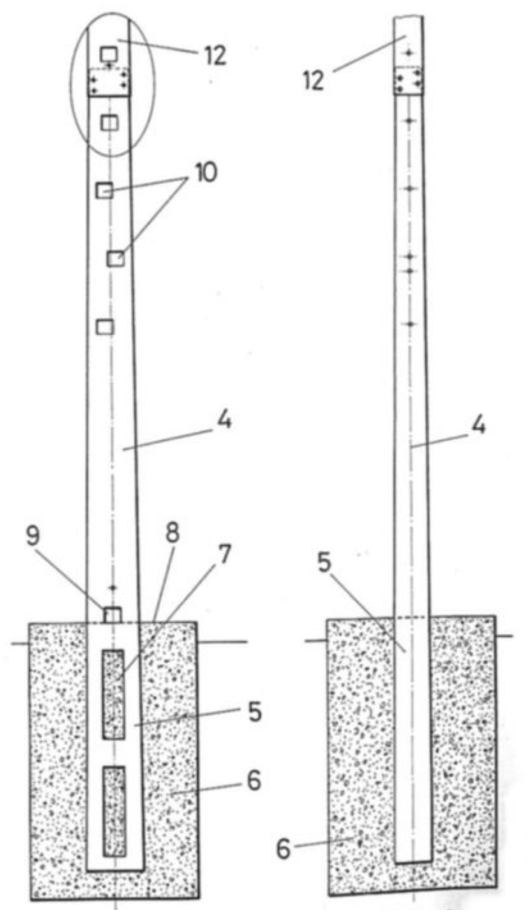
Resumen cálculo de cimentaciones

MakerGarage

Marzo 2021

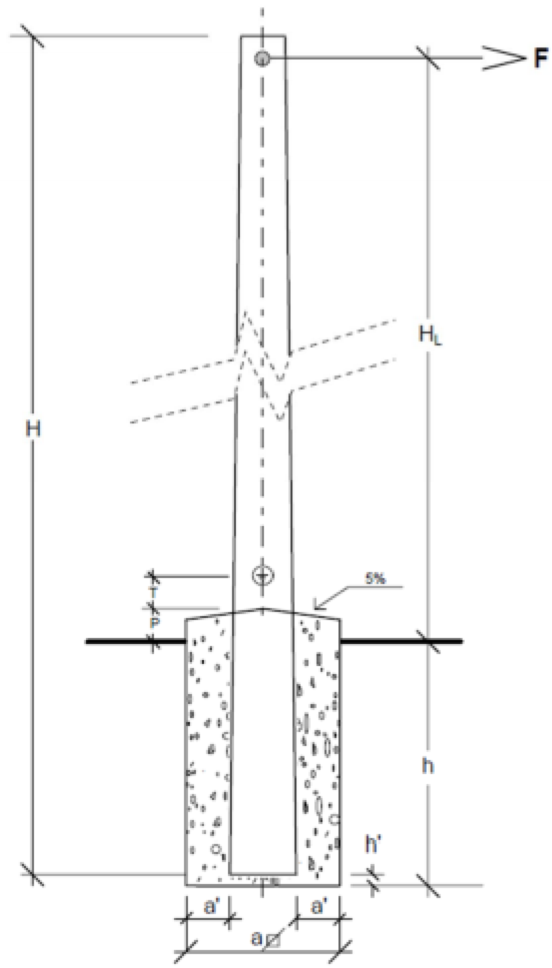


Índice

1. Cimentaciones Mono-bloque

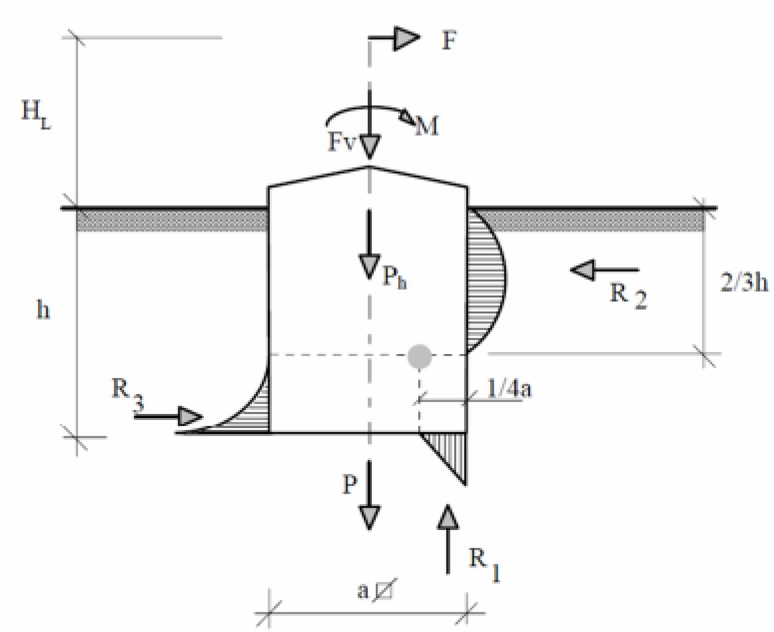
1.1. Introducción

La cimentación mono bloque presenta dos momentos, un momento solicitante de vuelco y un momento estabilizador (compuesto por dos momentos). La metodología de resolución que vamos a seguir es el método Sulzberg.



1.2. Método Sulzberg

El método Sulzberg propone que todos los momentos pivotan en el eje de giro situado a $\frac{2}{3}$ de la base (midiendo desde el terreno) y a $\frac{1}{4}$ desde la pared.



Como hemos comentado este método se basa en calcular dos momentos.

- Momento solicitante de vuelco
- Momento restaurador

El momento solicitante de vuelco es provocado por la tensión del cable F, mientras que el momento restaurador esta compuesto por las reacciones horizontales y las verticales, siendo predominantes las reacciones horizontales.

1.2.1. Momento solicitante de vuelco

$$M_V = F\left(H_T + c - \frac{1}{3}h\right)$$

ó

$$M_V = F\left(H_L + \frac{2}{3}h\right)$$

En función de los datos que tengamos seleccionamos una u otra.

F = Esfuerzo nominal del apoyo, más el viento sobre el mismo reducido al punto de aplicación para el cálculo.

