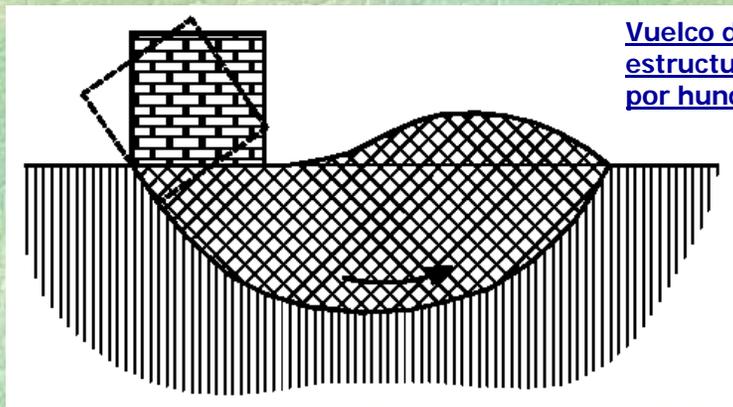


TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (I)

- Sea una carga vertical aplicada sobre una cimentación. Con valores pequeños, esta carga producirá asientos. Pero si sigue aumentando, se producirá el agotamiento del terreno al superarse su resistencia al esfuerzo cortante, produciéndose asientos inadmisibles, situación que se identifica con el hundimiento.
- El hundimiento del terreno bajo una cimentación viene generalmente acompañado de giros o incluso el vuelco de la estructura sustentada.
- La carga que produce el hundimiento depende de la resistencia al esfuerzo cortante del terreno, dimensiones y forma de la cimentación, profundidad a la que se encuentra, peso específico del terreno y profundidad del nivel freático.



Vuelco de una estructura producido por hundimiento

Imagen extraída del CTE. DB-SE-Cimientos

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de Ingeniería Mecánica



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (II)

- Por lo tanto, se define presión vertical de hundimiento, q_h , como la resistencia del terreno en la situación de estado límite de hundimiento. Habitualmente se conoce como “capacidad portante (bearing capacity)”.
- Puede expresarse en términos de presiones totales o efectivas, brutas o netas.
- El CTE.DB-SE-Cimientos proporciona la siguiente expresión para el cálculo de la presión de hundimiento en cualquier tipo de suelo:

$$q_h = c \cdot N_c \cdot f_c + \sigma_{v0} \cdot N_q \cdot f_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot f_\gamma$$

→ Cada uno de los términos de esta expresión se explican en las páginas siguientes.

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de Ingeniería Mecánica



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (III)

$$q_h = c \cdot N_c \cdot f_c + \sigma_{v0} \cdot N_q \cdot f_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot f_\gamma$$

→ σ_{v0} es la tensión vertical debida al peso propio del terreno en el plano de apoyo de la cimentación.

→ c es la cohesión del terreno.

→ γ es el peso específico del terreno que se encuentra bajo la cimentación.

→ B^* es la anchura equivalente de la cimentación.

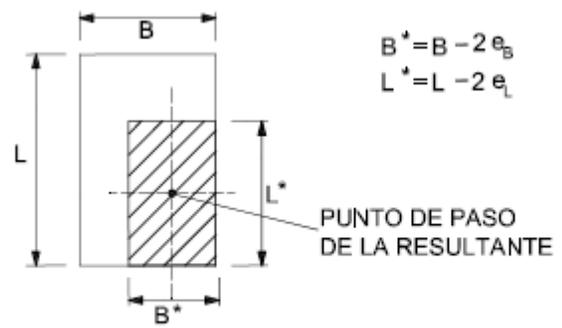
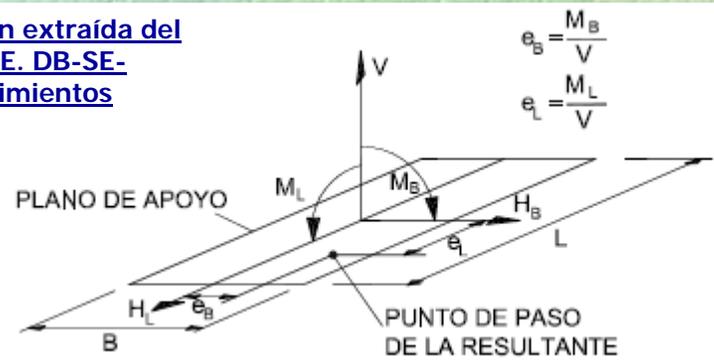
→ N_q , N_γ y N_c son los factores de capacidad de carga, que dependen exclusivamente de ϕ .

$$N_q = \frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi} \cdot e^{\pi \cdot \text{tg } \phi}$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\text{tg } \phi}$$

$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg } \phi$$

Imagen extraída del CTE. DB-SE-Cimientos



Definición de zapata equivalente para la comprobación de estados límite últimos.

