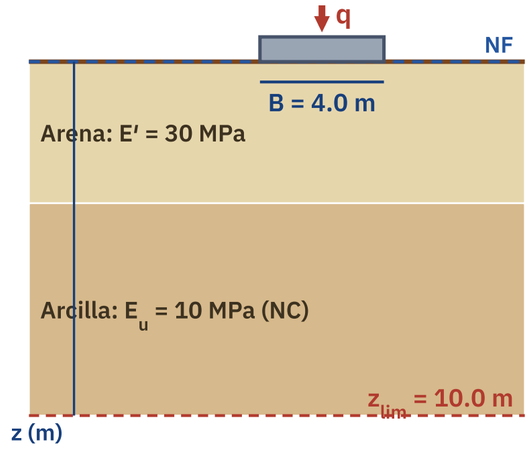
Presentación de clase de geotecnia · Asentamientos

Asentamiento total: estratos de arcilla y arena

Clase: combinación del asentamiento inmediato (elástico) y la consolidación de la arcilla en un perfil de estratos de arcilla y arena, centro, esquina y cimentación rígida, asentamiento total dependiente del tiempo; ejemplo resuelto en cada tema.

- $S = S_e + S_c$
- Estratos de arcilla y de arena
- Steinbrenner
- Trayectoria de tensiones
- Centro · esquina · rígida
- Curva asentamiento–tiempo



Introducción

¿Qué aprenderemos en esta clase?

La separación del asentamiento según el tipo de estrato: estrato **cohesivo** = asentamiento inmediato + consolidación, estrato **granular** = solo asentamiento elástico

Combinar en los mismos subestratos los cálculos de **Steinbrenner** (inmediato) y de **trayectoria de tensiones** (consolidación)

Ver el efecto de la excavación: la **presión neta** determina el asentamiento inmediato, y el **levantamiento y la recompresión** determinan la consolidación

Determinar el asentamiento en el **centro** y en la **esquina** de una cimentación flexible, la cimentación rígida y el asentamiento diferencial a partir del asentamiento total

Construir la curva asentamiento–tiempo $\mathbf{S(t) = S_e + \Sigma\, U_i(t)\, S_{c,i}}$

Comprobar que el resultado del módulo es igual a la suma de los módulos de un solo tipo (Elástico + Consolidación)

DESARROLLO DE LA CLASE

Cada tema se desarrolla en **tres pasos**:

1 · **Teoría**: ¿cuál es la regla y por qué es así?

2 · **Enunciado**: datos y se pide

3 · **Solución**: paso a paso, con números

Perfil del ejemplo: 6 m de arcilla normalmente consolidada sobre 4 m de arena; zapata de 4 × 6 m, q = 150 kPa. Los asentamientos se dan en mm.

Asentamiento total = asentamiento inmediato + consolidación

TEORÍA

$$S = S_e + S_c \qquad \text{estrato cohesivo: } S_e(\text{sin drenaje}) + S_c \qquad \text{estrato granular: } S_e(\text{drenado})$$

Las dos componentes se calculan **en los mismos subestratos**, con el mismo incremento de tensión de Boussinesq, la misma excavación y la misma profundidad de cálculo. La solución es **analítica**: factores de influencia en forma cerrada, trayectoria de tensiones subestrato a subestrato y teoría de Terzaghi; no se emplean elementos finitos.

La arcilla saturada no cambia de volumen mientras se aplica la carga (v = 0.5): este es su asentamiento inmediato. El agua sale lentamente y la arcilla se comprime a lo largo de la trayectoria de tensiones: esto es la consolidación. Como la arena libera su agua enseguida, todo su asentamiento es elástico.

> En un perfil de un solo tipo, el módulo da **el mismo resultado** que el módulo de Asentamiento elástico o el de Consolidación (Ejemplo 6).

> El tipo de cada estrato se selecciona en la tabla «Perfil del terreno» y determina qué parámetros necesitará el estrato.

