

CARGA AL VIENTO.

La carga al viento o resistencia al viento nos indica el efecto que tiene el viento sobre la antena. El fabricante la expresa para una velocidad del viento de 120 km/h (130 km/h en la normativa reciente) y 150 km/h (generalmente los fabricantes sólo la suministran a 120 km/h). A la velocidad de 120 km/h se utiliza la carga al viento si la antena está colocada a una altura inferior a 20 m desde el suelo; si la altura es mayor de 20 m entonces se utiliza la carga al viento a 150 km/h. Más adelante se estudia cómo se calcula la carga al viento de una antena a cualquier velocidad del viento, sabiendo la carga a 120 km/h.

La carga al viento se expresa en Newton (N) o en kilogramos (kg); para el cálculo del mástil nos interesa en N. Para ello, si la carga al viento viene expresada en kg, se multiplica por 9.81 y la tenemos expresada en N. Ejemplo:

$$Q_v = 9 \text{ kg} \rightarrow Q'_v = 9 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ N/kg} = 88.29 \text{ N}$$

Cuanto mayor sea el tamaño de la antena, mayor carga al viento tendrá, al tener más superficie expuesta al viento.

Es un dato de interés en la colocación de la antena en el mástil.

CONSIDERACIONES SOBRE EL VIENTO.

CARGA DEL VIENTO EN LAS ANTENAS

La carga del viento Q de una antena, es la fuerza equivalente que actúa sobre el mástil en el punto de colocación de la antena sobre él, debida a la presión que ejerce el viento sobre la misma.

Conociendo la carga del viento de una antena determinada para una presión del viento determinada, se puede calcular su carga del viento para otra presión distinta, por la expresión:

$$Q_v = P_v \cdot S_A$$

siendo: Q_v : Carga del viento de la antena (N).

P_v : Presión del viento (N/m^2).

S_A : Superficie equivalente de la antena (m^2).

Como, normalmente, el fabricante suministra la carga del viento Q_v de una antena a una presión de viento P_v determinada, podemos calcular la superficie equivalente de la antena S_A y, con ello, la carga del viento Q'_v de la antena a otra presión distinta.

Por ejemplo, supongamos una antena de TELEVÉS de 43 elementos (referencia 1043) que tiene una carga del viento $Q_v = 32 \text{ N}$ para una presión de viento $P_v = 785 \text{ N/m}^2$ equivalente a 120 km/h.

En este caso tendremos la superficie equivalente de la antena de:

$$S_A = Q_V/P_V; S_A = 32\text{N}/(785 \text{ N/m}^2) = 0.04076 \text{ m}^2.$$

A 150 km/h de velocidad del viento y una presión de viento equivalente de $P'_V = 1080 \text{ N/m}^2$, resulta una carga del viento de:

$$Q' = 0.04076 \text{ m}^2 \cdot 1080 \text{ N/m}^2 = 44 \text{ N} \rightarrow \text{comprobamos que coincide con la indicada en el catálogo.}$$

Así, para cualquier antena suministrada por cualquier fabricante, sabiendo la carga del viento a una velocidad de viento determinada, podemos calcularla a otra velocidad distinta, ya que a veces es necesario calcularla a velocidades superiores a 120 km/h, que es lo que normalmente suministran los fabricantes en sus catálogos.

MOMENTO FLECTOR DEL MÁSTIL.

El momento flector de un mástil, se calcula a la velocidad del viento de 130 km/h para alturas de colocación del mástil inferiores a 20 m, y a velocidad de 150 km/h para alturas superiores, aunque a veces, por motivos de seguridad y en zonas de alto riesgo de vientos superiores, se tomarán velocidades superiores, de tal forma que debemos tener en cuenta este efecto.

La presión del viento se calcula utilizando la expresión:

$$P_V = (v^2/16) \cdot g$$

siendo: v: velocidad del viento en m/s.

P_V : Presión del viento en N/m^2 .

g: Fuerza de gravedad (9.81 m/s^2)

Haciendo los cálculos de los coeficientes, resulta la expresión:

$$P_V = 0.613 v^2 \text{ con velocidad en m/s.}$$

$$P_V = 0.0473 v^2 \text{ con velocidad de viento en km/h.}$$

La presión del viento para cada zona geográfica española, se puede encontrar en la Norma Tecnológica NTE-ECV/1973 —Estructuras-cargas viento—, que se utiliza en edificación y nos puede servir de referencia para calcular la sobrecarga al viento en determinados lugares de la geografía española en el cálculo del mástil.

La superficie del mástil expuesta al viento se calcula por la expresión:

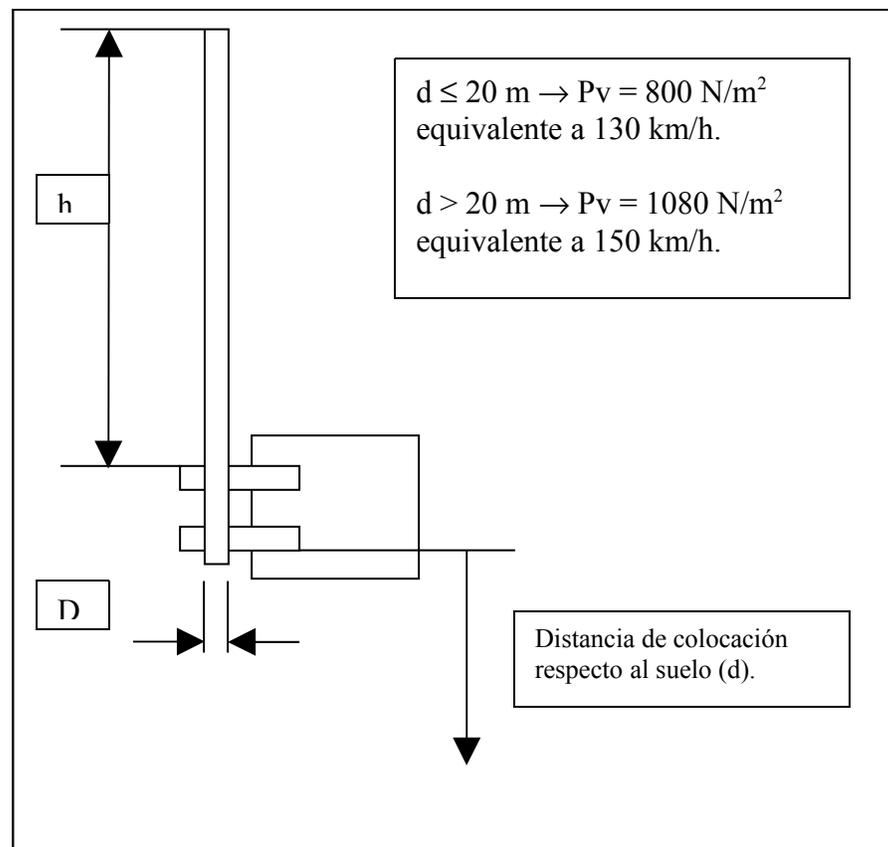
$$S = D \cdot h \cdot c$$

siendo: S: superficie del mástil expuesta al viento (en m²).

D: Diámetro exterior del mástil (en m).

h: altura del mástil desde el lugar de empotramiento al muro (en m).

c: coeficiente eólico (0.7 para mástil cilíndrico).