$\mathrm{H_L}$ = Altura libre del apoyo desde el punto de aplicación de F hasta la línea de tierra.

h = Profundidad de la cimentación, en m.

En apoyos de forma troncopiramidal el esfuerzo del viento se aplica en

$$H_0 = \frac{H}{3}\frac{d_1 + 2d_2}{d_1 + d_2}$$

Siendo $\mathrm{d_1}$ y $\mathrm{d_2}$ las anchuras o diámetros en el empotramiento y en la cogolla, respectivamente.

En el caso de tener que calcular el momento de vuelco de la peana sobresaliente del terreno:

$$M_{V2} = F_{V_{\text{poama}}} \cdot \left(\frac{h_p}{2} + \frac{2}{3}h\right) = q \cdot S \cdot \left(\frac{h_p}{2} + \frac{2}{3}h\right) = q \cdot S \cdot \left(\frac{h_p}{2} + \frac{2}{3}h\right)$$

Siendo q 100 (según reglamento).
S es $(a \cdot h_p)$.

1.2.2. Momento restaurador

Momento restaurador Horizontal M_1

$$M_1 = 139 \cdot C_2 \cdot a \cdot h^4$$

C_2 es la compresibilidad del terreno a 2m

Momento restaurador Vertical M_2

$$M_2 = P \cdot a \cdot \left[0,5 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P}{2 \cdot a^3 \cdot C_h \cdot 10^6 \cdot \operatorname{tg} \alpha}} \right]$$

Siendo:
$C_h = h \cdot \frac{C_2}{2}$

$P = P_{\text{Apoyo}} + P_{\text{Hormigin}} = P_{\text{Apoyo}} + V_H \cdot \delta_H$

