

Volumen

1

CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Fernando Herrera Rodríguez

Director Técnico

Geólogo - Master en Ingeniería Geológica

Cimentaciones Superficiales

CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Guía de cálculo y diseño de cimentaciones
superficiales

© Fernando Herrera Rodríguez
C/ Ponzano, 69 – 6º 11
28003 - MADRID -
Teléfono 91 441 10 63

Tabla de contenido

Introducción	i		
C A P Í T U L O 1		C A P Í T U L O 4	
Tipologías	3	Características de la cimentación	9
Zapatas aisladas o arriostradas	3	Configuración geométrica	9
Zapatas corridas rígidas	4	C A P Í T U L O 5	
Zapatas corridas flexibles	4	Cálculo analítico de la carga de	
Losas	4	hundimiento	12
C A P Í T U L O 2		Fórmula polinómica	13
Definiciones básicas	5	Coeficientes de capacidad de carga	14
Tensión total bruta	5	Coeficientes de forma	16
Tensión total neta	5	Coeficientes de inclinación	16
Tensión efectiva bruta	6	Influencia de las condiciones de agua	
Tensión efectiva neta	6	sobre la capacidad de carga con drenaje	17
Tensión de hundimiento	7	Nivel freático a profundidad $d_w > B$	17
Tensión admisible	7	Nivel freático a profundidad $d_w = 0$	18
Tensión admisible de trabajo	7	Nivel freático en superficie	19
Tensión de trabajo	7	Régimen de filtración hacia la superficie	
C A P Í T U L O 3		del terreno	19
Condiciones que debe cumplir la		Cargas admisibles en arenas en función	
cimentación	8	del ensayo SPT	20
Estabilidad global	8	Cargas admisibles en suelos cohesivos	
Estabilidad frente al hundimiento	8	firmes y rocas	21
Estabilidad frente al deslizamiento	8	C A P Í T U L O 6	
Estabilidad frente al vuelco	8	Cálculo de la capacidad portante a corto	
Capacidad estructural del cimiento	8	plazo	23
		El coeficiente de seguridad frente al	
		hundimiento	24
		C A P Í T U L O 7	
		Ejemplo práctico	25



Introducción



La ingeniería de cimentaciones puede definirse como el arte de transmitir de manera económica cargas estructurales al terreno, de forma que no se produzcan asentamientos excesivos¹.

Cuando una estructura transmite sus cargas al terreno a través de la cimentación, se producen inevitablemente deformaciones (fundamentalmente asentamientos). El arte de cimentar consiste pues en obtener, a la vista de las características tanto del terreno como de la estructura, las condiciones más favorables de apoyo, de manera que los asentamientos no resulten perjudiciales.

¹ Simons, N.E. & Menzies, B.K. (1975). “A short Course on Foundations Engineering”. IPC Science and Technology Press Ltd. Guilford.

Tipologías



Las cimentaciones superficiales son aquellas en las que el plano de contacto entre la estructura y el terreno está situado bajo el terreno que la rodea a una profundidad (D) que resulta pequeña cuando se compara con el ancho (B) de la cimentación. De hecho, cuando esa profundidad y el ancho de la cimentación son del mismo orden, entonces las fórmulas y procedimientos que aquí se indican son muy conservadores.

Existen varias tipologías básicas de cimentaciones superficiales, entre ellas:

- Zapatas aisladas o arriostradas.
- Zapatas corridas rígidas.
- Zapatas corridas flexibles.
- Losas.

Zapatas aisladas o arriostradas

Son típicas en cimentaciones de edificios o estructuras sustentadas por pilares. Las riostras que unen las distintas unidades no suelen reducir notablemente las cargas verticales que actúan en cada zapata y por lo tanto, a efectos de hundimiento y de asentos, éstas pueden considerarse individualmente.

Su principal objetivo es la de evitar desplazamientos laterales.

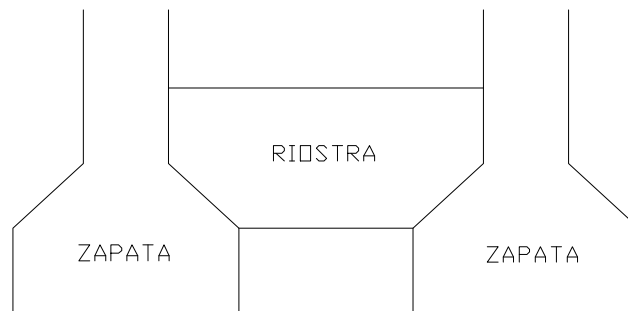


Fig. 1 Zapatas arriostradas.

Zapatas corridas rígidas

Son típicas en las cimentaciones de muros o estructuras de contención de gravedad (muelles de bloques, o cajones, por ejemplo).

