y el radiante de la antena, el punto de aplicación de su fuerza es el punto medio de su tramo vertical. Dicho esto, veamos:

Momento que produce el radiante vertical de la antena respecto al origen:

$M_{va} = 126,1 \text{ N} \times (5 \text{ m} + 2,4 \text{ m}) = 933,1 \text{ Nm}$ (2,4 es el punto de aplicación de la fuerza para el tramo vertical de la antena).

Momento que producen los radiales (carga puntual):

$M_{ra} = 44,5 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 222,5 \text{ Nm}$

Momento que produce el mástil en sí mismo:

$M_m = 33,4 \text{ N/m} \times 5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 417,5 \text{ Nm}$

Suma de todos los momentos: $M_T = 1573 \text{ Nm}$

Pensemos ahora qué fuerza tendrá que contrarrestar dicho momento si estuviera situada en el punto de ubicación de las riostras, a 5 m del soporte. Esa reacción, multiplicada por la distancia al punto de sujeción del mástil debería ser mayor que ese momento flector para estar seguros de su función.

Esa reacción sería: $1573 \text{ N} / 5 \text{ m} > 314 \text{ N}$

Démosle un margen del 10% y consideremos:

$314 \text{ N} \times 1,1 = 346 \text{ N}$ (35,3 kg)

Si la riostra formara un ángulo de 30° con respecto al vertical (mástil), la tensión en la riostra será: $35,3 \text{ kg} / \sin 30^\circ = 70,6 \text{ kg}$ (ver figura 3)

A la vista de la figura 4 vemos que correspondería un cable de 2 mm de diámetro, con una carga de rotura de 200 kg.

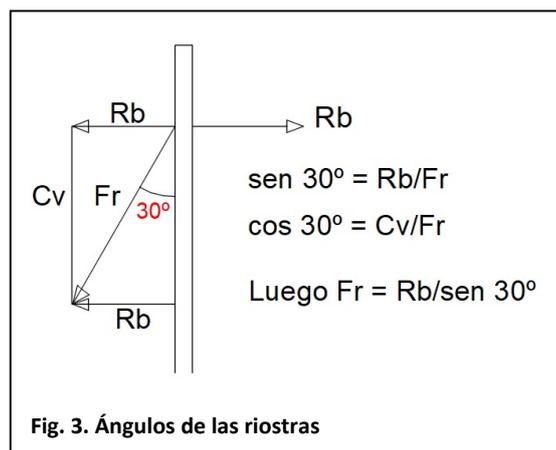
Los fabricantes estipulan un pretensado del 10% de la carga de rotura de la riostra que, en este caso, supone unos 20 kg. En este caso, supondría una tensión de riostra de:

$TR = 70,6 \text{ kg} + 20 \text{ kg} = 90,6 \text{ kg}$

Otra forma de ver este valor del diámetro sería considerar la carga de rotura en kg/mm^2 que es $63,69 \text{ Kg/mm}^2$

En este caso la sección de dicha riostra sería:

$S = 90,6 \text{ kg} / 63,69 \text{ kg/mm}^2 = 1,42 \text{ mm}^2$ que, aplicando la superficie de un círculo, su diámetro sería de 1.5 mm, por lo que pondríamos riostras de 2 mm como mínimo, que, según los catálogos, soportan hasta 200 kg.



CABLES TELEVES				
Diametro mm	Sección mm ²	Hilos	Carga rotura (Kp)	Carga rot (Kp/mm ²)
2	3,14	7x0,6	200	63,69
4	12,57	7x1,3	1100	87,51
5	19,63	7x1,6	1800	91,7
6	28,27	7x2,0	3000	106,12
NO TELEVES				
3			784	

Figura-4. Tabla de cables de acero

Sujeción del mástil.

Si los soportes del mástil son garras normalizadas en "L" sujetas a la pared con cuatro tornillos expansivos y taco químico HILTI, el soporte superior estará sometido a una fuerza vertical de:

Componente vertical de la riostra + peso antena + peso mástil

Veamos antes las componentes vertical y horizontal de la tensión de la riostra, a 30° de ángulo con el mástil.