Elementos para el cálculo del mástil.

La fuerza que ejerce el viento sobre el mástil viene determinada por la expresión:

$$F_v = P_v \cdot S$$

siendo: F_v : la fuerza ejercida por el viento (en N).

P_v : la presión ejercida por el viento (en N/m^2).

Si la altura del mástil es inferior a 20 m respecto al suelo, se considera una presión del viento de $800 N/m^2$ equivalente a una velocidad del viento de 130 km/h. Para alturas superiores se considera $1080 N/m^2$ correspondiente a una velocidad del viento de 150 km/h.

S : la superficie del mástil expuesta al viento (en m^2).

El momento flector que ha de soportar el mástil quedaría como se indica en la expresión:

$$M_m = (1/2) h \cdot F_v \text{ expresado en N.m}$$

De esta forma, podríamos resumir el cálculo del momento flector del mástil con la expresión:

$$M_m = (1/2) h S P_v = (1/2) h D h 0.7 P_v = (1/2) h^2 D 0.7 P_v$$

Con el valor de los coeficientes y como P_v es una constante que depende de la altura a la que se coloque el mástil respecto del suelo, podemos tener dos expresiones para calcular el momento flector del mástil que vienen indicadas en la ecuación siguiente, para alturas de colocación inferiores a 20 m o superiores a 20 m.

$$M_{m < 20m} = 280 D h^2 \text{ alturas menores o iguales a 20 m.}$$

$$M_{m > 20m} = 378 D h^2 \text{ alturas superiores a 20 m.}$$

estando el diámetro del mástil (D) y la longitud del mástil (h) en metros (m), y el Momento flector (M_m) en Newton por metro ($N \cdot m$).

Como el fabricante, cuando nos indica el momento flector resistente de un mástil, ya ha tenido en cuenta el momento flector debido al propio mástil, sólo habrá que calcular el momento flector debido a las antenas, cuando la altura de mástil “ h ” no supere la longitud de un tubo de mástil desde el lugar del empotramiento al muro. En caso de ser más largo ($h > l_t$), habrá que calcular el momento flector equivalente del mástil que hay que sumar al de las antenas. Esto se hace calculando el momento flector del mástil completo, y restándole el momento flector de un tubo de mástil (de la longitud de un tubo l_t). Sería, por tanto:

$$M_{me} = (1/2) h^2 D 0.7 P_v - (1/2) l_t^2 D 0.7 P_v$$

siendo: M_{me} : el momento flector equivalente que hay que añadir.

P_v : la presión del viento a la que se calcula el momento flector.

$P'v$: la presión de viento a la que está calculado el tubo de mástil, que normalmente es a 120 km/h.

Calculando la expresión anterior para alturas menores o iguales a 20 m y para alturas mayores a 20 m tendremos el momento flector equivalente que se añadirá al de las antenas para calcular el momento flector de un mástil.

$$Mme_{<20m} = (1/2) D 0.7 800 \text{ N/m}^2 (h^2 - lt^2) = 280 D (h^2 - lt^2)$$

(la expresión exacta sería: $(1/2) D 0.7 800 h^2 - (1/2) D 0.7 785 lt^2 =$

$$280 D (h^2 - lt^2) - (1/2) D 7 15 lt^2 = 280 D (h^2 - lt^2) - 5.25 D lt^2,$$

si el fabricante considera 120 km/h en lugar de 130 km/h de velocidad del viento, pero la diferencia es muy pequeña.

$$\begin{aligned} Mme_{>20m} &= (1/2) D \cdot 0.7 \cdot 1080 \text{ N/m}^2 \cdot h^2 - (1/2) D \cdot 0.7 \cdot 785 \text{ N/m}^2 \cdot lt^2 \\ &= 378 \cdot D \cdot h^2 - 274.75 \cdot D \cdot lt^2 \end{aligned}$$

Resumiéndolo todo en la expresión siguiente, suponiendo que el fabricante incluya en sus datos la presión de viento a 120 km/h:

$$Mme_{<20m} = 280 D (h^2 - lt^2)$$

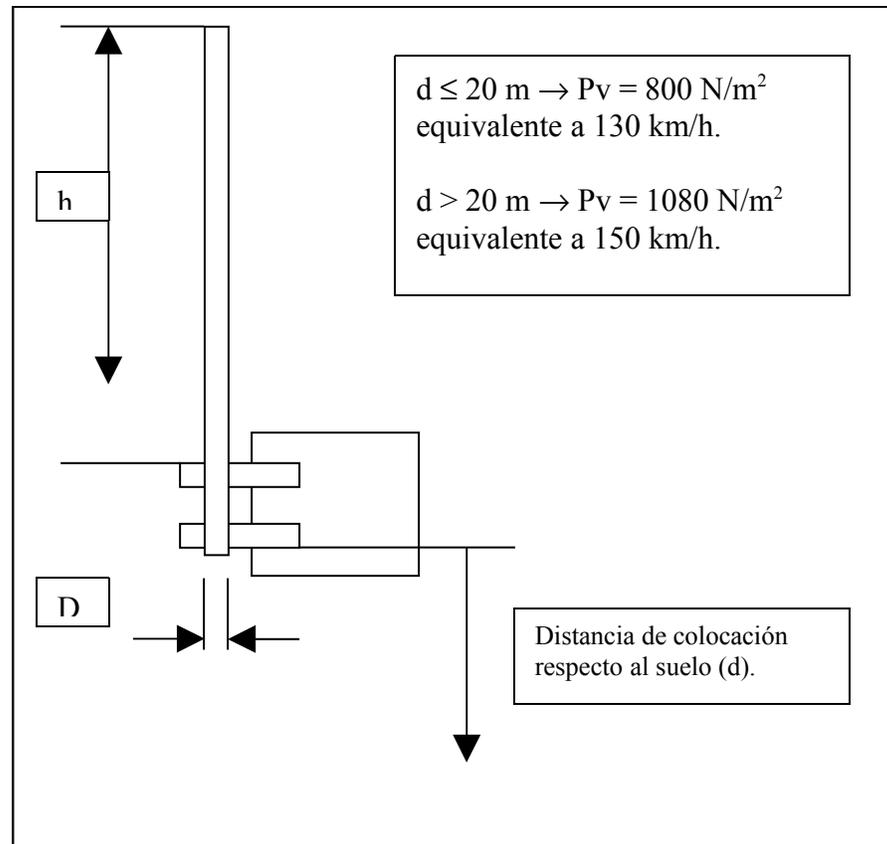
$$Mme_{>20m} = 378 D h^2 - 274.75 D lt^2 = 378 D (h^2 - lt^2) + 103.25 D lt^2$$

donde D, h y lt están expresadas en metros (m) y Mme en N • m.

Veamos un ejemplo: Supongamos un mástil de TELEVÉS de referencia 3010 cuyos datos son:

- Diámetro = 45 mm.
- Longitud = 3000 mm.
- Espesor = 2 mm.

Si hacemos una instalación como la de la figura siguiente, donde h es de 4 m, y está situado a 15 m respecto al nivel del suelo, tendremos, aplicando la expresión:



$$M_{me<20m} = 280 D (h^2 - l^2) = 280 \cdot 0.045 \text{ m} \cdot (4^2 - 3^2) = 88.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

que habrá que añadir al momento flector debido a las antenas instaladas en el mástil.