La rigidez de la estructura hace que, para el cálculo de asentos, se pueda despreciar la deformación de la propia estructura.

Zapatas corridas flexibles

Son típicas de las cimentaciones de estructuras soportadas mediante pilares en terrenos de capacidad portante reducida que no permiten las cimentaciones aisladas. También pueden resultar interesantes por razones constructivas o incluso por razones económicas. Serían equivalentes a las zapatas aisladas y arriostradas con riostras y zapatas integradas en un mismo elemento, que sería una viga o zapata corrida. Las vigas corridas pueden ir en una sola dirección arriostradas o no, o en dos o más direcciones, cruzándose y arriostrándose entre sí.

Losas

Este tipo de solución es habitual en suelos que presentan escasa capacidad portante para cimentaciones aisladas o mediante vigas corridas. También pueden adoptarse soluciones en losa por otras razones muy diversas.

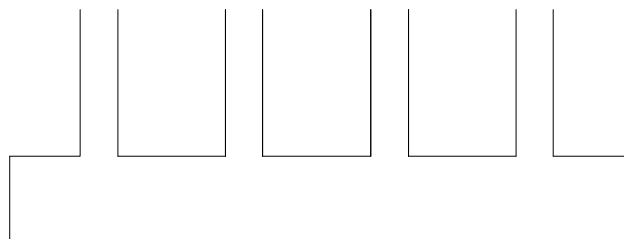


Fig. 2 Cimentación por losa.

Definiciones básicas

q_b , Tensión total bruta

Es la tensión vertical total que actúa en la base del cimiento (carga total/área del cimiento). Incluye todas las componentes verticales: sobrecargas, peso de la estructura, peso del propio cimiento, etc.

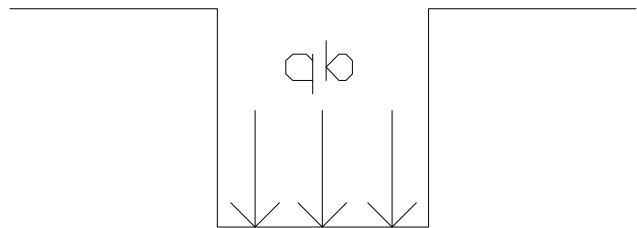


Fig. 3 Tensión total bruta.

q_{neta} , Tensión total neta

Es la diferencia entre q_b y la tensión total de tierras (sobrecarga) que actúa a la cota de la base del cimiento ($q_{neta} = q_b - P_o$).

Usualmente q_{neta} es el incremento de tensión total vertical al nivel de base de la cimentación.

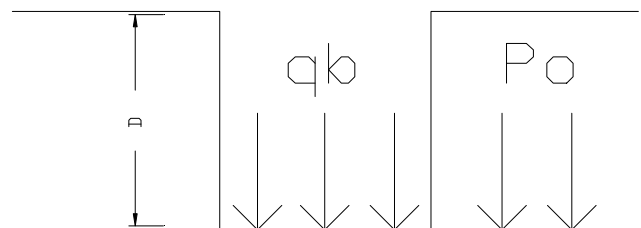


Fig. 4 Tensión total neta.

$$P_o = \gamma_{ap} \cdot D$$

$$q_{neta} = q_b - P_o$$

q'_b , Tensión efectiva bruta

Es la diferencia entre la tensión total bruta, q_b y la presión intersticial al nivel de la cimentación ($q'_b = q_b - u$).

$$u = \gamma_w \cdot h_w$$

$$q'_b = q_b - u$$

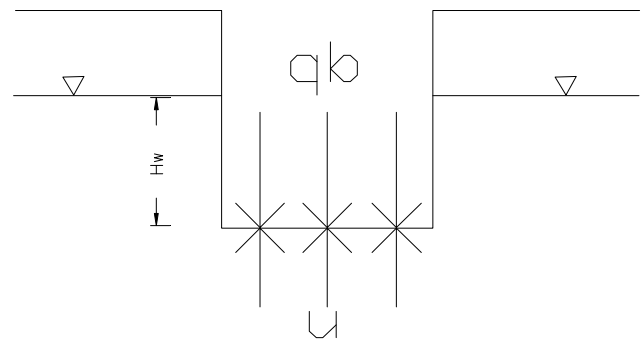


Fig. 5 Tensión efectiva bruta.

q'_{neta} , Tensión efectiva neta

Es la diferencia entre q'_b y la tensión efectiva vertical P'_o debida a la sobrecarga de tierras al nivel de la cimentación.

$$P'_o = P_o - \gamma_w \cdot h_w$$

$$q'_{neta} = q'_b - P_o = q_{neta}$$

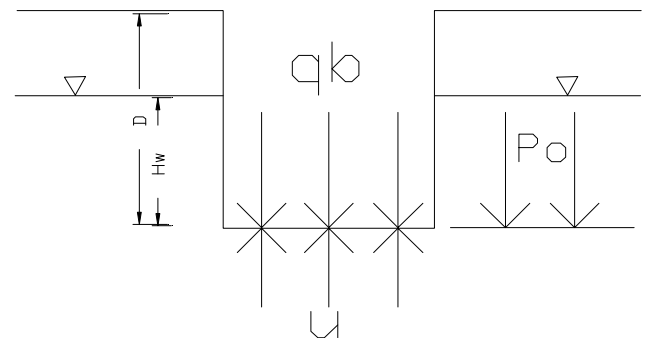


Fig. 6 Tensión efectiva neta.