TIPO DE ESTRATO

Estrato	Asentamiento inmediato	Consolidación
Cohesivo	E_u sin drenaje, v = 0.5	disponibles: C_c, C_r, C_s, e_0, σ'_p (o m_v), C_v
Granular	E′, v′ drenados	ninguno

Ley de Hooke y coeficientes de Steinbrenner

TEORÍA

El asentamiento bajo una cimentación totalmente flexible que transmite la presión neta q_{net} es la integral de la deformación vertical (tensiones de Boussinesq, semiespacio homogéneo):

$$S = \int \varepsilon_z \, dz = \int \frac{\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)}{E} \, dz$$

Solución cerrada para la esquina de un rectángulo (Steinbrenner):

$$S = q_{net}\, \alpha\, B' \, \frac{1-\nu^2}{E}\, I_s \qquad I_s = F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} F_2$$

m′ = L′/B′, n′ = z/B′. **Centro**: α = 4, B′ = B/2; **esquina**: α = 1, B′ = B.

Como v = 0.5 en el estrato cohesivo, $I_s = F_1$ y $(1 - v^2) = 0.75$.

MÓDULOS DE DEFORMACIÓN PARA EL ASENTAMIENTO ELÁSTICO

Las fórmulas de F_1, F_2, A_0, A_1, A_2 y los ejemplos detallados se encuentran en las presentaciones de asentamiento elástico; aquí solo se utilizan sus resultados para la suma.

Perfil estratificado y presión neta

TEORÍA

Un estrato comprendido entre las profundidades z_{sup} y z_{inf} del nivel de la cimentación aporta su diferencia de I_s con su propio E y v:

$$\Delta S_e = q_{net}\,\alpha\,B'\,\frac{1-\nu^2}{E}\,[I_s(z_{bottom}) - I_s(z_{üst})]$$

La excavación elimina la tensión efectiva de sobrecarga al nivel de la base; en un suelo elástico con un único módulo de elasticidad, la descarga se recupera en la recarga y el asentamiento inmediato queda determinado por la **presión neta**:

$$q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$$

Si $q_{net} \leq 0$ no se produce asentamiento inmediato (un valor negativo corresponde a un levantamiento elástico).

El resultado no depende del espesor de los subestratos; estos solo sirven para las tablas y las zonas de color.

NEDEN FARKLI?

El asentamiento inmediato se calcula con la **presión neta** y la consolidación con el **incremento de tensión efectiva** a lo largo de la trayectoria de tensiones; la excavación afecta a ambos de forma distinta.

Trayectoria de tensiones y compresión del subestrato

TEORÍA

En los subestratos cohesivos, la consolidación no se calcula en un solo paso desde la tensión inicial hasta la final, sino a lo largo de la **trayectoria de tensiones**: hinchamiento por la excavación (C_s), en la recarga primero la recuperación del levantamiento, recompresión con C_r hasta σ'_p y, más allá, compresión virgen con C_c:

$$\sigma'_{v0} \xrightarrow{C_s} \sigma'_{exc} \xrightarrow{C_s} \sigma'_{v0} \xrightarrow{C_r} \sigma'_p \xrightarrow{C_c} \sigma'_{final} \qquad \sigma'_p = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

$$S_c = \sum (S_b + S_r + S_v)\,, \quad f = \frac{\Delta H}{1 + e_0} \qquad \Delta\sigma_{load} = q\, I_z(z') \qquad \sigma'_{final} = \sigma'_{exc} + \Delta\sigma_{load}$$

En arcilla NC (OCR = 1): $S = C_c\, f \log(\sigma'_{fin}/\sigma'_{v0})$ (sin excavación).

El levantamiento es negativo; $S_{net} = S_c + S_{lev}$. En la opción **Conservar**, el asentamiento se mide desde el terreno original, y en la opción **Poner a cero**, desde el fondo levantado.

Profundidad de cálculo: $I_z(z') = p$ (habitualmente 10 %) o la base del perfil; el método m_v es una opción lineal.

DETALLE

La exposición completa de la trayectoria de tensiones, los regímenes, la excavación y la curva de tiempo se encuentra en la presentación de Consolidación.