$V_H = a^2 \cdot (h + h_p)$

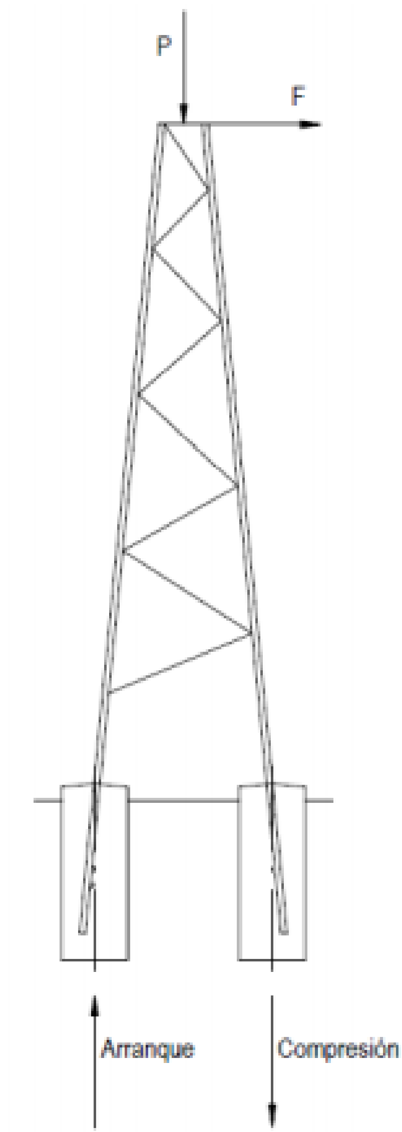
1.2.3. Comprobación de hipótesis

$$M_V \cdot CS \leq M_1 + M_2$$

2. Cimentaciones de patas separadas

2.1. Introducción

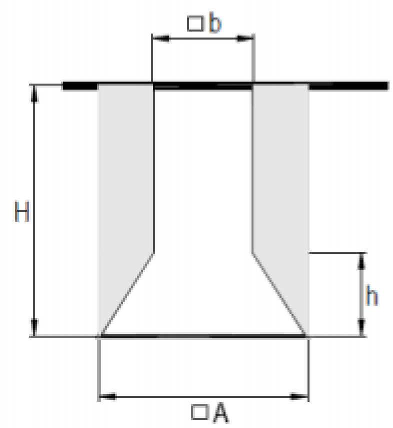
En las cimentaciones de patas separadas se presentan dos esfuerzos causados por la tensión del cable, un esfuerzo de arranque y otro de compresión tal y como observamos en la figura siguiente.



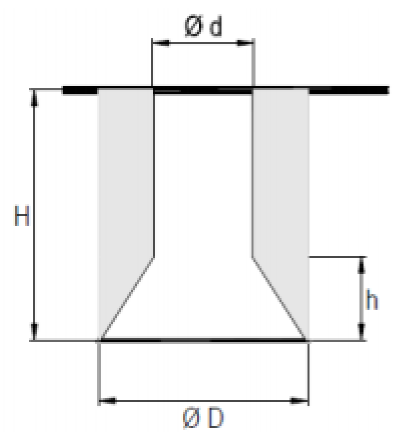
2.2. Tipos de cimentaciones de patas separadas

Dentro de las cimentaciones de patas separadas podemos distinguir principalmente dos tipos:

- Sección cuadrada



- Sección circular



Apreciamos la diferencia en la anotación de cota lineal o de diámetro. Por otro lado cabe destacar que la cimentación comienza a ensancharse en su base inferior a partir de h,a este engrosamiento se le conoce como **pata de elefante**, y es opcional su utilización o no como veremos a continuación.

2.3. Hipótesis a calcular

Para resolver este tipo de cimentaciones es necesario resolver 3 hipótesis.

- Hipótesis al arranque.
  En esta hipótesis verificamos que la cimentación sometida al esfuerzo de arranque soporta dicho esfuerzo.

- Hipótesis a compresión
  En esta hipótesis verificamos que el terreno soporta el esfuerzo de compresión.