$q'_h, (q_h)$ Tensión de hundimiento

Es la tensión vertical para la cual el terreno agota su resistencia al corte. Puede expresarse en términos de tensiones totales o efectivas, brutas o netas.

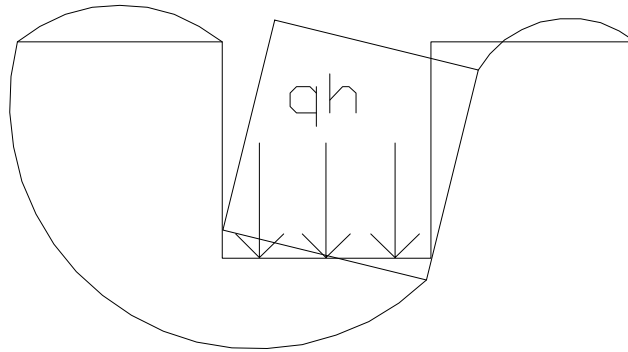


Fig. 7 Tensión de hundimiento.

$q'_{adm}, (q_{adm})$ Tensión admisible

Es la tensión de cimentación para la cual existe un coeficiente de seguridad adecuado frente al hundimiento. Puede expresarse en términos de tensiones totales o efectivas, brutas o netas. Esta tensión no tiene por qué ser admisible para la estructura, por lo tanto depende del tipo de estructura (estructuras rígidas/flexibles).

$q'_{adm\prime trabajo}, (q_{adm\prime trabajo})$ Tensión admisible de trabajo

Es la tensión de cimentación admisible para una determinada estructura teniendo en cuenta su tolerancia a los asentamientos. Obviamente puede ser mucho menor que q_{adm} . Puede expresarse en tensiones totales o efectivas, brutas o netas.

$Q_{trabajo}$, Tensión de trabajo

Es la tensión vertical de cimentación la que está funcionando una determinada cimentación. Puede expresarse en tensiones totales o efectivas, brutas o netas.

Condiciones que debe cumplir la cimentación

Estabilidad global

La estructura y su cimiento pueden fallar globalmente sin que se produzcan, antes, otros fallos locales. Este tipo de rotura es típico de cimentaciones en taludes o en medias laderas.

Estabilidad frente al hundimiento

Este fallo del terreno puede ocurrir cuando la carga actuante sobre el terreno, bajo algún elemento del cimiento, supera la carga de hundimiento.

Estabilidad frente al deslizamiento

El contacto de la cimentación con el terreno puede estar sometido a tensiones de corte. Si éstas superan la resistencia de ese contacto se puede producir el deslizamiento entre ambos elementos, cimentación y terreno.

Estabilidad frente al vuelco

El vuelco es típico de estructuras cimentadas sobre terrenos cuya capacidad portante es mucho mayor que la necesaria para sostener la cimentación, de otra forma, antes de producirse el vuelco se provocaría el hundimiento del cimiento.

Capacidad estructural del cimiento

Los esfuerzos en los elementos estructurales que componen el cimiento, igual que cualquier otro elemento estructural, pueden sobrepasar su capacidad resistente. Los estados límites últimos que, en ese sentido, deben considerarse son los mismos que con el resto de los elementos estructurales.

Características de la cimentación

Configuración geométrica

La cimentación se definirá por sus dimensiones características tales como anchuras (B), longitudes (L), etc.

Las cimentaciones que no tengan formas rectangulares podrán asimilarse a rectángulos equivalentes para aplicar las fórmulas que aquí se indican para cimentaciones rectangulares.

La profundidad de cimentación (D) será una estimación del valor mínimo que razonablemente cabe esperar en cada situación de proyecto en alguno de los lados de la cimentación.

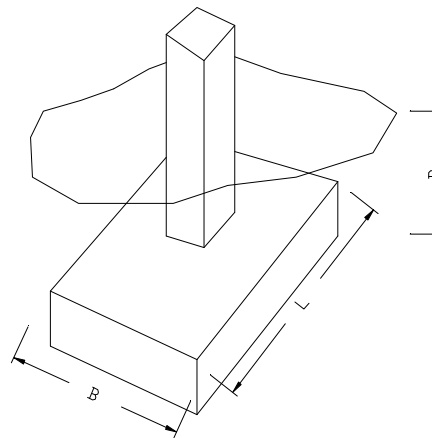


Fig. 8 Configuración geométrica del cimiento.