Enunciado

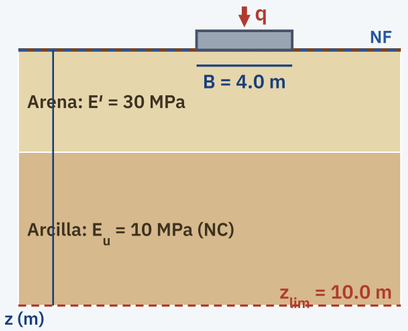
EJEMPLO

Datos

Perfil	**arena 0–4 m:** $E' = 30\ \text{MPa},\ \nu' = 0.30,\ \gamma_{sat} = 19$ · **arcilla 4–10 m (NC):** $E_u = 10\ \text{MPa},\ \nu = 0.5,\ e_0 = 1.0,\ C_c = 0.30,\ C_v = 2\ \text{m}^2/\text{año},\ \gamma_{sat} = 18$
Cimentación	**Rectángulo flexible de 4 × 6 m, $q = 150\ \text{kPa}$, en la superficie del terreno; nivel freático en superficie; profundidad de cálculo 10 m (base del perfil)**
Excavación	**ninguno (q_{net} = 150 kPa)**

SE PIDE

Asentamiento inmediato S_e en el **centro** y en la **esquina** de cada estrato.



Solución

SOLUCIÓN

1. Arena (0–4 m): k = q(1 − ν′²)/E′ = 150(0.91)/30 000 = 0.004550; 8 I_s(4) = 2.7351

$$\Delta S_e = k\,[(\alpha B' I_s)_4 - 0] = 0.004550(2.7351) = \mathbf{12.4\ mm}$$

2. Arcilla (4–10 m): k = 150(0.75)/10 000 = 0.011250; 8 I_s(4) = 2.3398; 8 I_s(10) = 3.9643

$$\Delta S_e = 0.011250(3.9643 - 2.3398) = \mathbf{18.3\ mm}$$

En el centro S_e = 12.4 + 18.3 = **30.7 mm**; en la esquina 3.4 + 9.8 = **13.2 mm** (en la esquina α = 1, B′ = B).

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Boussinesq, profundidad de influencia y método de m_v

TEORÍA

Bajo el centro de la cimentación, para un rectángulo B × L con el coeficiente de esquina de Newmark y, para una franja, con la solución cerrada en α:

$$\Delta\sigma = q\, I_z(z') \qquad I_z = 4\, I_{köşe}(m,n)\ \ (m=\tfrac{B}{2z'},\ n=\tfrac{L}{2z}) \qquad I_{z,\text{franja}} = \frac{\alpha+\sin\alpha}{\pi}$$

Profundidad de influencia: $I_z(z')$ = p (habitualmente 10%); cuadrada 2.09 B, 2.55 B para L = 1.5 B, corrida 6.34 B. Si se selecciona la base del perfil, el cálculo termina en el último estrato (en roca o en grava densa).

Si el perfil termina por encima de z_{lim}, el último estrato continúa hasta z_{lim}.

Método de m_v: $\Delta H = m_v\, \Delta\sigma'\, H$; lineal, $C_c/C_r/C_s$ no intervienen.

EN ESTE PERFIL

La profundidad de cálculo es la base del perfil (10 m); se supone una base rígida. Para el subestrato de arcilla en z = 7 m, $I_z(z' = 7) = 0.1916$.

Enunciado

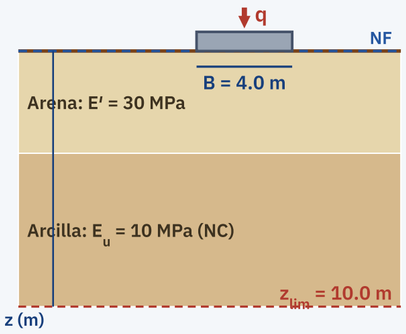
EJEMPLO

Datos

Perfil	**arena 0–4 m:** $E' = 30\ \text{MPa},\ \nu' = 0.30,\ \gamma_{sat} = 19$ · **arcilla 4–10 m (NC):** $E_u = 10\ \text{MPa},\ \nu = 0.5,\ e_0 = 1.0,\ C_c = 0.30,\ C_v = 2\ \text{m}^2/\text{año},\ \gamma_{sat} = 18$
Cimentación	**Rectángulo flexible de 4 × 6 m,** $q = 150\ \text{kPa}$**, en la superficie del terreno; nivel freático en superficie; profundidad de cálculo 10 m (base del perfil)**
Dovela	**arcilla, una sola dovela,** $H = 6$ **m, punto medio** $z = 7$ **m;** $f = H/(1+e_0) = 3$ **m**
Tensiones	$\sigma'_{v0} = 9.19(4) + 8.19(3) = 61.33\ \text{kPa}$

SE PIDE

I_z, $\Delta\sigma$, σ'_{fin} y S_c.



