



ANEJO 05: CIMENTACION



INDICE

1. INTRODUCCION
2. CONDICIONES DE DISEÑO
3. CIMENTACION
 - 3.1. CALCULO



1. INTRODUCCIÓN

En este anejo vamos a describir, definir la cimentación que vamos a proyectar en nuestra obra tanto la cimentación de las pilas de la pasarela como la cimentación de las pilas de los dos accesos a la pasarela. También realizaremos en este anejo todos los cálculos referidos a la consolidación del suelo que tenemos debajo de nuestra cimentación así como los asentamientos producidos por la misma.

El cálculo de las zapatas que vamos a disponer en la cimentación así como el dimensionamiento de la armadura que tenemos que disponer y su comprobación frente a los esfuerzos que se vea sometida, se realizarán en el anejo de cálculo estructural en el apartado 4.

2. CONDICIONES DE DISEÑO

La cimentación que finalmente se va a diseñar en este proyecto será una cimentación superficial formada por zapatas aisladas de diferentes dimensiones en función de los esfuerzos que tengan que soportar cada una de ellas.

Para ellos tenemos que establecer unos criterios para el diseño de nuestra cimentación. Nuestra cimentación ha de transmitir al terreno las cargas sin romperlo, sin superar la resistencia a corte del propio suelo, esto se traduce con la comprobación frente a hundimiento y/o deslizamiento de nuestra cimentación; por otro lado la deformación que se produce en el terreno ha de ser compatible con la que la estructura puede aguantar, esto se comprueba con el cálculo de los asentamientos que se producen debidos a la consolidación del suelo; también tenemos que tener en cuenta que la cimentación ha de tener suficiente resistencia como elemento estructural, para ello en el apartado de anejo de cálculo estructural dimensionaremos las zapatas para estados límites últimos de agotamiento necesarios para nuestra cimentación y su consiguiente comprobación frente a esfuerzos en servicio. Por último tenemos que asegurar que la cimentación esté ubicada en una única capa, es decir que no esté sujeta a variaciones estacionales de las características del suelo o de sus propiedades, evitando la oscilación del nivel freático, las heladas o el hinchamiento del suelo o la agresión de sulfatos; tenemos que evitar que no se vea afectada por la erosión o la



socavación por el efecto del agua o del aire, y que no se vea afectada por las excavaciones adyacentes, medianerías o sobrecargas que no hemos tenido en cuenta.

Una vez establecida la cimentación que vamos a proyectar a nuestra pasarela tenemos que tener en cuenta el proceso de diseño de la cimentación superficial para evitar que se produzcan hundimientos del terreno, o asientos inadmisibles que ponga en riesgo la estructura. El proceso de diseño de una cimentación superficial vendrá definido por:

- La determinación de la carga de hundimiento del terreno.
- Determinación de la carga de hundimiento neta.
- Obtención de la presión de trabajo admisible, introduciendo coeficientes de seguridad.
- Comparación con la carga transmitida neta.
- Reajustar las dimensiones de la cimentación en caso de que sea necesario.
- Cálculo de los asientos admisibles.
- Modificar las dimensiones de la cimentación en caso de que los asientos no sean admisibles.