Se define **ancho equivalente** (B^*) y **largo equivalente** (L^*) como las longitudes resultantes de aplicar las excentricidades de aplicación de carga según las dos direcciones ortogonales.

De esta manera se definen como :

$$B^* = B - 2 \cdot e_B \quad (1)$$

$$L^* = L - 2 \cdot e_L \quad (2)$$

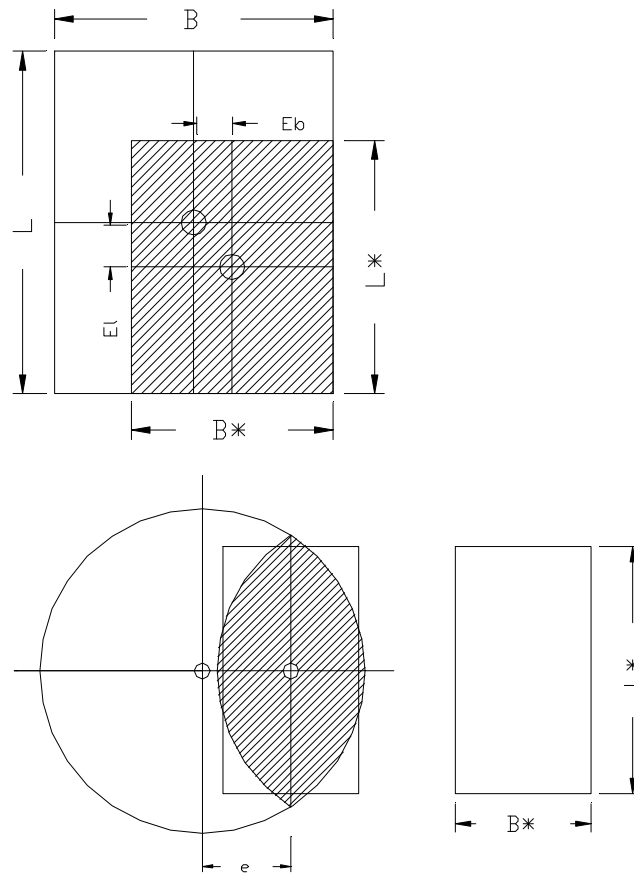


Fig. 9 Cimentaciones equivalentes.

Calculadas esas dimensiones equivalentes se obtendrá, también para cada combinación de acciones, el valor de la presión vertical media, definida por:

$$P_v = \frac{V}{B^* \cdot L^*} \quad (3)$$

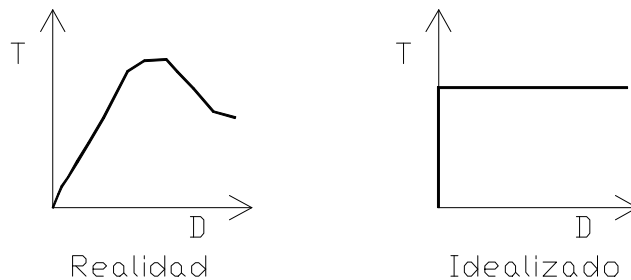
Excentricidad e/R	Ancho equivalente B^*/R	Largo equivalente L^*/R
0,00	1,73	1,81
0,10	1,54	1,77
0,20	1,37	1,71
0,30	1,19	1,64
0,40	1,01	1,56
0,50	0,83	1,46
0,60	0,66	1,35
0,70	0,48	1,23
0,80	0,24	1,13
0,90	0,11	1,00

R = radio del cimient o zapata circular.

Cálculo analítico de la carga de hundimiento

Las teorías de capacidad de carga en cimentaciones superficiales están basadas en un buen número de idealizaciones sobre las características tensión-deformación del suelo :

- a) El suelo se supone rígido-perfectamente plástico.



- b) La mayoría de las teorías suponen que el terreno es isótropo, es decir, que su resistencia es la misma en cualquier dirección.

- c) Se suele suponen que el terreno es homogéneo, o sea :

En cálculos sin drenaje (corto plazo en suelos cohesivos), la resistencia al corte sin drenaje “Su, Shear Undreined” se supone constante.

En cálculos con drenaje (suelos cohesivos a largo plazo o suelos granulares a corto y largo plazo), los parámetros de resistencia efectiva c' y ϕ se suponen constantes.

- d) La mayoría de las teorías suponen que el suelo bajo la cimentación no pesa (densidad nula).

Fórmula polinómica

La fórmula más frecuente para verificar la seguridad, y cuya aplicación se recomienda, es la conocida bajo el nombre de Brinch-Hansen² (1970), aunque de ella existen distintas versiones que difieren en algunos detalles sobre el procedimiento de obtención de algunos parámetros.