Si colocamos el mástil a 25 m respecto al nivel del suelo, entonces tendremos que aplicar la expresión:

$$M_{me>20m} = 378 D h^2 - 274.75 D l^2 = 378 \cdot 0.045 \text{ m} \cdot 4^2 - 274.75 \cdot 0.045 \text{ m} \cdot 3^2 = 161 \text{ N} \cdot \text{m}$$

y será el momento flector que habrá que añadir al debido a las antenas.

SUJECIÓN DE LA ANTENA

Las antenas receptoras de TV, se montan generalmente sobre un mástil redondo de la sección adecuada, de modo que forman una estructura metálica que ha de resistir la presión del viento.

La longitud y la sección del mástil están determinadas por el tipo, número y posición de las antenas que estén sujetas al mismo. Los valores mínimos de separación de antenas se dan en la tabla I, extraída de la norma C.E.I, para diversos ángulos formados por las antenas montadas. Las bridas de sujeción del mástil, se colocarán separadas un mínimo de 1/8 de la longitud del tubo del mástil.

Tabla I. Valores mínimos de separación entre antenas (Las distancias de separación entre antenas están en metros)

Tabla I. Valores mínimos de separación entre antenas (metros).

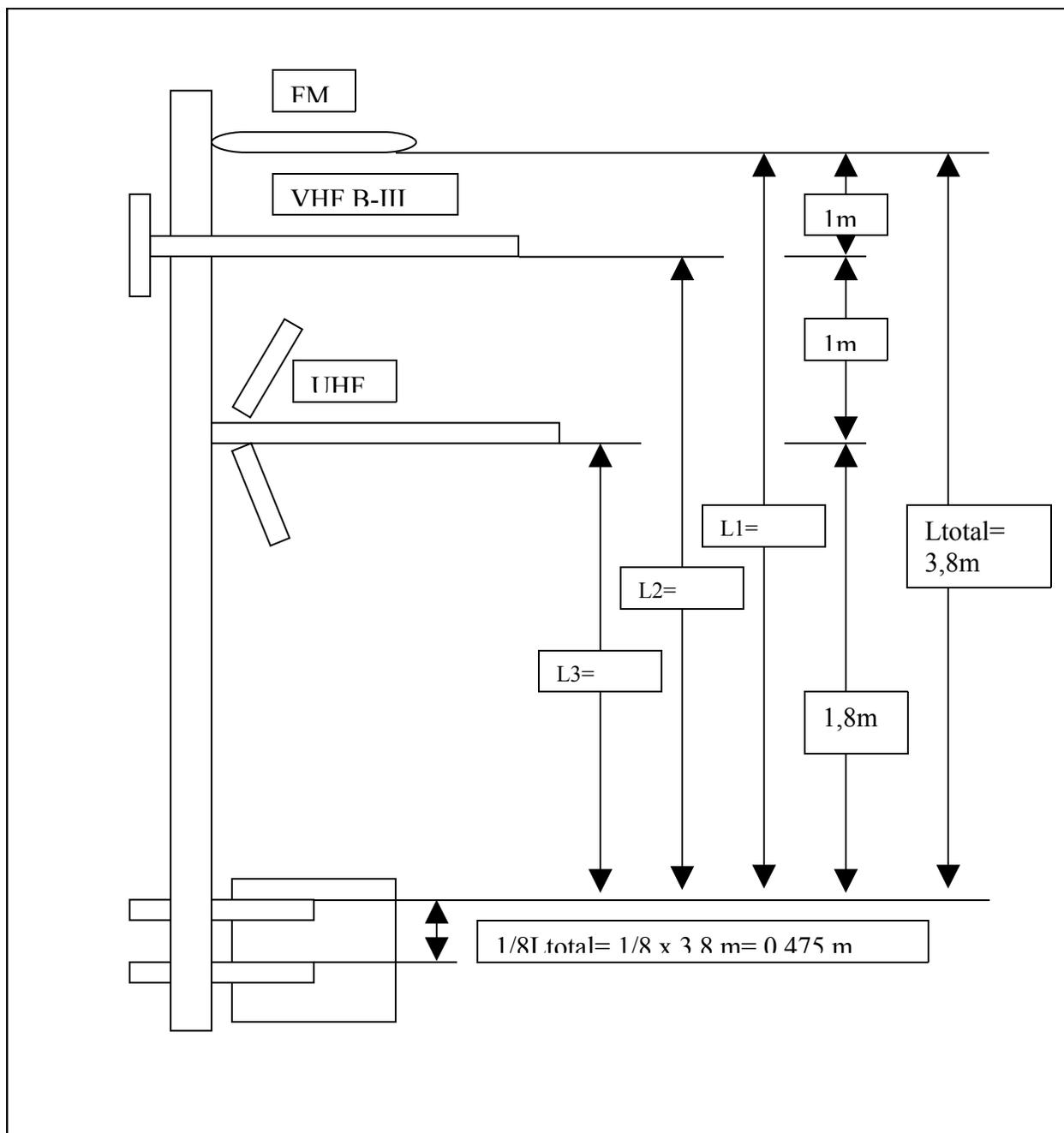
| Ángulo que forman las antenas | Banda | I | FM | III | IV | V |
|-------------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| Menor de 20° | I | 3.20 | 1.80 | 1.80 | 1.00 | 1.00 |
| | FM | 1.80 | 1.40 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | III | 1.80 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | IV | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.80 | 0.65 |
| | V | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.65 | 0.65 |
| Entre 20° y 70° | I | 2.30 | 1.80 | 1.30 | 0.75 | 0.75 |
| | FM | 1.30 | 1.00 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| | III | 1.30 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| | IV | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.60 | 0.50 |
| | V | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 |
| Entre 70° y 90° | I | 1.85 | 1.00 | 1.00 | 0.55 | 0.55 |
| | FM | 1.00 | 0.80 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| | III | 1.00 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| | IV | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.45 | 0.35 |
| | V | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.35 | 0.35 |

En catálogo nos encontramos el valor de la resistencia o carga al viento de cada antena que nos servirá para el cálculo.

Más adelante se explica el cálculo del mástil que habrá que colocar en cada caso.