Solución

SOLUCIÓN

1 Boussinesq (z′ = 7 m): m = 2/7 = 0.2857; n = 3/7 = 0.4286

$$I_z = 4\,I_{köşe}(0.2857;\,0.4286) = 4(0.0479) = \mathbf{0.1916} \qquad \Delta\sigma = 150(0.1916) = 28.75\ \text{kPa}$$

2 Tensión final y compresión (NC: $\sigma'_p = \sigma'_{v0}$)

$$\sigma'_{final} = 61.33 + 28.75 = 90.08\ \text{kPa}$$

$$S_c = C_c f \log\frac{\sigma'_{final}}{\sigma'_{v0}} = 0.30(3)\log\frac{90.08}{61.33} = \mathbf{150.2\ mm}$$

El asentamiento por consolidación de la arcilla es de **150.2 mm**: unas **4.9 veces** el asentamiento inmediato (30.7 mm). En arcilla NC blanda, el asentamiento principal procede de la consolidación.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Centro, esquina y zapata rígida

TEORÍA

Para cada subestrato se suman las componentes inmediata y (en el estrato cohesivo) de consolidación; el total a lo largo de los estratos hasta z_{lim} da el asentamiento en el **centro** de la cimentación flexible:

$$S = \sum \Delta S_e + \sum (\Delta S_b + \Delta S_r + \Delta S_v) \quad [+ S_{heave}]$$

$$S_{köşe} = S_{e,köşe} + S_c \qquad S_{rigid} = 0.93\, S_e + S_c \qquad S_{diff} = S_e - S_{e,köşe}$$

Para la esquina, **solo el asentamiento inmediato** toma el valor del propio rectángulo de esquina; la consolidación procede de la trayectoria de tensiones en la línea central y se supone igual en la esquina.

La cimentación rígida asienta uniformemente: la parte inmediata es aproximadamente 0.93 veces la del centro flexible, y la de consolidación es la del centro.

Excavación: la parte inmediata se calcula con q_{net} y la de la arcilla, con el hinchamiento y la recompresión; con la opción «se conserva», $S = S_e + S_c + S_{hinch}$.

SI DOMINA LA ARCILLA

Dado que la consolidación es la misma en el centro y en la esquina, en los perfiles dominados por arcilla el **asentamiento diferencial** es únicamente la diferencia de la componente inmediata.

Enunciado

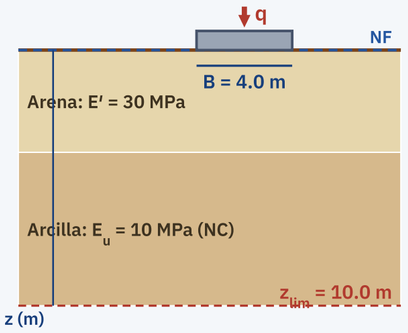
EJEMPLO

Datos

Perfil	**arena 0–4 m:** $E' = 30\ \text{MPa},\ \nu' = 0.30,\ \gamma_{sat} = 19$ · **arcilla 4–10 m (NC):** $E_u = 10\ \text{MPa},\ \nu = 0.5,\ e_0 = 1.0,\ C_c = 0.30,\ C_v = 2\ \text{m}^2/\text{año},\ \gamma_{sat} = 18$
Cimentación	**Rectángulo flexible de 4 × 6 m,** $q = 150\ \text{kPa}$**, en la superficie del terreno; nivel freático en superficie; profundidad de cálculo 10 m (base del perfil)**
Ejemplos anteriores	S_e**: centro 30.7, esquina 13.2 mm;** S_c **= 150.2 mm (Ejemplos 1 y 2)**

SE PIDE

Asentamiento total **en el centro, en la esquina y rígido**; asentamiento diferencial; participación de la componente inmediata.