Según la versión que se recomienda en la ROM 0.5-94 la componente vertical de la presión que produce el hundimiento es :

$$P_{v,\text{hundimiento}} = q \cdot N_q \cdot S_q \cdot i_q + c \cdot N_c \cdot S_c \cdot i_c + \frac{1}{2} \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot i_\gamma \quad (4)$$

donde :

q = sobrecarga de tierras a la profundidad de la cimentación.

c = cohesión del terreno.

γ = peso específico del suelo.

B^* = ancho equivalente de la cimentación.

N_q , N_c , N_γ = coeficientes de capacidad de carga..

S_q , S_c , S_γ = coeficientes de forma.

i_q , i_c , i_γ = coeficientes de inclinación de carga.

En las fórmulas anteriores se ha supuesto que el terreno situado por encima del plano de cimentación actúa exclusivamente como una sobrecarga.

En aquellas ocasiones en las que se pueda garantizar que ese terreno estará permanentemente íntegro en una zona amplia del entorno de la cimentación, sin grietas naturales o artificiales (zanjas, dragados locales, etc.), se puede aumentar la carga de hundimiento multiplicando cada uno de los tres términos de la fórmula polinómica por los siguientes coeficientes:

² Brinch-Hansen, J. (1970). "A revised and extended formula for bearing capacity". Danish Geotechnical Institute, Bulletin n° 28.

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg} \emptyset \cdot (1 - \operatorname{sen} \emptyset)^2 \cdot \operatorname{arctg} D/B^* \cdot \pi/180 \quad (5)$$

$$d_c = 1 + 2 \cdot N_q/N_c \cdot (1 - \operatorname{sen} \emptyset)^2 \cdot \operatorname{arctg} D/B^* \cdot \pi/180 \quad (6)$$

$$d_\gamma = 1 \quad (7)$$

donde :

\emptyset = ángulo de rozamiento interno en grados.

D = profundidad del plano de cimentación en metros.

B* = ancho equivalente del cimiento en metros.

Coeficientes de capacidad de carga

Las siguientes expresiones debidas a Prandtl (1920) corresponden a las fórmulas analíticas que proporcionan los valores de los coeficientes de carga de la fórmula polinómica de Brinch-Hansen.

$$N_q = \frac{1 + \operatorname{Sen} \mathbf{f}}{1 - \operatorname{Sen} \mathbf{f}} \times e^{\mathbf{p} \cdot \operatorname{tg} \mathbf{f}} \quad (8)$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\operatorname{tg} \mathbf{f}} \quad (9)$$

$$N_\gamma = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \operatorname{tg} \mathbf{f} \quad (10)$$

Para el caso particular de $\phi = 0$, tenemos que los coeficientes de capacidad de carga valen respectivamente:

$$N_q = 1$$

$$N_c = 5,14$$

$$N_\gamma = 0$$

En la siguiente tabla se recogen los valores de los coeficientes de carga para el rango de ángulos de rozamiento interno en los suelos.

f	N_q	N_c	N_g
20	6,399	14,834	2,948
21	7,070	15,814	3,495
22	7,821	16,882	4,134
23	8,661	18,047	4,878
24	9,603	19,322	5,745
25	10,661	20,719	6,758
26	11,853	22,253	7,940
27	13,198	23,940	9,323
28	14,719	25,801	10,941
29	16,442	27,858	12,839
30	18,399	30,137	15,068
31	20,629	32,668	17,691
32	23,174	35,486	20,784
33	26,089	38,634	24,439
34	29,436	42,159	28,771
35	33,292	46,118	33,916
36	37,748	50,579	40,048
37	42,914	55,622	47,376
38	48,926	61,343	56,166
39	55,949	67,857	66,745
40	64,185	75,302	79,528
41	73,885	83,845	95,036
42	85,359	93,691	113,935
43	98,997	105,09	137,074
44	115,287	118,348	165,547
45	134,848	133,849	200,771

Coeficientes de forma

Tras una serie muy cuidada de ensayo en modelo reducido en arena, De Beer (1970) dedujo las siguientes expresiones :

$$S_q = 1 + \frac{B^*}{L^*} \cdot \frac{N_q}{N_c} \quad (11)$$

$$S_c = S_q \quad (12)$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \frac{B^*}{L^*} \quad (13)$$

Coeficientes de inclinación

Las expresiones que proporcionan los valores de los coeficientes de inclinación se deben a Schultze (1952), Caquot y Odgaard entre otros.

$$i_q = (1 - 0,7 \cdot \operatorname{tg} \mathbf{d})^3 \quad (14)$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} \quad (15)$$

para $f = 0$

$$i_q = 0,5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{B^* \cdot L^* \cdot c}} \right) \quad (16)$$

$$i_g = (1 - \operatorname{tg} \mathbf{d})^3 \quad (17)$$

\mathbf{d} = ángulo de desviación de la carga respecto a la vertical.