- Hipótesis de adherencia
  En esta hipótesis verificamos que no hay movilidad entre la pata del apoyo y el hormigón vertido

Los pasos a seguir para resolver estos ejercicios son los siguientes:

- Comprobar hipótesis al arranque
  - Arrancan $\rightarrow \mathrm{T}_{arranque}$
  - Comprimen $\rightarrow$ P $=$ $\mathrm{P}_h + P_t + (P_\beta - \delta ter \cdot V_{int})$

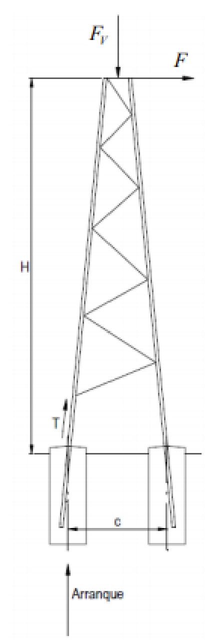
  $\left.\right\} \rightarrow P > CS{\cdot}T_{arranque}$

- Comprobar hipótesis a compresión $\rightarrow \sigma_t$

- Comprobar hipótesis de adherencia
  - θ
  - F_2
  - F_{adh}
  - F_c

  $\left.\right\} \rightarrow \begin{matrix} \mathrm{F}_{adh} > 0{,}75F_2 \\ \mathrm{F}_c > 0{,}75F_2 \end{matrix}$

2.3.1. Hipótesis al arranque



En esta hipótesis debemos calcular los esfuerzos que intentan arrancar nuestra cimentación por un lado, por otro lado vamos a calcular los esfuerzos que se oponen a dicho arranque y finalmente verificaremos si cumple o no el criterio.

Esfuerzos de arranque

$$T_{arranque} = \frac{F \cdot H}{2 \cdot c} - \frac{F_v + P_{apoyo}}{4}$$

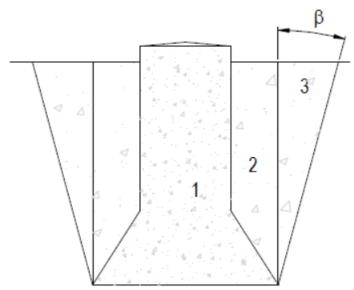
Es importante destacar que el peso del apoyo P_{apoyo} se suele dar en dos partes, el peso del fuste por un lado y el del armado por otro. Estos pesos suelen venir en Kg por tanto debemos de sumar ambos pesos y multiplicar por 0'981.

F_v es el peso del conductor por el número de conductores en daN.

Esfuerzos de compresión

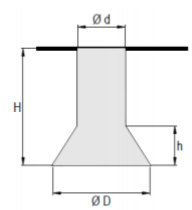
Disponemos de 3 esfuerzos que evitan el arranque de nuestra cimentación.

Recordar que δ_x suele venir en Kg por tanto debemos de multiplicar por 0'981.



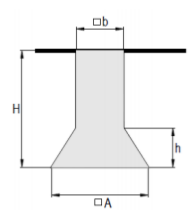
- **Peso del macizo de hormigón.** (1)
  - Cimentación redonda

$$P_h = \delta_{hormigon} \cdot \pi \cdot \left[(H-h) \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 + \frac{h}{3} \cdot \left(\frac{D^2 + D \cdot d + d^2}{4}\right) \right]$$



  - Cimentación cuadrada

$$P_h = \delta_{hormigon} \cdot \left[(H-h) \cdot b^2 + \frac{h}{3} \cdot \left(A^2 + A \cdot b + b^2\right) \right]$$

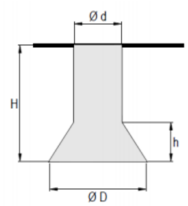


- **Peso de las tierras que gravitan sobre el hormigón.** (2)

  Este peso ocurre si disponemos de pata de elefante, en caso contrario su valor es 0.