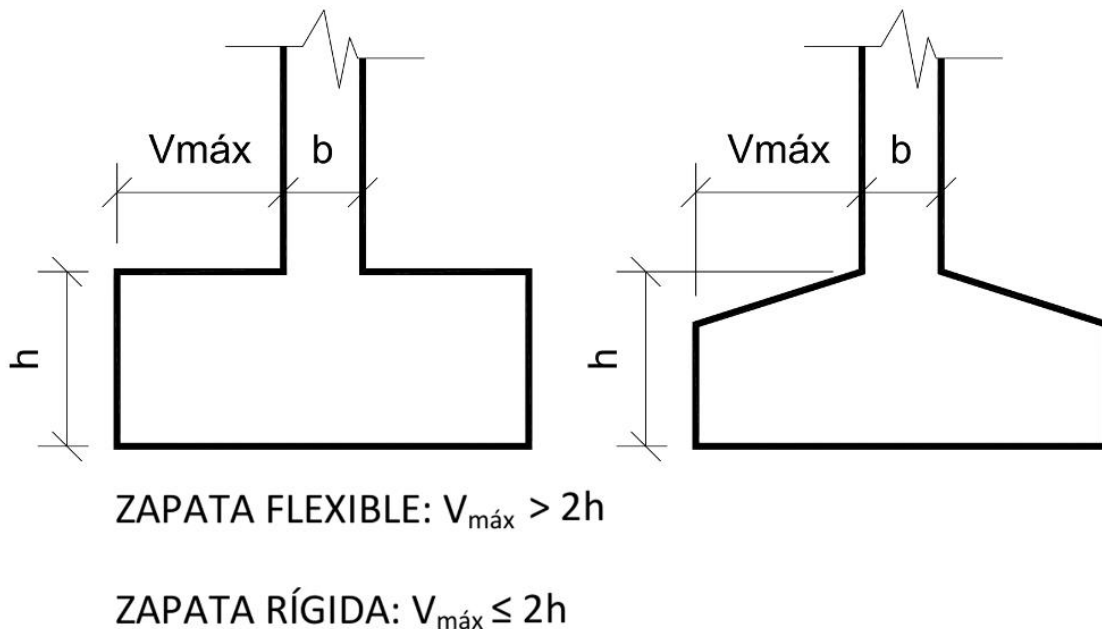
3. CIMENTACION

Vamos a definir las zapatas que vamos a diseñar en este proyecto, el cual estará formada por las zapatas centrales que se encargaran de transmitir los esfuerzos de las vigas y las pilas centrales al terreno, dichas zapatas serán aisladas como ya hemos nombrado anteriormente y sus dimensiones serán de 2x2 metros y 0.8 metros de canto, mientras que las zapatas de los accesos serán todas iguales pero en este caso como solo tiene que transmitir las cargas de las placas alveolares y las losas de los descansillos tendrán una dimensión de 1x1m y 0.4 metros de canto.

Tendremos en cuenta que todas estas dimensiones que hemos definido son provisionales y en caso de que las cargas de hundimiento den coeficientes de seguridad inestables o en su defecto que se produzcan asientos no admisibles se precederá la reajuste de dichas dimensiones y adaptarlas a las necesidades del terreno y la estructura para garantizar la seguridad de la misma.



Observamos que nuestra zapata central es una zapata rígida debido a que la V_{\max} que es de 0.6 metros es menor o igual a 2 veces el canto de la zapata tal y como se ilustra en la siguiente imagen.



3.1. CALCULO

A continuación vamos a calcular la tensión de hundimiento que se producirá en la cimentación de la pila central y la pila de los estribos las cuáles serán las que soporten las mayores tensiones.

Definimos el hundimiento de una cimentación superficial como el mecanismo de rotura que se produce cuando la presión transmitida supera la existencia a corte del terreno lo cual puede dar lugar a un fallo repentino de la estructura.

Para sacar la carga de hundimiento de la zapata definiremos las dimensiones de la zapata que vamos a calcular y los datos de las propiedades del suelo que hemos obtenido en el anejo geotécnico, la cohesión del suelo, el ángulo de rozamiento sacados de los parámetros que hemos asignado al tipo de terreno en el que nos encontramos porque no disponemos de ensayos a corte directo y la densidad saturada sacada del ensayo de laboratorio de la muestra inalterada.



Tenemos que las dimensiones de nuestra zapata son de 2 metros de lado de la zapata cuadrada y 0.8 metros de canto, con 0.6 metros de V_{max} , sabiendo las dimensiones y que el peso específico es de 22.1 KN/m^3 , la cohesión del terreno es de 0.5 Kg/cm^2 o lo que es lo mismo 49 KPa y el Angulo de rozamiento de 35° y nuestra profundidad a la que cimentaremos la zapata será de 1.2 metros

Primero calculamos las presiones totales, intersticiales y efectivas del terreno a la cota de cimentación:

$$q = 1.2 \times 22.1 = 26.52 \text{ KN/m}^2$$

$$U = 0 \text{ (no tenemos nivel freático)}$$

$$q' = q - u = 26.52 \text{ KN/m}^2$$

Aplicaremos al formula de Brinch-Hansen (1961):

$$\frac{p_u}{b} = qN_q s_q d_q i_q + cN_c s_c d_c i_c + \frac{\gamma b}{2} N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Donde $N_q, N_c, N_\gamma; b, c, \gamma$ tienen los mismos significados que en fórmula de Terzaghi y el resto de parámetros son funciones del ángulo de rozamiento interno:

s_q, s_c, s_γ son los factores de forma.

d_q, d_c, d_γ son los factores de profundidad.

i_q, i_c, i_γ son los factores de inclinación de la carga.