Nota :

Cuando se puede asegurar cierta cohesión “c” en el contacto de la cimentación con el terreno se podrá tomar un ángulo “δ” menor, dado por la expresión :

$$\operatorname{tg} d^* = \frac{\operatorname{tg} d}{1 + \frac{B^* \cdot L^* \cdot c}{V \cdot \operatorname{tg} f}} \quad (18)$$

Esta forma aproximada de considerar el efecto de la inclinación no debe utilizarse para inclinaciones del cimienta superiores al 10 %.

Influencia de las condiciones de agua sobre la capacidad de carga con drenaje

Las condiciones hidrogeológicas del terreno de cimentación tienen una importancia fundamental a la hora de determinar la capacidad de carga de las cimentaciones directas o superficiales.

El ejemplo teórico de la figura adjunta servirá para poner de relieve los aspectos más importantes de este problema. Se trata de una cimentación en faja de ancho **B**, situada a una profundidad **D** bajo la superficie.

Es importante recordar que en la ecuación general de la capacidad de carga (ecuación 4), se expresaba en tensiones efectivas. En dicha ecuación P_o' es la tensión efectiva vertical a la profundidad del cimienta y γ' es la densidad efectiva por debajo del mismo. Lógicamente ambos parámetros estarán influenciados por las condiciones del agua intersticial.

Nivel freático a profundidad $d_w > B$

En ese caso la superficie de rotura teórica al llegar al hundimiento queda por encima del nivel freático, luego la presencia de dicho nivel freático no afecta a la capacidad de carga.

$$P_o' = \gamma_{\text{apa}} \cdot D \quad \gamma' = \gamma_{\text{apa}}$$

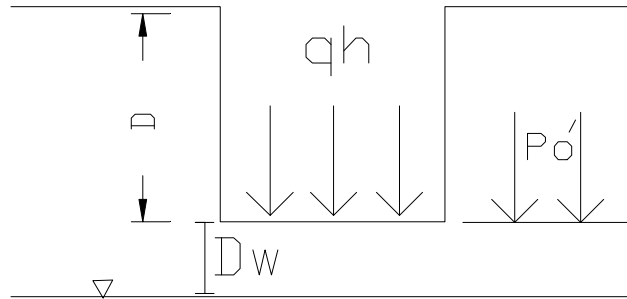


Fig. 10

Nivel freático a profundidad $d_w = 0$

Al subir el nivel freático hasta la base de la zapata, P_o' no varía respecto al caso anterior, pero la densidad efectiva bajo el cemento se reduce :

$$P_o' = \gamma_{apa} \cdot D \quad \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

γ_{sat} = densidad saturada.

γ_w = densidad del agua.

γ_{apa} = densidad aparente.

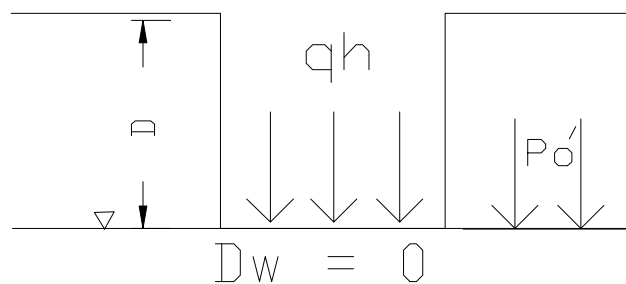


Fig. 11

Nivel freático en la superficie

En esta situación resulta :

$$P_o' = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot D \quad \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

Nota :

En este caso existe una presión intersticial $U = \gamma_w \cdot D$ al nivel de la base del cimiento que habrá que tener en cuenta para la determinación de $q_{h(bruta)}$, es decir :

$$q_{h(bruta)} = q'_{h(bruta)} + \gamma_w \cdot D$$

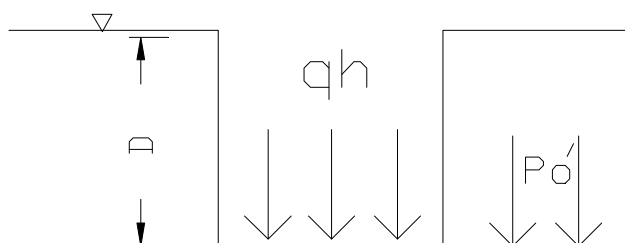


Fig. 12

Régimen de filtración hacia la superficie del terreno

Esta situación es la más desfavorable de todas y puede reducir mucho la capacidad de carga de las cimentaciones directas. Al aumentar la presión intersticial con respecto a la hidrostática del caso anterior, los términos en P_o' y γ' se reducen drásticamente.

$$P_o' = (\gamma_{sat} - U) \quad \gamma' = \gamma_{sat} - dU/dz$$

Cargas admisibles en arenas en función del ensayo SPT

De entre las distintas correlaciones existentes entre el índice N del ensayo estándar de penetración SPT y la presión vertical de cimentación se describe, a continuación, la propuesta por Meyerhof³(1956).