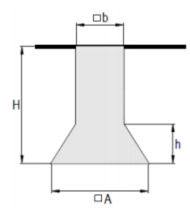
  - Cimentación redonda

$$P_t = \delta_{terreno} \cdot \left(\pi \cdot H \cdot \frac{D^2}{4} - \frac{P_h}{\delta_h} \right)$$



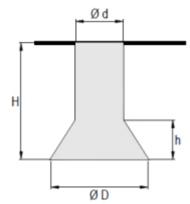
  - Cimentación cuadrada

$$P_t = \delta_{terreno} \cdot \left(H \cdot A^2 - \frac{P_h}{\delta_h} \right)$$



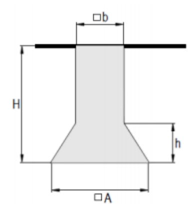
- **Peso de las tierras según el ángulo natural del terreno.** (3)
  - Cimentación redonda

$$\mathrm{P}_\beta = \delta_{\mathrm{terr}} \left[\pi \cdot \frac{\mathrm{H}}{3} \cdot \left[\left(\frac{\mathrm{D}}{2} + \mathrm{H} \cdot \tan(\beta) \right)^2 + \frac{\mathrm{D}}{2} \cdot \left(\frac{\mathrm{D}}{2} + \mathrm{H} \cdot \tan(\beta) \right) + \left(\frac{\mathrm{D}}{2} \right)^2 \right] - \pi \cdot \mathrm{H} \cdot \frac{\mathrm{D}^2}{4} \right]$$

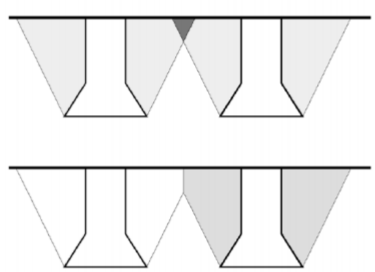


  - Cimentación cuadrada

$$P_\beta = \delta_{\mathrm{terr}} \left[\frac{H}{3} \cdot \left[(A + 2H \cdot \tan(\beta))^2 + A \cdot (A + 2H \cdot \tan(\beta)) + A^2 \right] - H \cdot A^2 \right]$$



Si la separación entre patas es pequeña puede darse el caso de que se produzca **interferencia entre cimentaciones** causando que al peso P_β haya que restarle el peso de la tierra de interferencia la cual ha sido eliminada, lo cual se puede observar de manera muy clara en la siguiente imagen.



Lo que perseguimos es calcular el volumen de terreno que se interfiere para poder calcular su peso como

$$\delta_{\mathrm{terreno}} \cdot V_{\mathrm{int}}$$

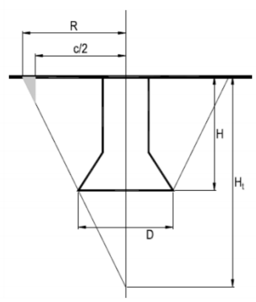
<u>Para calcular V_{int} la calculadora debe estar en radianes</u>.

- Cimentación redonda
  La interferencia en cimentaciones se produce si el valor R > c/2.

$$V_{\text{int}} = \frac{H_t}{3}\left[\cdot R^2 \cdot \arccos\left(\frac{c}{2\cdot R}\right) + \frac{c^3}{8\cdot R}\ln\left[2\frac{\sqrt{R^2-\left(\frac{c}{2}\right)^2}+R}{c}\right] - c\cdot\sqrt{R^2-\left(\frac{c}{2}\right)^2}\right]$$

  Siendo "c"la distancia entre patas y

$$\mathrm{R} = \frac{\mathrm{D}}{2} + \mathrm{H}\cdot\tan(\beta) \quad \mathrm{H_t} = \frac{\mathrm{R}}{\tan\beta}$$



- Cimentación cuadrada
  Para cimentaciones rectas la interferencia se produce si B > c/2 y el cálculo es:

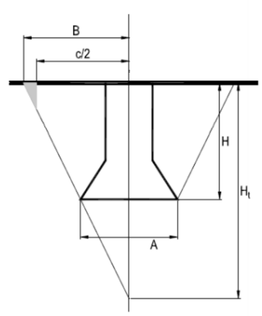
$$V_{\text{int}} = \left(B - \frac{c}{2}\right)\cdot\frac{B-\frac{c}{2}}{2\cdot\tan(\beta)}\cdot 2\cdot B$$