Solución

SOLUCIÓN

1 Totales

$$S_{center} = 30.7 + 150.2 = \mathbf{181.0\ mm} \qquad S_{köşe} = 13.2 + 150.2 = \mathbf{163.4\ mm}$$

$$S_{rigid} = 0.93(30.7) + 150.2 = \mathbf{178.8\ mm} \qquad S_{diff} = 30.7 - 13.2 = \mathbf{17.5\ mm}$$

	S_e (mm)	S_c (mm)	total (mm)
centro (flexible)	30.7	150.2	**181.0**
esquina (flexible)	13.2	150.2	**163.4**
rígido	28.6	150.2	**178.8**

El asentamiento inmediato es solo el **17 %** del total; el asentamiento diferencial es de 17.5 mm. Como la consolidación de la arcilla es la misma en el centro y en la esquina, la esquina se asienta el 90 % del valor del centro.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

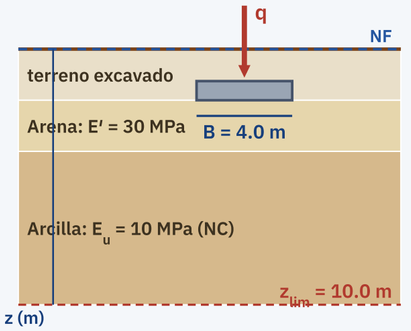
EJEMPLO

Datos

Perfil	**arena 0–4 m ($E' = 30,\ \nu' = 0.30,\ \gamma_{sat} = 19$) · arcilla 4–10 m (NC; $E_u = 10,\ e_0 = 1.0,\ C_c = 0.30,\ C_s = C_r = 0.06,\ \gamma_{sat} = 18$); nivel freático en la superficie**
Excavación	**excavación amplia (I_{exc} = 1), profundidad 2 m; cimentación en el fondo de la excavación**
Cimentación	**4 × 6 m, $q_{gross} = 150\ \mathrm{kPa}$; profundidad de cálculo 10 m**
Dovelas	**arena 2–4 m (H = 2 m), arcilla 4–10 m (z = 7 m, f = 3 m)**

SE PIDE

q_{net}, S_e; hinchamiento de la arcilla y S_c; asentamiento total (se conserva y se pone a cero).



Solución (1/3)

SOLUCIÓN

1 Presión neta: $q_{sub} = \sigma'_{v0}(2\text{ m}) = 9.19(2) = 18.38$ kPa

$$q_{net} = 150 - 18.38 = \mathbf{131.62}\ \text{kPa}$$

2 Asentamiento inmediato: arena (z′ 0–2 m) k = 0.003992; arcilla (z′ 2–8 m) k = 0.009872 ($k = q_{net}(1 - \nu^2)/E$)

$$\text{arena} : \Delta S_e = 0.003992(1.5131 - 0) = 6.0\ \text{mm}$$

$$\text{arcilla} : \Delta S_e = 0.009872(3.6370 - 1.0554) = 25.5\ \text{mm}$$

La excavación redujo la presión neta 150 → 131.6 kPa; asentamiento inmediato 30.7 → **31.5 mm** (se excavaron los 2 m superiores de la arena y la arcilla quedó menos cargada).

Solución (2/3)

SOLUCIÓN

3 Arcilla: trayectoria de tensiones (z′ = 5 m: I_z = 0.3204)

$$\sigma'_{exc} = 61.33 - 18.38 = 42.95\ \text{kPa} \qquad \Delta\sigma = 150(0.3204) = 48.05\ \text{kPa}$$

$$\text{levantamiento} = -0.06(3)\log\frac{61.33}{42.95} = -27.8\ \text{mm} \qquad \sigma'_{final} = 42.95 + 48.05 = 91.00\ \text{kPa}$$

4 Arcilla NC ($\sigma'_p = \sigma'_{v0}$): S_b recupera el hinchamiento, S_v es la compresión virgen

$$S_b = 0.06(3)\log\frac{61.33}{42.95} = 27.8\ \text{mm} \qquad S_v = 0.30(3)\log\frac{91.00}{61.33} = 154.2\ \text{mm}$$

$$S_c = S_b + S_v = \mathbf{182.1\ mm}$$

Solución (3/3)