La presión vertical admisible en arenas, de manera que se tenga una seguridad adecuada frente al hundimiento y de manera que el asiento sea inferior a una pulgada (25,4 mm.), es :

$$P_{v.adm} = 6N\left(1 + \frac{D}{3B^*}\right) \quad \text{KN/m}^2 \quad \text{para } B < 1,2 \text{ m} \quad (19)$$

$$P_{v.adm} = 4N\left(1 + \frac{D}{3B^*}\right) \cdot \left(\frac{B^* + 0,3}{B^*}\right)^2 \quad \text{KN/m}^2 \quad \text{para } B > 1,2 \text{ m} \quad (20)$$

donde :

D = profundidad del plano de cimentación.

B* = ancho equivalente del cimientto.

Ambas dimensiones deben medirse en metros de manera que los términos entre paréntesis resulten adimensionales.

El índice N del SPT a utilizar en esta expresión debe ser el valor medio obtenido en la zona comprendida entre el plano de cimentación y una profundidad 1,5 B* bajo dicho plano.

Como quiera que los valores del índice N del SPT dependen de la sobrecarga efectiva de tierras al nivel del ensayo, tales valores deben referirse a una presión normalizada de 100 KPa (1 Kg/cm²). Los factores de corrección a utilizar se indican en el cuadro siguiente:

³ Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. Journal of Soli Mechanics and Foundation. Eng. ASCE. 1956.

Factor de corrección del índice “N” del SPT por el efecto de la sobrecarga efectiva de las tierras	
Presión vertical efectiva al nivel del ensayo (Kpa)	Factor de corrección, f N(corregido) = f · N
0	2,0
25	1,5
50	1,2
100	1,0
200	0,8
400 ó mayor	0,5

Para valores intermedios se puede interpolar linealmente entre los datos indicados. En cualquier caso el valor del índice N del SPT que se introduce en las expresiones anteriores después de corregido, no debe ser nunca superior a 50.

La profundidad de cimentación **D** a utilizar en los cálculos, no debe ser nunca mayor que el ancho equivalente de cimentación, **B***.

Las ecuaciones anteriores se consideran aplicables para cimentaciones superficiales de hasta unos 5 metros de anchura, como máximo.

Cargas admisibles en suelos cohesivos firmes y rocas

Las cargas admisibles en suelos cohesivos firmes y rocas, de manera que queden garantizados el problema de hundimiento y el buen comportamiento frente a asientos (asientos moderados del orden de una pulgada), son una fracción de su resistencia a la compresión simple :

$$P_{v,adm} = \rho \cdot q_u \quad (21)$$

donde :

ρ factor adimensional con los valores típicos siguientes:

- Arcillas sobreconsolidadas y rocas alteradas 0,60 - 0,40
- Rocas blandas poco alteradas y poco diaclasadas 0,40 - 0,20
- Rocas muy diaclasada 0,20 - 0,10

qu valor representativo de la resistencia a la compresión simple de la arcilla o de la matriz rocosa en la zona de espesor B^* bajo el plano de cimentación.

El valor representativo del parámetro ρ debe ser, dentro del rango indicado, tanto menor cuanto mayor sea el grado de diaclasamiento y cuanto mayor sea la resistencia a la compresión, **qu**.

Según la Norma DIN 1054, tenemos que cargas admisibles sobre rocas poco diaclasadas, sana, no meteorizada y con estratificación favorable (en el caso de estar muy diaclasadas y con disposición desfavorable de los estratos, estos valores deberán reducirse a la mitad).

Con estratificación marcada 15 Kg/cm²

En estado masivo o columnar 30 Kg/cm²

Por otra parte, el Código de Practica Británico nº 4 da indicaciones más detalladas, en primer lugar, da la tabla siguiente:

Descripción de la roca	Cargas Admisibles (Kg/cm²)
Roca masiva o gneísica, sana	109,0
Calizas con estratificación masiva y areniscas duras	44,0
Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas	22,0
Esquistos y pizarras	33,0
Lutitas arcillosas	11,0
Creta dura y sana	6,6

Por otra parte dice: si se empotra la cimentación más de 0,60 metros en roca sana, la carga de trabajo puede aumentar en un 20 % por cada 0,30 metros adicionales, siempre que no se sobrepase el doble de los valores dados en la tabla anterior.

Calculo de la capacidad portante a corto plazo

Los cálculos de la presión vertical que produce el hundimiento de una cimentación sobre un terreno poco permeable deben realizarse en la hipótesis de que no se produzcan ninguna consolidación del terreno.