  Simplificando:

$$V_{\text{int}} = \frac{B\cdot(c-2\cdot B)^2}{4\cdot\tan(\beta)}$$

  Siendo:

$$\mathrm{B} = \frac{\mathrm{A}}{2} + \mathrm{H}\cdot\tan(\beta)$$



Comprobación de la hipótesis de arranque

Una vez tenemos calculados tantos los esfuerzos que tracción como los de compresión procedemos a sumarlos obteniendo una P resultante.

$$P = P_h + P_t + (P_\beta - \delta_{\text{terr}} \cdot V_{\text{int}})$$

Para el correcto dimensionamiento de la cimentación

$$P > CS \cdot T_{arr}$$

- C.S. 1,5 Hipótesis normales
- C.S. 1,2 Hipótesis anormales

2.3.2. Hipótesis a compresión

En esta hipótesis debemos calcular los esfuerzos que intentan hundir nuestra cimentación, y debemos de asegurarnos de que el terreno resiste esta presión.

El esfuerzo de compresión sobre el montante es:

$$T_C = \frac{F \cdot H}{2 \cdot c} + \frac{F_V + P_{apoyo}}{4}$$

Es importante destacar que el peso del apoyo P_{apoyo} se suele dar en dos partes, el peso del fuste por un lado y el del armado por otro. Estos pesos suelen venir en Kg por tanto debemos de sumar ambos pesos y multiplicar por 0'981.

F_v es el peso del conductor por el número de conductores en daN.

- Cimentación redonda

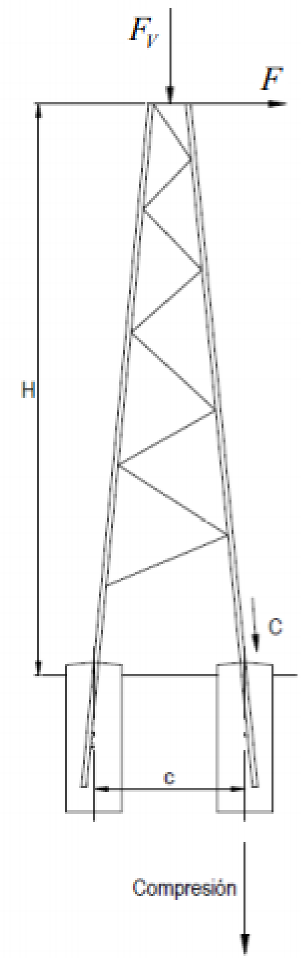
$$\sigma_t = \frac{\frac{F \cdot H}{2 \cdot c} + \frac{F_V + P_{\text{apoyo}}}{4} + P_h + P_t}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}$$

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot F \cdot H + F_V \cdot c + P_{apoyo} \cdot c + 4 \cdot P_h \cdot c + 4 \cdot P_t \cdot c}{\pi \cdot D^2 \cdot c}$$

- Cimentación cuadrada

$$\sigma_t = \frac{\frac{F \cdot H}{2 \cdot c} + \frac{F_V + P_{apoyo}}{4} + P_h + P_t}{A^2}$$

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot F \cdot H + F_V \cdot c + P_{\text{apoyo}} \cdot c + 4 \cdot P_h \cdot c + 4 \cdot P_t \cdot c}{4 \cdot A^2 \cdot c}$$



Es importante recordar que A^2 ó D^2 va en cm.

Una vez tenemos calculada nuestra σ_t debemos vereficar que el terreno soporta esta presión.

$$\sigma_{\text{adm}} > \sigma_{\text{t}}$$

2.3.3. Hipótesis de adherencia

En esta hipótesis suponemos que la mitad del esfuerzo lo absorbe el rozamiento entre cimentación y montante y la otra mitad es soportado por los tornillos que están sometidos a un esfuerzo de cortadura.