Componente vertical: $90,6 \text{ kg} \times \cos 30^\circ = 78,5 \text{ kg}$ (769 N)

Componente horizontal: $90,6 \text{ kg} \times \sin 30^\circ = 45,3 \text{ kg}$ (444 N)

Ahora, con la componente vertical de la tensión de la riostra, el peso sobre el soporte será:

$78,5 \text{ kg} + 2,9 \text{ kg} + 12 \text{ kg} = 93,4 \text{ kg}$ que en un saliente del soporte de 20 cm provocarán un momento flector de $M_f = 0,2 \text{ m} \times 93,4 \text{ kg} = 18,6 \text{ kgm}$ que serán soportados por la garra de muro superior.

En dicha garra de muro se producen dos esfuerzos, uno vertical, de $V_{Rd} = 769 \text{ N}$ y otro horizontal de $N_{Rd} = 444 \text{ N}$.

Vemos en la tabla de anclajes HILTI que un solo tornillo expansivo con o sin taco químico soportaría dichos esfuerzos, si bien nosotros instalamos 4 tornillos.

Sujeción de las riostras:

Estas sujeciones tienen que soportar un esfuerzo horizontal de 43,65 kg y un esfuerzo vertical de 75,6 kg. Hay dos opciones:

- Garra de muro normalizada, de 20 cm de longitud, en "L", sujeta a muro portante con 4 tornillos expansivos de 8 mm y taco químico HILTI. Como puede verse, en dicha tabla y su gráfico, en el caso de las fuerzas, $N_{Rd} = 444 \text{ N}$ y $V_{Rd} = 769 \text{ N}$ pero estamos referidos al conjunto entero de la garra, 4 tornillos, mientras que la tabla se refiere a un solo tornillo. Por lo que, instalándose en cualquier sistema de anclaje, queda garantizado el esfuerzo.

HILTI				
ANCLAJE QUÍMICO			Valores en kN	
			Nrd	Vrd
LADRILLO HUECO + HIT-HY20	HIT - AN		1,0	1,0
	HIT - IG		1,0	1,0
ANCLAJE METÁLICO				
LADRILLO MACIZO	HLC - H	M6	1,0	1,8
HORMIGÓN		M8	1,5	3,2
PIEDRA NATURAL		M10	2,0	5,2
ANCLAJE METÁLICO DE SEGURIDAD				
HORMIGÓN	HSL-3 ->	M12 X 97 mm	11,1	17,8

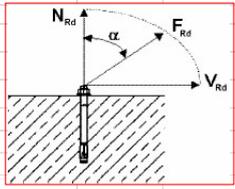


Tabla de anclajes HILTI

- Zapata de hormigón armado, fusionada con el suelo que la soporta. Si se trata de terraza o terreno muy seco, serían de 85 x 85 x 70 cm (Ver catálogo de Torres- Televés). En la tabla puede verse la columna amarilla como indicadora de las dimensiones, según las tensiones previstas.

TENSIÓN EN LOS PUNTOS DE ANCLAJE DE LAS RIOSTRAS					
Zapata de Hormigón	Tiro Vertical	<400 kg	<800 kg	<1600 kg	<2400 kg
	Tiro Horizontal	<300 kg	<700 kg	<1400 kg	<2100 kg
	Altura	70 cm	75 cm	90 cm	90 cm
	Superficie	85 x 85	110 x 110	140 x 140	160 x 160

Tabla de dimensiones para zapatas

El montaje incluye sujetadores de cables (perrillos), protectores de cables, útil de sujeción de los cables al mástil, tensores, etc.

Las riostras se tensan con la mano o muy suavemente con un destornillador haciendo de palanca. Se retensan en 15 días. El mástil se tapa por arriba para evitar resonancias.

++++++

Nota Importante: No me hago responsable del uso de esta información. Estos cálculos son únicamente informativos, no son válidos para ser considerados oficiales, ni profesionales, ni de otra índole. Diego, EA1CN.

Agradecimientos y bibliografía:

Luis Ignacio, EA4DTP

Mecánica Aplicada, Ramiro A.