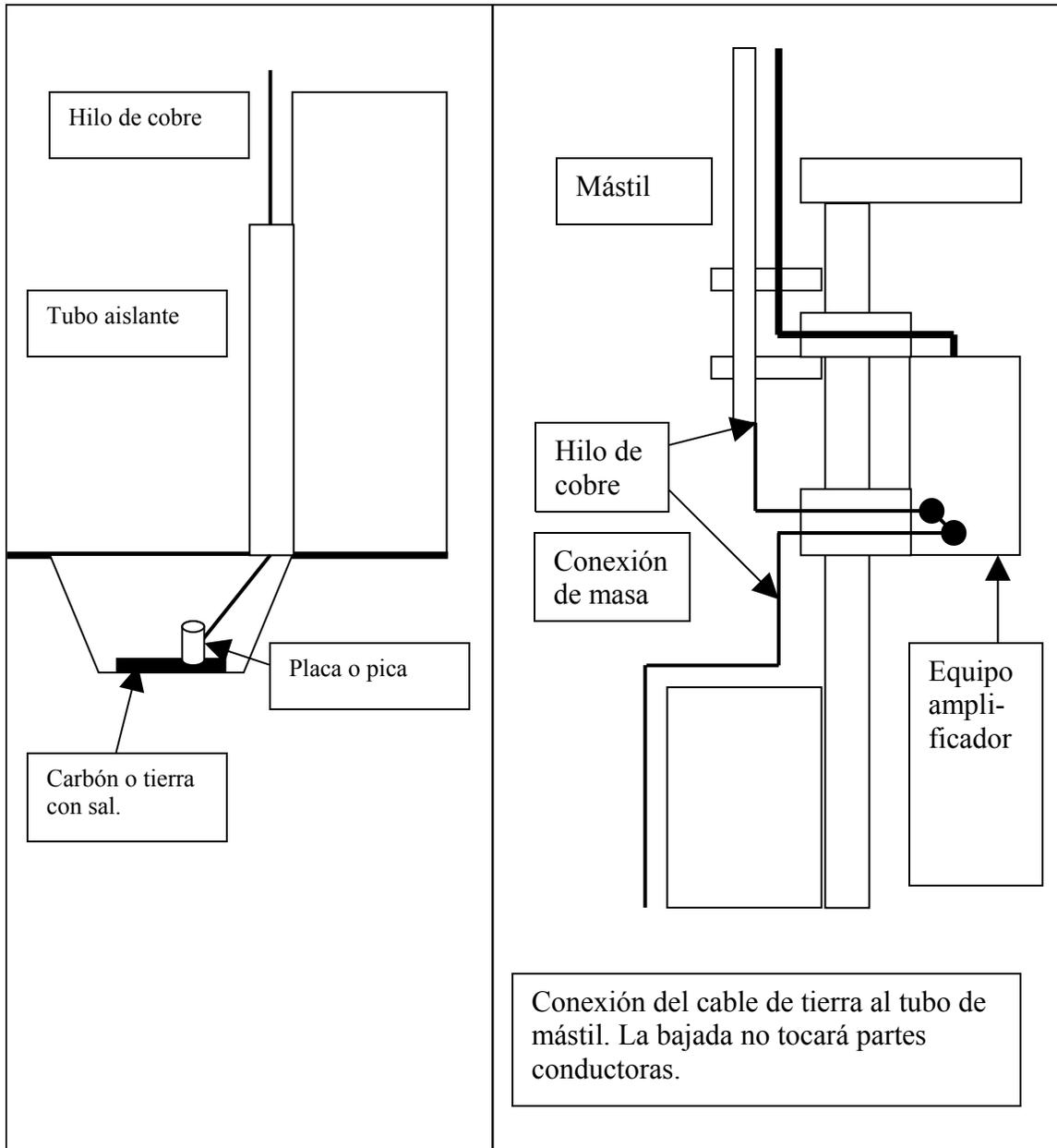
Si la instalación es de antena colectiva y requiere proyecto, no podemos utilizar la tabla I; hemos de hacer referencia a la Ley 1/1998 y al Real Decreto 279/1999 sobre Infraestructuras comunes de Telecomunicación en los edificios.

En el DIBUJO se muestra un ejemplo de las separaciones que deben tenerse en cuenta en la colocación de antenas en el mástil, observando la tabla I.



Distancias para colocación de las antenas en el mástil.

Otro aspecto importante en la sujeción de la antena es que el mástil ha de conectarse a masa (toma de tierra) mediante un cable de cobre de 6 mm² de sección como mínimo. El cable no debe poder tocarlo una persona con las manos, por tanto debe estar protegido desde una altura de unos 2,5 m hasta el suelo, tampoco ha de hacer contacto con paredes o partes metálicas en el trayecto de bajada.



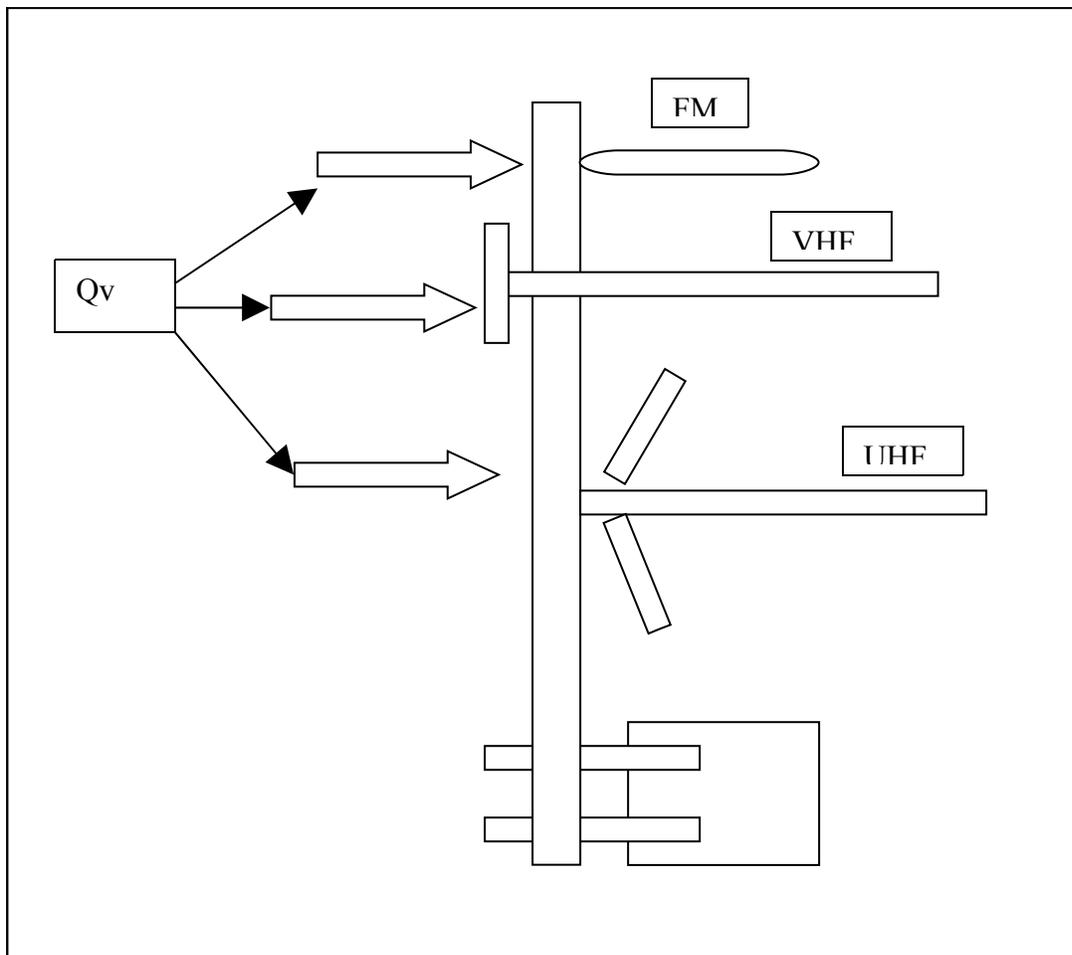
DISPOSICIÓN DE LAS ANTENAS Y CÁLCULO DEL MÁSTIL UTILIZADO.

Un elemento importante que hay que tener en cuenta es el mástil utilizado y la colocación de las antenas en el mismo, incluidos los vientos si son necesarios.