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right); \quad N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \varphi}; \quad N_\gamma = \frac{2(N_q + 1) \tan \varphi}{1 + 0.4 \sin 4\varphi}$$



Para los factores de forma para una cimentación rectangular $b \times L$ se tiene:

$$s_q = 1 + \frac{b}{L} \tan \varphi; \quad s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{b}{L}; \quad s_\gamma \approx 1 - \frac{1}{2}(0.2 + \tan^6 \varphi) \frac{b}{L} \approx 1 - 0.4 \frac{b}{L}$$

Los factores de profundidad cuando entre la base de cimentación y la superficie del terreno existe una distancia vertical D , vienen dados por las expresiones:

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \frac{D}{b}; \quad d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \tan \varphi}; \quad d_\gamma = 1$$

Para estos factores de inclinación de carga proporcionó ecuaciones exactas que requería resolver la ecuación trigonométrica compleja para α :

$$\tan \left(\alpha - \frac{\varphi}{2} \right) = - \frac{\tan \delta - \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \delta}{\tan^2 \varphi}}}{1 + \frac{\tan \delta}{\sin \varphi}}$$

Y donde δ se deduce del diagrama de rotura pertinente, es el ángulo entre la carga inclinada y la vertical.^{4 5} La expresión del primer factor de inclinación viene dado por:

$$i_q = \frac{1 + \sin \varphi \sin(2\alpha - \varphi)}{1 + \sin \varphi} e^{-(\pi/2 + \varphi - 2\alpha) \tan \delta} \approx \left(1 - \frac{H}{V + cLb \cot \varphi} \right)^2$$

Donde:

H, V son las componentes horizontal y vertical de la carga,

c, φ la cohesión del terreno y su ángulo de rozamiento interno,

L, b son las dimensiones rectangulares de la cimentación.

Los otros dos factores de inclinación de la carga son simplemente:

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan \varphi}; \quad i_\gamma = i_q^2$$



Primero calcularemos la carga de hundimiento a corto plazo, por tanto tendremos en cuenta que tenemos que adoptar un ángulo de rozamiento de 0.

Sabemos que no tenemos excentricidad por tanto en el tendremos que $B=B'$ y $L=L'$

Calculamos primero los factores de capacidad de carga, que para nuestro caso son:

$$N_q = 1 ; N_c = 5.14 \text{ y } N_y = 0$$

Los factores de forma sabiendo que $L=B=2$ son:

$$S_c = 1.2 ; S_q = 1 \text{ y } S_y = 0.6$$

Se desprecia el efecto del empotramiento por tanto:

$$d_c = d_q = d_y = 1$$

Suponemos que la carga es vertical:

$$i_c = i_q = i_y = 1$$

Con todos estos parámetros calculados, sacamos la carga de hundimiento con la fórmula de Brinch-Hansen:

$$Q_h = 328.75 \text{ KN/m}^2$$

Y la carga de hundimiento neta a corto plazo que será:

$$Q_{h, cp} = q_h - q = 328.75 - 26.52 = 302.2 \text{ KN/m}^2$$

A Continuación calculamos la carga de hundimiento pero en este caso a largo plazo, y para ello tendremos en cuenta que la cohesión será de 0 y el Ángulo de rozamiento efectivo será de 35°.