<u>Comprobación de la adherencia del montante con el hormigón</u>

La adherencia acero del montante con el hormigón de la cimentación se puede calcular como:

$$\mathrm{F_{adh}} = \tau_{\mathrm{adh}} \cdot \mathrm{Sup}$$

La tensión de adherencia se puede calcular como:

$$\tau_{\mathrm{adh}} = 0{,}253 \cdot \sqrt{\mathrm{f_{ck}}}$$

Siendo f_{ck} la resistencia característica del hormigón en MPa:

$$\mathrm{f_{ck}} = 25\mathrm{MPa}$$
$$\tau_{\mathrm{adh}} = 1{,}265 \cdot 10^5 \mathrm{dPa}$$

- La superficie de contacto se puede calcular como el perímetro del perfil por la longitud embebida en el hormigón.
El perímetro del perfil en caso de los angulares puede calcularse como 4 veces el lado. - Dada una tracción máxima a soportar y un perfil dado, la incógnita será la profundidad mínima para soportar esa tracción - Recopilando términos:

$$\mathrm{F_{adh}} = \tau_{\mathrm{adh}} \cdot \mathrm{Sup}$$
$$\mathrm{F_{adh}} = \tau_{\mathrm{adh}} \cdot (\mathrm{L_{anclaje}} \cdot \mathrm{Perimetro})$$
$$\mathrm{F_{adh}} = \tau_{\mathrm{adh}} \cdot (\mathrm{L_{anclaje}} \cdot 4 \cdot \mathrm{Lado})$$
$$\mathrm{L_{anclaje}} = \frac{\mathrm{F_{adh}}}{\tau_{\mathrm{adh}} \cdot 4 \cdot \mathrm{Lado}}$$

Las longitudes del perfil 200.16 deben ir en metros, es decir 0'2.

- Si los datos son el tipo de angular y la profundidad del anclaje se puede calcular:

$$\mathrm{F_{adh}} = \tau_{\mathrm{adh}} \cdot (\mathrm{L_{anclaje}} \cdot 4 \cdot \mathrm{Lado})$$

La $L_{anclaje}$ viene determinada por el perfil, si nos dicen que es un 200.16 tenemos que poner 0.2
El *Lado* viene expresado directamente 3.5m normalmente.

Comprobación de los tornillos a esfuerzo cortante

La cortadura de los tornillos se calcula según la siguiente expresión: Donde:

$$\mathrm{F_C} = \mathrm{n} \cdot \frac{0{,}5 \cdot \sigma_{\text{rotura}} \ \cdot \mathrm{Secc}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$$

- n es en número de tornillos
- σ_{rot} la carga de rotura del material, si nos la dan en Mpa tenemos que multiplicar por 10^5
- Secc la sección del tornillo, nos dicen que es un M24 por tanto la sección es $\frac{\pi * 0{,}024^2}{4}$
- γ_{M2} Coeficiente parcial de seguridad 1,25

Comprobaciones

Si F_1 es el esfuerzo a tracción $y F_2$ es el esfuerzo a compresión que se producen sobre los angulares montantes de cada una de las patas y θ es el ángulo que forma el montante con la vertical, tenemos:

$$\begin{gathered} F_1 = \frac{F_t \cdot H_t}{2 \cdot c \cdot (\cos\theta)^2} - \frac{F_{VT}}{4 \cdot (\cos\theta)^2} \\ F_2 = \frac{F_t \cdot H_t}{2 \cdot c \cdot (\cos\theta)^2} + \frac{F_{VT}}{4 \cdot (\cos\theta)^2} \\ F_{adh} \geq 0,75 \cdot F_2 \quad F_c \geq 0,75 \cdot F_2 \\ F_{VT} = F_V + P_{\text{apoyo}} \end{gathered}$$

La longitud mínima de angular embebida en el hormigón debe de ser:

$$L_{\text{anclaje}} \ \geq \frac{0,75 \cdot F_2}{\tau_{adh} \cdot 4 \cdot \ \text{Lado}}$$

El ángulo puede calcularse como:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\frac{c - a_{cabeza}}{2}}{H_{\text{Libre}}}\right)$$