Existen unos conceptos básicos necesarios para este fin que son la «Carga del viento» y el «momento flector».

Carga del viento Q_v .

La carga del viento es la fuerza que actúa sobre el mástil en el punto de sujeción de la antena debido a la presión del viento sobre la misma. Esto se muestra en la figura



Concepto de carga del viento. Cada antena supone una carga del viento.

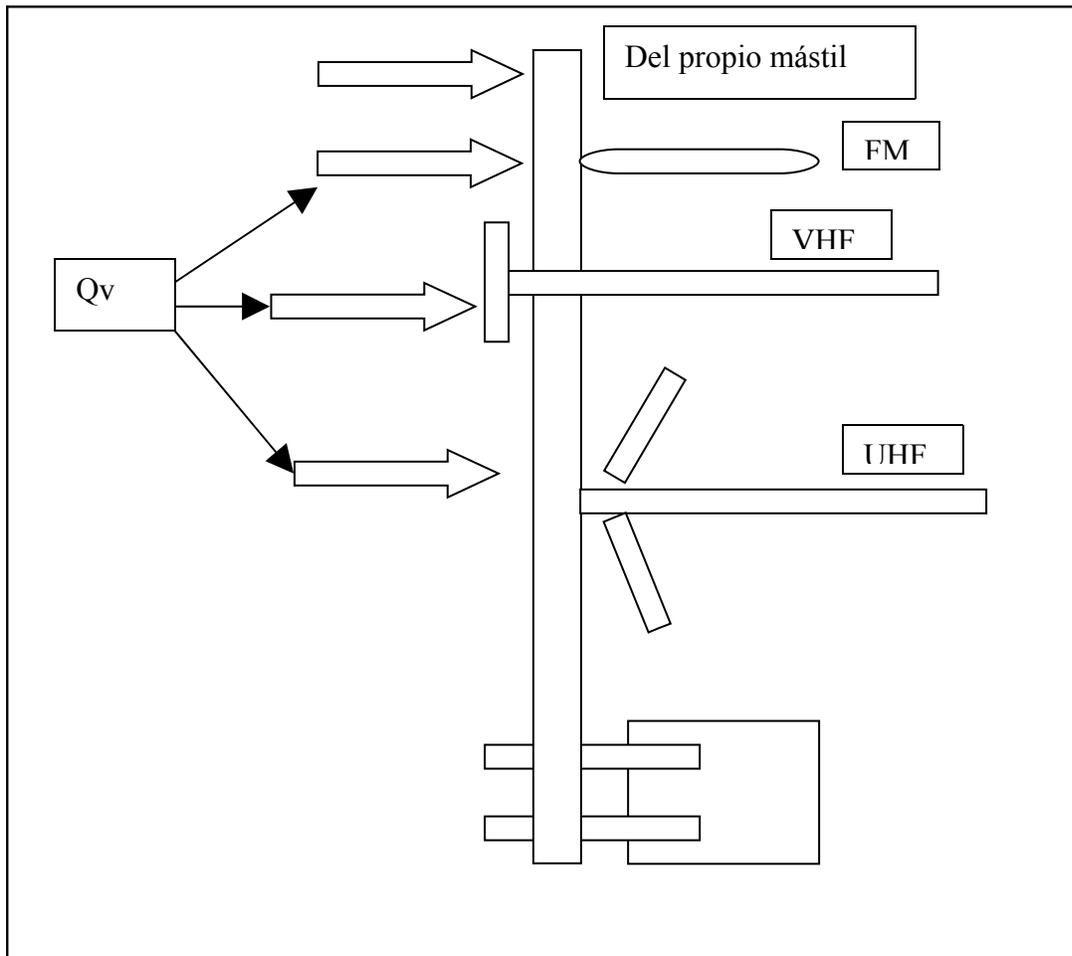
El R.D. 279/1999 establece que: «La presión del viento sobre la antena y elementos de captación en alturas iguales o inferiores a 20 m se considera igual a 800N/m²»

(Newton/metro²) = (81,63 kg/m²) equivalente a una velocidad del viento de 130 km/h. Para alturas superiores a 20 m se considerará igual a 1080N/m² = (110 kg/m²) que corresponde a una velocidad del viento de 150 km/h».

El valor de la carga del viento de cada antena lo especifica el fabricante en su catálogo.

Momento flector M.

El momento flector en un mástil es el momento en el extremo superior de empotramiento o anclaje del mástil, debido a las fuerzas de todas las antenas y del propio mástil a causa de la acción del viento. Esto se muestra en la figura.

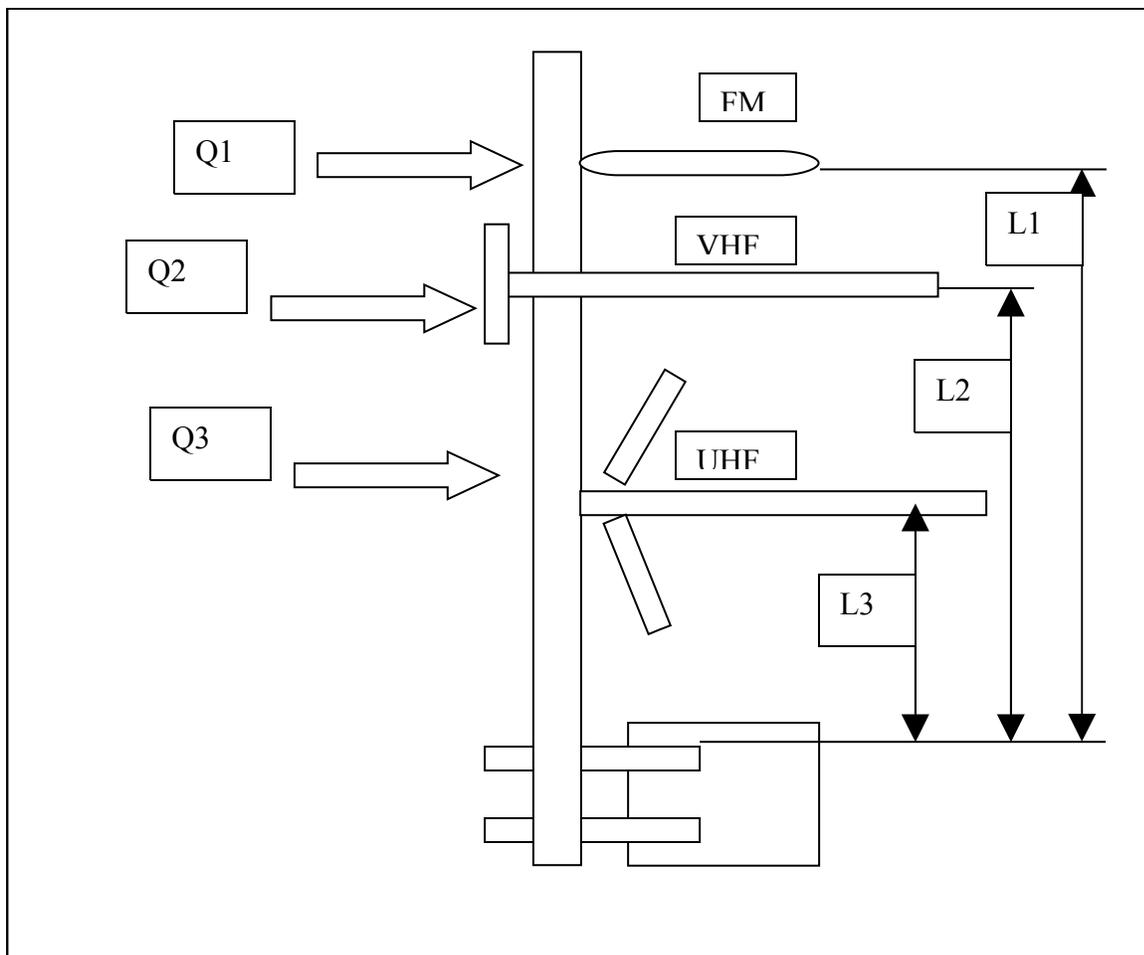


Momento flector de una instalación de antenas.