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de I+n

TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (IV)

$$q_h = c \cdot N_C \cdot f_c + \sigma_{v0} \cdot N_q \cdot f_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot f_\gamma$$

→ f_q , f_γ y f_c : factores de corrección adimensionales para tener en cuenta:

- ① Resistencia al esfuerzo cortante del terreno situado sobre la base y alrededor de la cimentación (d).
- ② Forma de la cimentación (s).
- ③ Inclinación de la resultante de las acciones sobre la cimentación (i).
- ④ Proximidad de un talud a la cimentación (t).

$$f = d \cdot s \cdot i \cdot t$$

→ Si el plano de cimentación tiene una ligera inclinación, el concepto vertical y horizontal se cambiará por normal y tangencial al plano de cimentación. Las inclinaciones superiores al 3(H): 1(V) requieren técnicas de análisis específicas.

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de Ingeniería Mecánica



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (V)

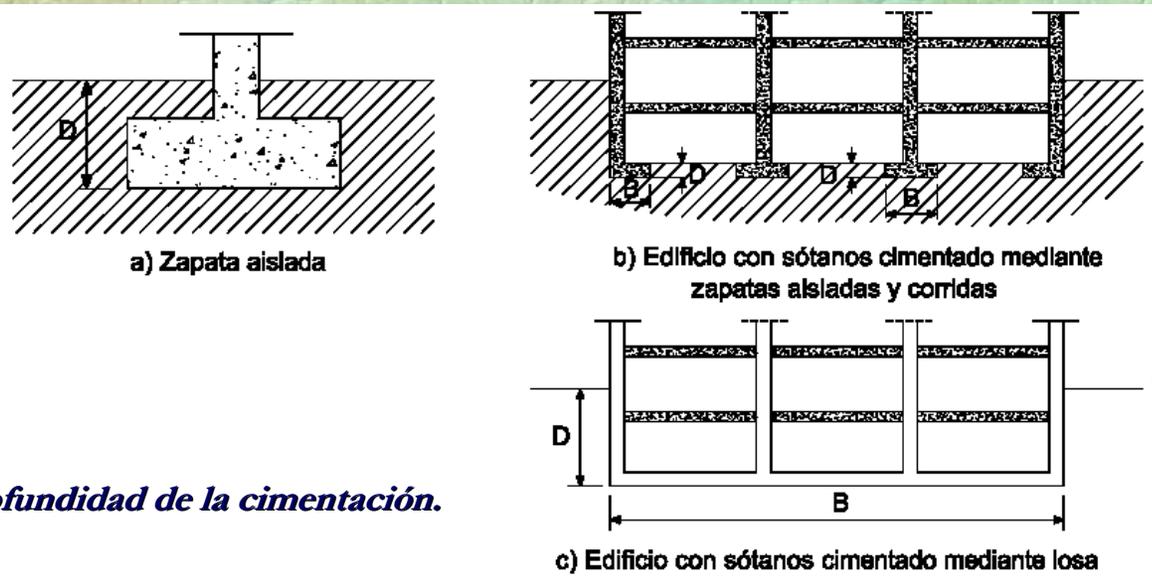
$$d_q, d_\gamma, d_c$$

Estos factores se deben tomar con precaución y no se considerarán cuando $D < 2 \text{ m}$ o cuando no se pueda asegurar la permanencia en el tiempo del terreno situado sobre la cimentación.

$$d_q = 1 + 2 \cdot \frac{N_q}{N_c} \cdot (1 - \text{sen } \phi)^2 \cdot \text{arctg} \left(\frac{D}{B^*} \right) \quad D \leq 2 \cdot B^*$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_c = 1 + 0.34 \cdot \text{arctg} \left(\frac{D}{B^*} \right)$$



D: profundidad de la cimentación.