Factores de capacidad de carga:

$$N_q = 33.25; N_c = 46.06; N_y = 33.87$$



Factores de forma:

$$S_q = 1.7; S_c = 1.72; S_y = 0.6$$

Factores de profundidad:

$$d_c = d_q = d_y = 1$$

Suponemos que la carga es vertical:

$$i_c = i_q = i_y = 1$$

Calculamos la carga de hundimiento a largo plazo a partir de los factores que acabamos de sacar:

$$Q_h = 1702.263 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_h = q_h + u = 1702.263 \text{ KN/m}^2$$

Carga de hundimiento neta a largo plazo:

$$Q_{hn}, l_p = q_h - q = 1702.263 \text{ KN/m}^2 - 26.52 = 1675.75 \text{ KN/m}^2$$

Estas cargas de hundimiento netas para largo y corto plazo nos sirven para todas las zapatas centrales, despreciando la excentricidad de las zapatas de los estribos y suponiendo siempre que la carga aplicada es vertical.

Una vez calculadas las cargas de hundimiento mediante la fórmula de Brinch-Hansen

Calculamos la máxima presión que puede transmitir la zapata al terreno, para ello supondremos un coeficiente de seguridad frente a hundimiento de 3, tal que:

$$F_{hto} = \frac{q_{hn}}{q_m} = \frac{q_h - q_0}{q_t - q_0}$$

Sacamos q_t sabiendo que $q_0 = 26.52 \text{ KN/m}^2$ y q_h más desfavorable es 302.2 KN/m^2 , por tanto nuestra $q_t = 118.41 \text{ KN/m}^2$

Comparamos con la carga transmitida neta:

$$Q_{tn} = q_t - q = 118.41 - 26.52 < Q_{adm}$$



No es necesario reajustar las dimensiones de las zapatas.

3.2. CALCULO DEL ASIENTO

A continuación y para terminar con el diseño de nuestra zapata, calculamos los asientos esperables que se producirán en nuestras zapatas centrales. Utilizaremos la teoría de Schmertmann conocidos los resultados de los ensayos SPT que tenemos en el anejo geotécnico:

Estrato	Profundidad alcanzada	Parámetros geotécnicos
1	1	Nspt=24
2	2,5	Nspt=30
3	5,6	Nspt=40
4	>5.6	Rechazo

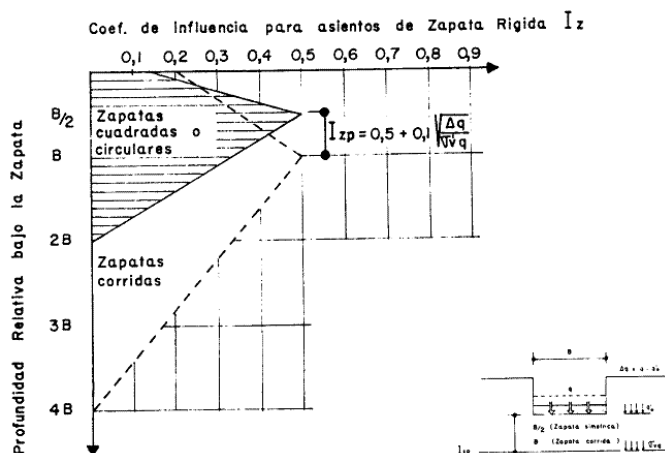
Los datos de partida son los mismos que para el cálculo de la carga de hundimiento, siendo la presión total, intersticial y efectiva la misma $q=q'=26.52 \text{ KN/m}^2$ y $u=0$.

La tensión transmitida neta sera:

$$Q_{tn} = q_t - q = 118.41 - 26.52 = 91.89 \text{ KN/m}^2$$

Calculamos el coeficiente C1 en función de q_{tn} y la presión efectiva $C1 = 0.856 > 0.5$

Después calculamos la variación de I_z con la profundidad mediante el método de Schmertmann teniendo en cuenta que tenemos una zapata cuadrada





Como tenemos una zapata cuadrada en nuestro plano de la cimentación $l_z=0,15$, en $B/2 = 1$ m la l_z será aplicando la fórmula de la imagen anterior $l_z= 0.637$, a $2B$ de profundidad tendremos según Schmertmann $l_z= 0$, por tanto si interpolamos en B la l_z será 0.424

Tenemos que el modulo de elasticidad puede estimarse por Schmertman como:

$$E = 2.5 q_c \text{ (Para Zapatas cuadradas)}$$

Siendo q_c la resistencia a la penetración estática con cono que puede relacionarse con la N del ensayo estándar mediante:

<i>Tipo de suelo</i>	<i>q_c/N (Kp/cm²)</i>
Arcilla blanda, turba	2
Limos	3
Arena fina limosa	3-4
Arena media	4-5
Arena gruesa	5-8
Grava	8-12

Según nuestro anejo geotécnico tendremos un suelo de limos arenosos, por tanto podremos adoptar unos valores para Q_c/N de entre 3 y 4.

$$E = 2.5 \times 3 N = 750N \text{ KN/m}^2$$

Como tenemos tres zonas con destino valor de N , tendremos tres valores distintos de módulo de deformación:

$$N = 24 \rightarrow E = 18.000 \text{ KN/m}^2$$

$$N = 30 \rightarrow E = 22.500 \text{ KN/m}^2$$

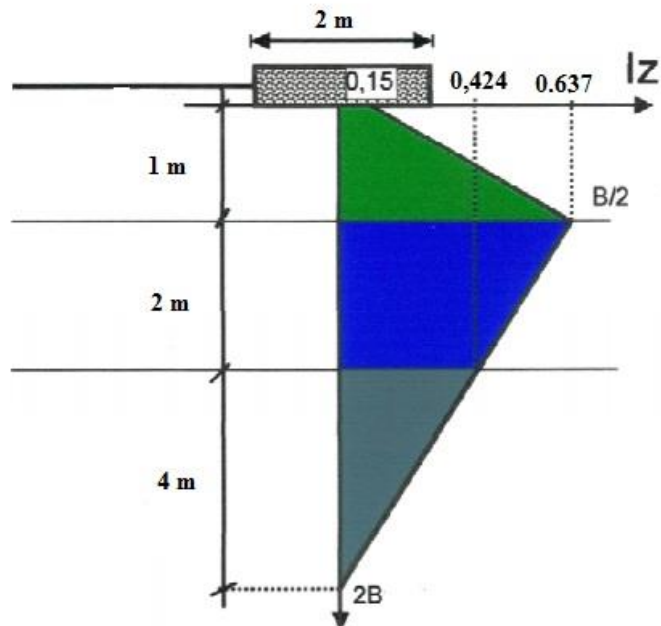
$$N = 40 \rightarrow E = 30.000 \text{ KN/m}^2$$



Por último, realizamos el cálculo del sumatorio mediante esta fórmula:

$$\sum_0^{2B} \left(\frac{I_z \cdot \Delta z}{E} \right)$$

El resultado del sumatoria de esta fórmula lo multiplicamos por la carga transmitida neta que hemos calculado antes $q_{tn}=91.89 \text{ KN/m}^2$ y por el coeficiente $C1 = 0.856$, como resultado tendremos el asiento producido por la zapata.



Nuestro sumatorio será 0.0005956, multiplicado por 0.856 y por 91.89, tendremos un asiento de $S = 0.468 \text{ cm}$

Comparamos el asiento que producirá la zapata en nuestro terreno con los asientos admisibles según los criterios tradicionales que adjuntamos a continuación:

CRITERIOS TRADICIONALES SOBRE ASIENTOS ADMISIBLES		
	Arena	Arcilla
Cimentaciones por zapatas		
Asiento máximo	25-40 mm	65 mm (120)*
Asiento diferencial máximo	20-25 mm	40-50 mm (50)
Cimentaciones por losa		
Asiento máximo	40-65 mm	65-100 mm (200)

* Los valores entre paréntesis corresponden a una recopilación realizada por Burland et al. (1977).

Como observamos por la imagen adjunta, nuestro asiento máximo admisible para nuestro caso será de 25-40 mm para arenas y 65 mm para arcillas, como nuestro asiento es de 4.6 mm y $S < S_{adm}$ no será necesario modificar las dimensiones de nuestras zapatas centrales ya que los asientos que se van a producir son asientos admisibles. Por tanto mantenemos las dimensiones de nuestra zapata.



Como tenemos el mismo terreno en toda la pasarela supondremos que para el diseño de la cimentación de los accesos y la escalera tendremos asientos admisibles para todas las zapatas que vamos a disponer.