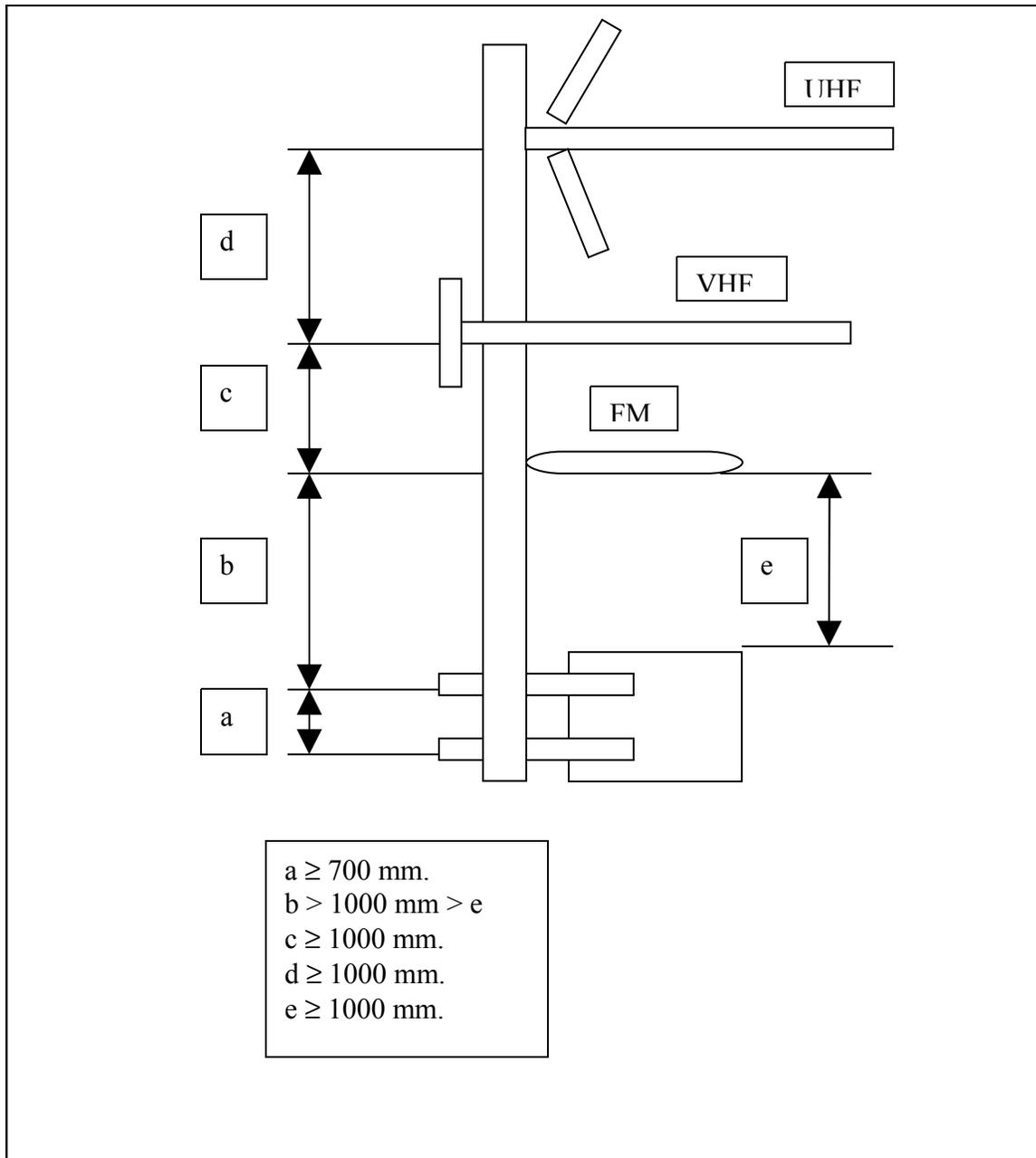
Según las normas VDE: «El momento flector en el extremo superior del anclaje del mástil no debe sobrepasar los 1619N•m (Newton por metro) = (165 kg • m)». En cualquier caso, no puede superar el valor máximo admisible por el tubo del mástil.

Colocación de las antenas en el mástil.

Deberán colocarse las antenas necesarias para las diversas bandas a lo largo del mástil, de tal forma que el momento flector del conjunto sea el menor posible. Esto implica que la antena de mayor carga del viento (normalmente la más grande) se colocará en el lugar más bajo del mástil y la de menor carga del viento se situará la más alta del mástil. La figura muestra el orden de colocación de las distintas antenas en el mástil.



La separación entre las antenas en el mástil para instalaciones colectivas no está especificada en el R.D. 279/1999, pero se recomienda seguir las especificaciones que se muestran en la figura.



Colocación y separación de las antenas en un mástil.

El mástil debe conectarse a la toma de tierra del edificio con un hilo de cobre de 6 mm² de sección como mínimo.

El R.D. 279/1999 es obligatorio en todas las instalaciones colectivas.

En las instalaciones individuales se recomienda seguir esa norma. Si se instala más de una antena de UHF la distancia entre las antenas de UHF se puede reducir a unos 75 cm (ver tabla I).

El momento flector del mástil, debido a las antenas, se calcula de la siguiente forma:

$$\underline{Ma = Q1 L1 + Q2 L2 + Q3 L3 + \dots + en N m}$$

Siendo: Ma el momento flector debido a las antenas.

Q1, Q2 Y Q3 las cargas del viento en Newton de cada antena.

L1, L2 y L3, las longitudes en metros desde el anclaje de la antena hasta el empotramiento del mástil en el muro.

A este momento flector de la antena (Ma) habrá que añadirle el momento flector del propio mástil Mm, cuyo cálculo se muestra a continuación:

$$\underline{Mm = D h^2 280 (N m) \text{ para colocación de mástil inferior a 20 m.}}$$

$$\underline{Mm = D h^2 378 (N m) \text{ para colocación de mástil superior a 20 m.}}$$

estando el diámetro (D) y la altura (h) del mástil en metros (m).

El momento flector que tiene que soportar el mástil será la suma del momento flector debido a las antenas (Ma) y el momento flector del propio mástil (Mm), según se indica en la expresión:

$$\underline{MT = Ma + Mm}$$

Deberá colocarse un mástil cuyo momento flector admisible M, sea un poco superior al calculado para tener un margen de seguridad.