Imagen extraída del CTE. DB-SE-Cimientos

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de Ingeniería Mecánica



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

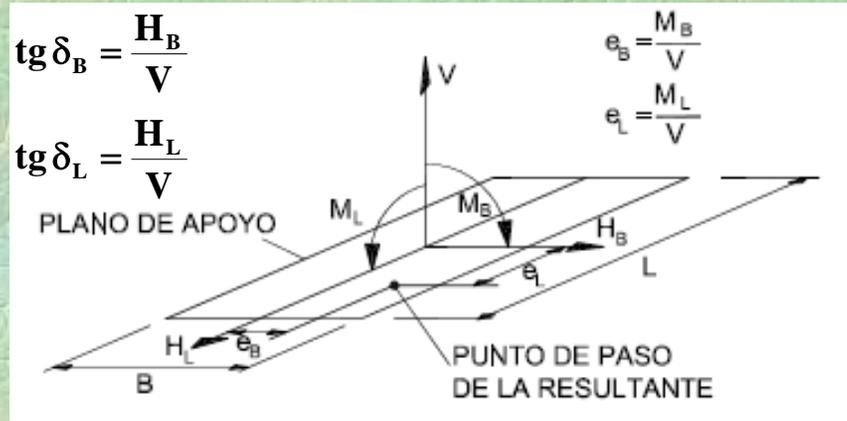
Estado límite último de hundimiento (VI)

$$i_q, i_\gamma, i_c$$

$$i_q = (1 - 0.7 \cdot \text{tg } \delta_B)^3 \cdot (1 - \text{tg } \delta_L)$$

$$i_\gamma = (1 - \text{tg } \delta_B)^3 \cdot (1 - \text{tg } \delta_L)$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$



→ Cuando se pueda se pueda asegurar cierta cohesión en el contacto de la cimentación con el terreno se podrán tomar ángulos δ^* menores según:

$$\text{tg } \delta^* = \frac{\text{tg } \delta}{1 + \frac{B^* \cdot L^* \cdot c}{V \cdot \text{tg } \phi}}$$

→ Cuando la componente horizontal de la resultante sea menor del 10 % de la vertical se podrá tomar $i_c = i_q = i_\gamma = 1$.

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de Ingeniería Mecánica



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (VII)

$$s_q, s_\gamma, s_c$$

Para zapatas circulares: $s_c = s_q = 1.20$, $s_\gamma = 0.6$

Para zapatas rectangulares: $s_q = 1 + 1.5 \cdot \text{tg } \phi \cdot \frac{B^*}{L^*}$ $s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B^*}{L^*}$ $s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B^*}{L^*}$

$$t_q, t_\gamma, t_c$$

Factores de corrección para tener en cuenta la presencia de un talud inclinado de forma descendente un ángulo β respecto de la horizontal.

$$t_q = 1 - \text{sen } 2 \cdot \beta \qquad t_\gamma = 1 - \text{sen } 2 \cdot \beta \qquad t_c = e^{-2 \cdot \beta \cdot \text{tg } \phi}$$

- Cuando el ángulo de inclinación del terreno sea superior a $\phi/2$ debe llevarse a cabo un estudio específico de estabilidad global.
- Cuando el ángulo de inclinación del terreno sea menor o igual a 5° , se podrá tomar $t_c = t_q = t_\gamma = 1$.

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de Ingeniería Mecánica



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (VIII)

En condiciones drenadas, es decir, en suelos granulares de permeabilidad alta (G y S) y a largo plazo en arcillas saturadas, el cálculo de la presión de hundimiento se realiza en tensiones efectivas.

- Los parámetros resistentes del terreno serán c' , cohesión efectiva, y ϕ' , ángulo de rozamiento interno efectivo.
- σ'_{v0} es la tensión efectiva vertical del terreno en el plano de apoyo de la cimentación.
- γ es el peso específico del terreno, que se tomará
 - ↗ Directamente el peso específico aparente, si el nivel freático se encuentra a una distancia mayor que B^* bajo el cimientto.
 - ↗ El peso específico sumergido si el nivel freático se encuentra por encima de la base de la cimentación.
 - ↗ En situaciones intermedias: $= \gamma' + \frac{z}{B^*} \cdot (\gamma - \gamma')$

siendo z la distancia a la que se encuentra el nivel freático bajo la cimentación.

$$q'_h = c' \cdot N_c \cdot f_c + \sigma'_{v0} \cdot N_q \cdot f_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot f_\gamma$$

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de Ingeniería Mecánica



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (IX)

En arcillas saturadas en condiciones NO drenadas el cálculo de la presión de hundimiento se realiza en tensiones totales.