En esta situación extrema de “corto plazo”, la resistencia del terreno puede simularse con un ángulo de rozamiento nulo y una cohesión igual a la resistencia al corte obtenida mediante ensayos de corte sin drenaje (Shear Undreined), ya sean de campo (Vane test, por ejemplo), bien sean de laboratorio (ensayos triaxiales tipo UU, por ejemplo), bien sean mediante estimación indirecta a través de correlaciones (penetrómetro estático, por ejemplo) u otros ensayos.

Los parámetros resistentes a utilizar en la fórmula polinómica de Brinch-Hansen serán, por lo tanto:

$$f = 0$$

$$C = Su$$

donde :

Su = resistencia al corte sin drenaje media de la zona de profundidad B. bajo el plano de cimentación.

El parámetro q de la fórmula polinómica se calculará como sigue:

$$q = \gamma_{apa} \cdot D \quad (22)$$

donde :

γ_{apa} = peso específico aparente del terreno en la zona comprendida entre la superficie del terreno y el plano de cimentación.

D = profundidad del cimientto.

La ecuación polinómica de brinch-Hansen para el caso a “corto plazo” queda como sigue :

$$P_{v,hundimienro} = q \cdot S_q \cdot i_q + 5,14 \cdot Su \cdot S_c \cdot i_c \quad (23)$$

para el caso particular de una zapata cuadrada la expresión anterior queda:

$$P_{v,\text{hundimiento}} = 1,2 \cdot q \cdot i_q + 6,17 \cdot S_u \cdot i_c \quad (24)$$

El coeficiente de seguridad frente al hundimiento

Se entiende como coeficiente de seguridad frente al hundimiento, F_h , al coeficiente entre la componente vertical de presión que produce el hundimiento, P_{vh} , calculada mediante la fórmula polinómica de Brinch-Hansen y la componente vertical de la presión actuante, P_v , definida como $V/(B \cdot L)$.

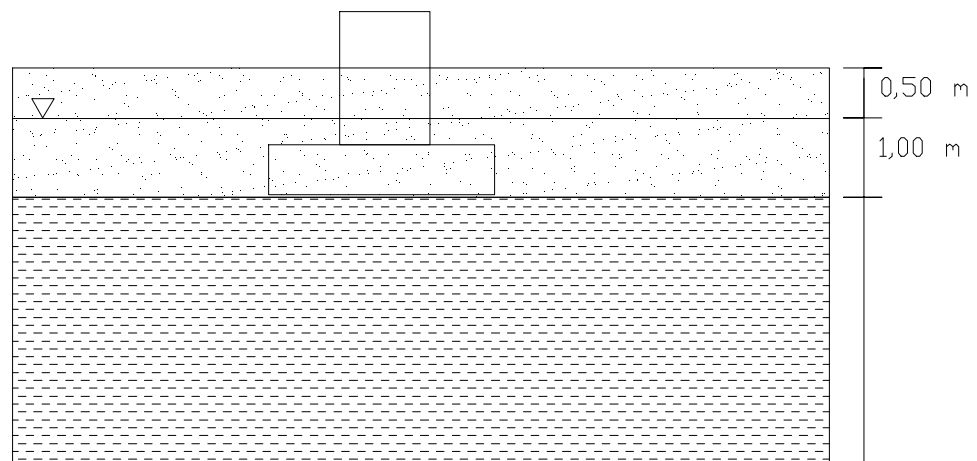
A falta de información específica que permita adoptar otros coeficientes de seguridad, para el caso general de cimentaciones de importancia media y cuyo fallo no implique consecuencias especiales, se adoptarán los siguientes valores mínimos:

Tipo de situación	Coeficiente de seguridad frente al hundimiento
Persistente, o transitoria de largo plazo	$F_h > 3$
Accidental, o transitoria de corto plazo	$F_h > 2,4$

Ejemplo práctico

Para la cimentación de un edificio de viviendas se realiza una campaña de reconocimiento del terreno consistente en una serie de sondeos geotécnicos, así como una serie de ensayos de laboratorio sobre muestras inalteradas, con el fin de determinar las características geotécnicas de los terrenos atravesados.

El perfil geotécnico del terreno, así como las características de los materiales se recoge en la figura adjunta. Se pretende conocer la capacidad portante del terreno, la capacidad admisible para un factor de seguridad 3, considerando un empotramiento del cimiento igual a 1,50 m. y un ancho de cimiento variable entre 0,80 y 2,00 metros. Para una zapata cuadrada.



Suelo 1

$$\gamma_{\text{apa}} = 1,80 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,90 \text{ g/cm}^3$$

Suelo 2

$$\gamma_{\text{sat}} = 2,10 \text{ g/cm}^3$$

$$c = 0,1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f = 30^\circ$$