El fabricante nos indica en su catálogo los valores del momento flector admisible por el mástil que ya incluye su propio momento flector, debido a su propia altura. Si la altura del mástil desde el empotramiento en el muro es inferior o igual a la longitud de un tubo de mástil, entonces el momento flector es $MT = Ma$ y este será el que se buscará en el catálogo. Si la altura del mástil desde el empotramiento en el muro es superior a la longitud de un tubo de mástil, entonces

$$\underline{MT = Ma + M'm}$$

siendo M'm la diferencia entre el momento flector del mástil completo y el momento flector de la longitud de un tubo de mástil.

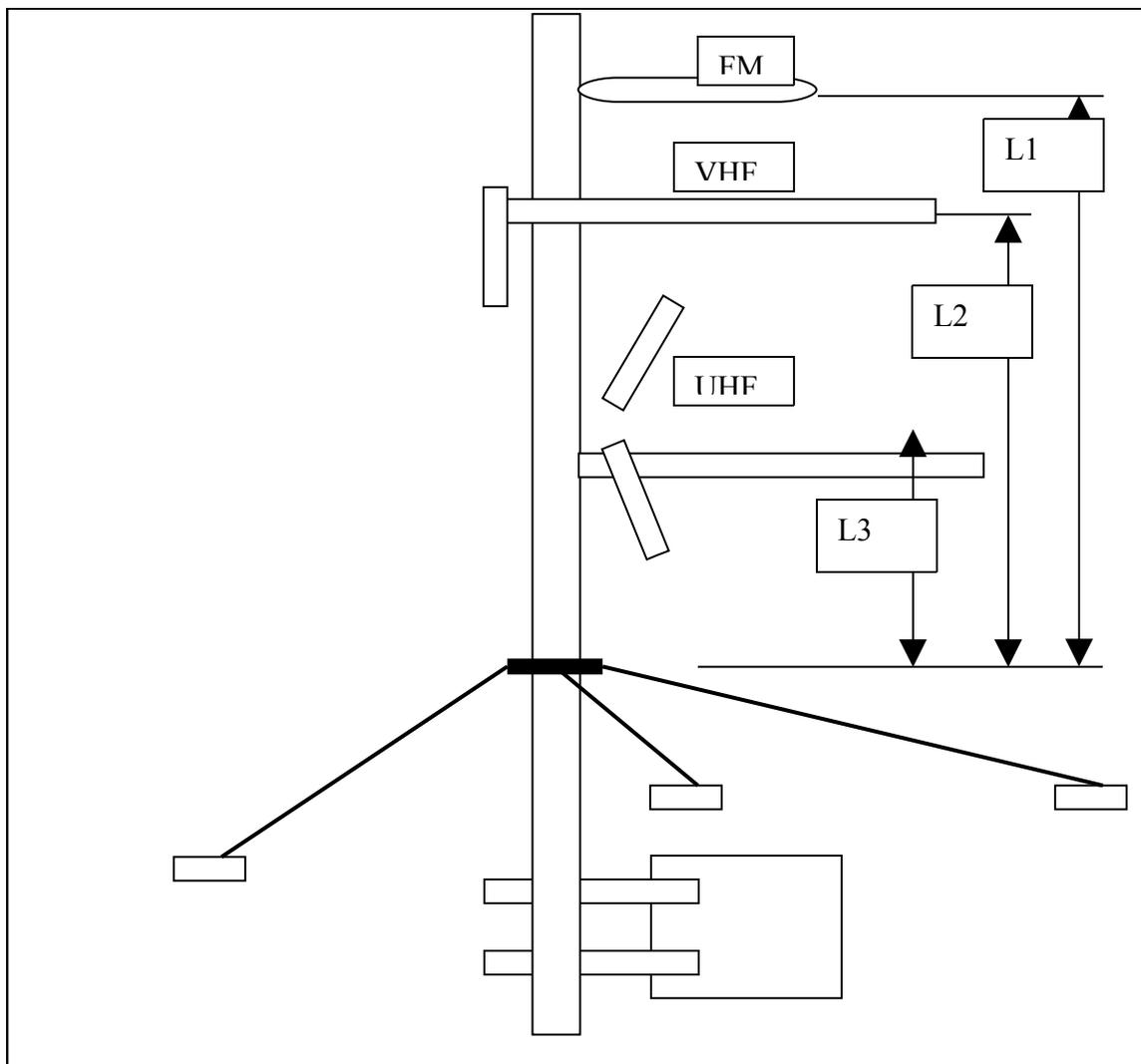
Esto se puede hacer aplicando la expresión:

$$\underline{Mm = D 280 (h^2 - Lt^2) \text{ para colocación de mástil inferior a 20 m.}}$$

$$\underline{Mm = D 378 (h^2 - Lt^2) + 103,25 D Lt^2 \text{ para mástil superior a 20 m.}}$$

siendo Lt , la longitud de un tubo de mástil utilizado.

Para la elección del mástil, hay que tener en cuenta que en caso de utilizar vientos, la distancia para el cálculo del momento flector, se puede considerar desde la colocación de los vientos hacia arriba, tal como se indica en la figura.



Distancias consideradas para el cálculo del momento flector cuando se dispone de vientos.
(Esto es una solución aproximada.)

Ejemplo:

Supongamos el cálculo de la figura. Tenemos un mástil de 2.5 m y hemos de colocar las antenas que se indican a continuación cuyas características se obtienen del catálogo adecuado.

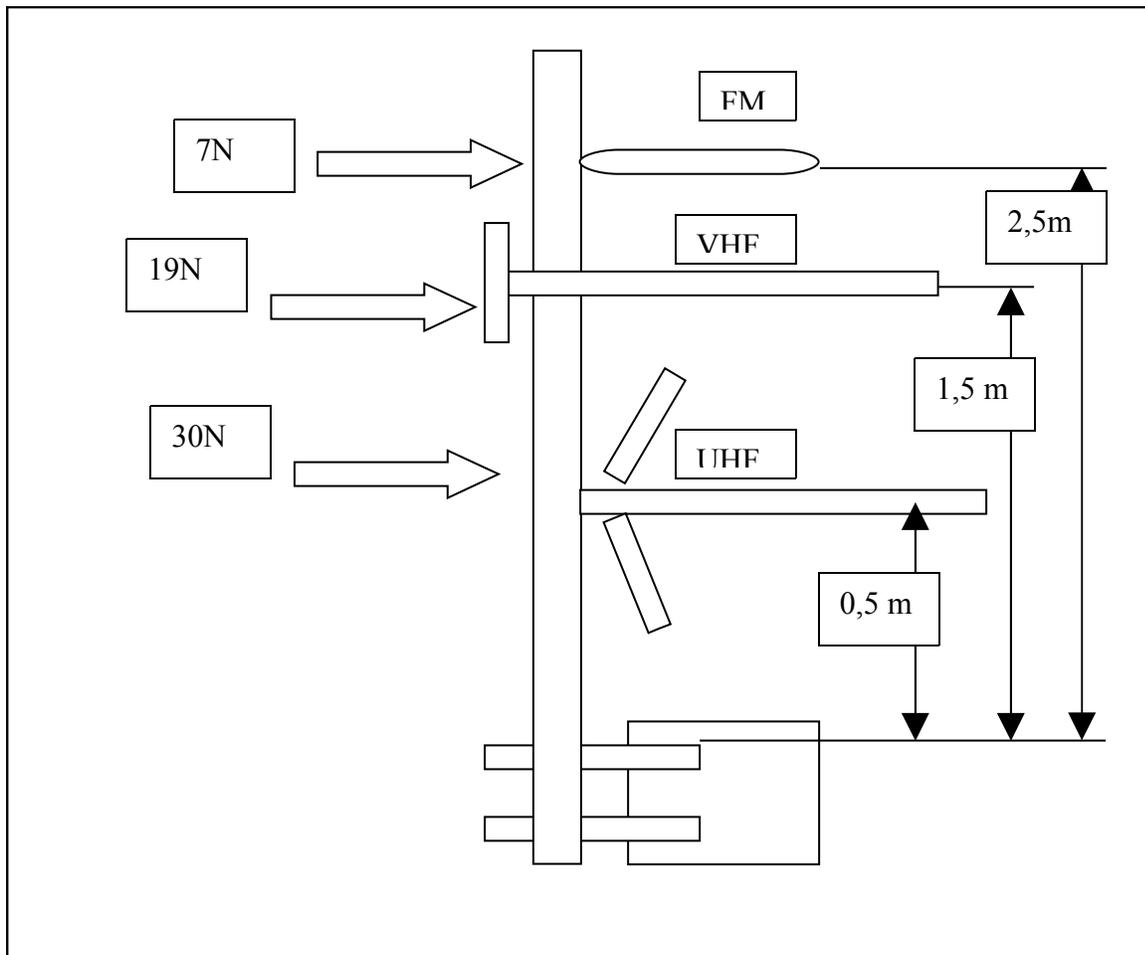
- Antenas
 - Antena FM; Carga del viento: 7 N.
 - Antena VHF banda III de 5 elementos; Carga del viento = 19 N.
 - Antena UHF Bandas IV y V de 23 elementos; Carga del viento = 30 N. Se ha considerado la carga del viento para 800 N/m^2 (altura inferior a 20 m).