- Los parámetros resistentes del terreno serán c_u , cohesión sin drenaje, y el ángulo de rozamiento interno, que en este caso es nulo.
- Los factores de capacidad de carga quedarían $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$ y $N_c = \pi + 2 = 5.14$.

$$q_h = c_u \cdot N_c \cdot f_c + \sigma_{v0} \cdot N_q \cdot f_q$$

→ Además, con $\phi = 0$, se tomará

$$i_c = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{B^* \cdot L^* \cdot c}} \right)$$

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Pto. de Ingeniería Mecánica



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (X)

A efectos prácticos, si el terreno es uniforme (de peso específico aparente aproximado $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$) y si la cimentación se encuentra por encima del nivel freático, sobre terreno horizontal, se podrán tomar los siguientes valores de q_h :

Tabla 4.3. Presiones de hundimiento para zapatas $1 \leq B^* \leq 3$, (kN/m^2)

ϕ (°)	c_k (kN/m^2)	$B^* / L^* = 1$			$B^* / L^* = 0,5$			$B^* / L^* = 0,25$			$B^* / L^* = 0$		
		D (m)			D (m)			D (m)			D (m)		
		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0°	50	310	385	450	280	355	420	270	340	400	255	325	385
	100	615	750	860	565	690	790	540	660	755	515	630	720
	150	925	1120	1265	850	1025	1160	810	980	1110	770	935	1060
15°	10	145	255	375	140	245	360	135	240	355	130	235	350
	20	280	410	545	260	390	520	250	375	510	240	365	495
20°	10	215	385	570	210	375	560	205	370	555	200	365	550
	20	395	595	805	370	570	775	360	555	760	350	540	745
25°	10	335	605	915	330	600	905	330	595	900	330	595	895
	20	580	900	1240	560	870	1205	550	855	1185	535	840	1165
30°	0	190	580	1055	230	620	1095	250	640	1115	270	660	1135
	10	550	1010	1530	560	1015	1530	565	1015	1530	570	1020	1530
35°	0	425	1135	1990	520	1225	2085	565	1270	2130	610	1320	2175



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (XI)

$$q'_h = c' \cdot N_C \cdot f_C + \sigma'_{v0} \cdot N_q \cdot f_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot f_\gamma$$



$$q_h = q'_h + u$$

$$q_h = c_u \cdot N_C \cdot f_C + \sigma_{v0} \cdot N_q \cdot f_q$$

$$q_{nh} = q_h - \sigma_{v0}$$

Conocida la presión de hundimiento neta, la presión admisible q_{adm} se calculará como:

$$q_{adm} = \frac{q_{nh}}{\gamma_R}$$

siendo γ_R el coeficiente de seguridad parcial, para el que se tomará un valor de **3**.

Por lo tanto, no se producirá el hundimiento de la cimentación mientras se cumpla

$$q_{aplicada} - \sigma_{v0} = q_{neta} \leq q_{adm}$$

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de Ingeniería Mecánica



TEMA 7. ESTADO LIMITE ULTIMO DE HUNDIMIENTO.

Estado límite último de hundimiento (XII)

En suelos granulares, cuando el terreno presente pendiente inferior al 10 %, la inclinación con la vertical de la resultante de las acciones sea menor del 10 % y se admita la producción de asientos de hasta 2'5 cm, se puede obtener q_{adm} como

$$q_{adm} \text{ (kPa)} = 12 \cdot N_{SPT} \cdot \left(1 + \frac{D}{3 \cdot B^*}\right)$$

para $B^* < 1'2 \text{ m}$.

$$\left(1 + \frac{D}{3 \cdot B^*}\right) < 1'3$$

$$q_{adm} \text{ (kPa)} = 8 \cdot N_{SPT} \cdot \left(1 + \frac{D}{3 \cdot B^*}\right) \cdot \left(\frac{B^* + 0'3}{B^*}\right)^2$$

para $B^* > 1'2 \text{ m}$.

siendo N_{SPT} el valor medio del número de golpes en el ensayo SPT, obtenido en una zona de influencia de la cimentación comprendida entre un plano situado a una distancia $0'5 \cdot B^*$ por encima de su base y otro situado a una distancia mínima $2 \cdot B^*$ por debajo.

A efectos prácticos se pueden tomar también los siguientes valores:

Tabla 4.4 Presiones admisibles en suelos granulares para $N=10$, (kN/m²)

S_t (mm)	B (m)													
	0,8 m		1,0 m		1,2 m		1,5 m		2,0 m		3,0 m		5,0 m	
	D (m)													
10	0,5	2	0,5	2	0,5	2	0,5	2	0,5	2	0,5	2	0,5	2
15	58	62	56	62	57	65	51	60	46	55	41	47	37	41
20	87	94	84	94	85	98	77	90	69	83	61	71	56	61
25	116	125	112	125	114	130	102	120	92	110	82	95	74	81
25	145	156	140	156	142	163	128	150	115	138	102	118	93	102

Para $N_{SPT} > 10$, el valor de q_{adm} será proporcional.

Fundamentos de Mecánica del Suelo

Dpto. de Ingeniería Mecánica