El momento flector debido a cada una de las antenas es:

$$M_1 = Q_1 \cdot L_1 = 7 \text{ N} \cdot 2.5 \text{ m} = 17.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = Q_2 \cdot L_2 = 19 \text{ N} \cdot 1.5 \text{ m} = 28.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_3 = Q_3 \cdot L_3 = 30 \text{ N} \cdot 0.5 \text{ m} = 15 \text{ N} \cdot \text{m}$$



El momento flector debido a todas las antenas será:

$$M_a = M_1 + M_2 + M_3 = 17.5 \text{ N} \cdot \text{m} + 28.5 \text{ N} \cdot \text{m} + 15 \text{ N} \cdot \text{m} = 61 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Por ser una longitud de mástil igual a la longitud de un tubo del mástil utilizado, el momento flector debido al propio mástil está incluido en los datos del fabricante.

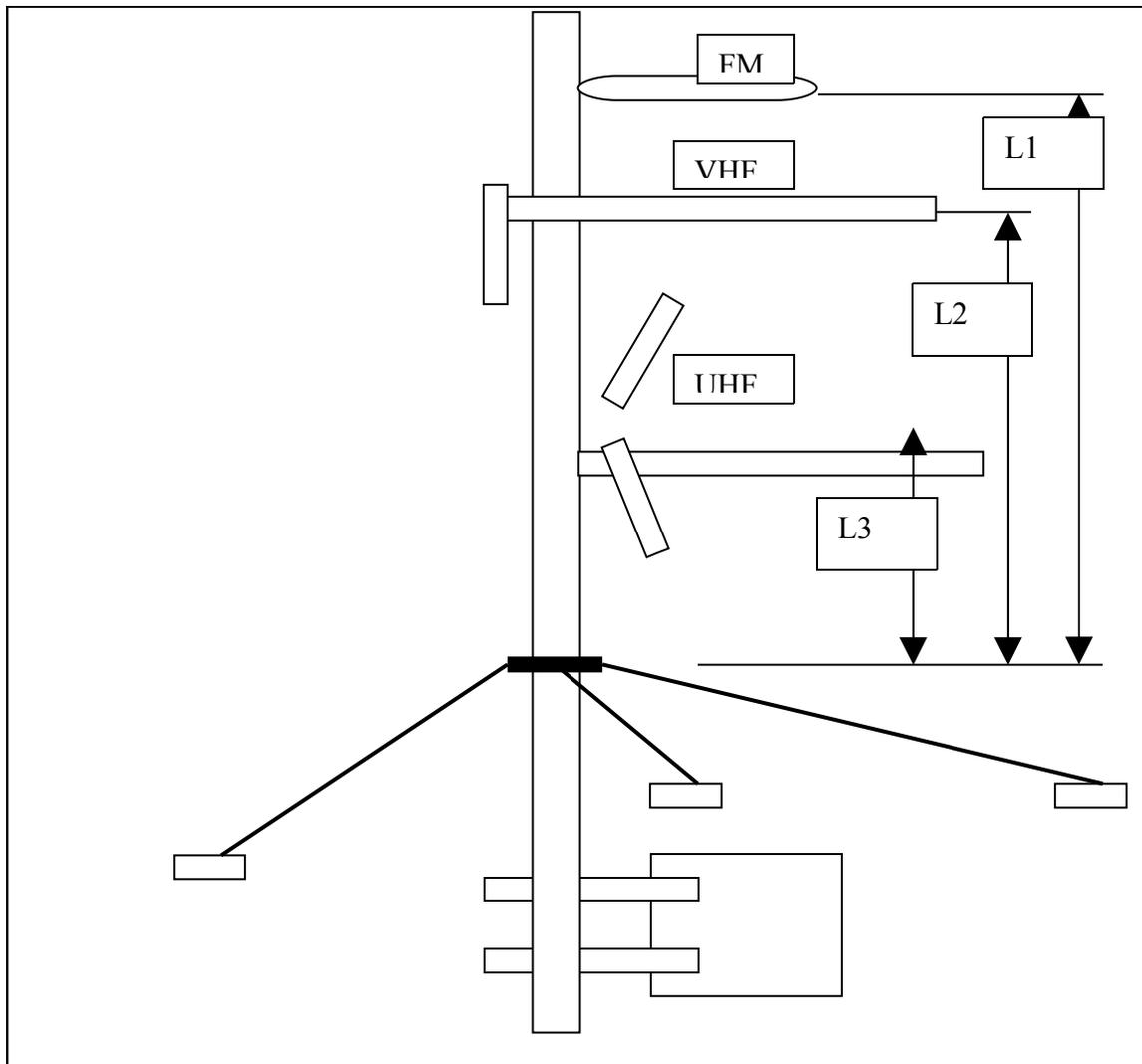
El mástil utilizado es la referencia 3042 de 2500 mm x 55 mm diámetro x 1 mm.

Por tanto, el momento flector total que ha de soportar el mástil es:

$$M_T = M_a = 61 \text{ N} \cdot \text{m}$$

En catálogo podemos comprobar que el mástil escogido tiene un momento flector admisible de 112 N · m, suficiente para este ejemplo.

Para la elección del mástil, hay que tener en cuenta que en caso de utilizar vientos, la distancia para el cálculo del momento flector, se puede considerar desde la colocación de los vientos hacia arriba, tal como se indica en la figura.



Distancias consideradas para el cálculo del momento flector cuando se dispone de vientos.
(Esto es una solución aproximada.)