SOLUCIÓN

	S_e (mm)	S_c (mm)	levantamiento (mm)	total (mm)
sin excavación (Ejemplo 3)	30.7	150.2	0	**181.0**
excavado, **se conserva** (del terreno original)	31.5	182.1	-27.8	**185.8**
excavado, **se anula** (desde el fondo levantado)	31.5	182.1	—	**213.6**

El asentamiento total medido desde el terreno original es de **185.8 mm** (S_e + S_c + levantamiento); medido desde el fondo levantado es de **213.6 mm**. La diferencia equivale al levantamiento (27.8 mm).

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

El asentamiento inmediato se produce enseguida; la consolidación, con el tiempo

TEORÍA

$$T_v = \frac{C_v\, t}{H_{dr}^2} \qquad U(T_v) = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T_v} \qquad M = \frac{\pi(2m+1)}{2}$$

$$S(t) = S_e + \sum_i U_i(t)\, S_{c,i} \;\; [+ S_{heave}] \qquad t = \frac{T_v\, H_{dr}^2}{C_v}$$

S_e existe **de inmediato** ($t = 0^+$); la consolidación avanza en cada estrato cohesivo con su propio C_v y H_{dr}: $H_{dr} = H$ (drenaje por una cara) o $H/2$ (drenaje por dos caras).

$T_{v,50} = 0.197$; $T_{v,90} = 0.848$; $T_v < 0.05$'te $U = 2\sqrt{(T_v/\pi)}$.

La curva es la suma de las curvas de los estratos; los valores t_{50} y t_{90} del sistema se leen de esta suma. En un perfil sin estratos cohesivos no hay curva de tiempo: todo el asentamiento es inmediato.

Con la opción «Conservado» la curva parte sin levantamiento y termina en la deformación neta.

ARENA + ARCILLA

La arena se asienta de inmediato; **la arcilla determina la forma de la curva de tiempo**.

Enunciado

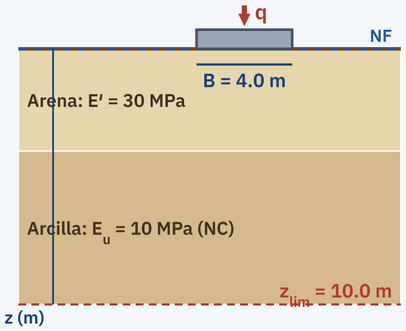
EJEMPLO

Datos

Perfil	**arena 0–4 m:** $E' = 30\ \text{MPa},\ \nu' = 0.30,\ \gamma_{sat} = 19$ · **arcilla 4–10 m (NC):** $E_u = 10\ \text{MPa},\ \nu = 0.5,\ e_0 = 1.0,\ C_c = 0.30,\ C_v = 2\ \text{m}^2/\text{año},\ \gamma_{sat} = 18$
Cimentación	**Rectángulo flexible de 4 × 6 m, $q = 150\ \text{kPa}$, en la superficie del terreno; nivel freático en superficie; profundidad de cálculo 10 m (base del perfil)**
Ejemplos anteriores	**S_e = 30.7 mm (Ejemplo 1); S_c = 150.2 mm (Ejemplo 2); sin excavación**
Drenaje	**la arcilla drena por arriba (arena) y por abajo (base rígida): drenaje doble, H = 6 m**
Tiempos	**t = 0.25; 0.5; 1; 2; 4; 8 años**

SE PIDE

H_{dr}, t_{50}, t_{90} y S(t); asentamiento en t = 0^+.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Longitud de drenaje y tiempos (C_v = 2 m²/año)

$$H_{dr} = \frac{H}{2} = 3\ \text{m} \qquad t_{50} = \frac{0.197(3^2)}{2} = \mathbf{0.89}\ \text{año} \qquad t_{90} = \frac{0.848(3^2)}{2} = \mathbf{3.82}\ \text{año}$$

2 Asentamiento inicial y final

$$S(0^+) = S_e = 30.7\ \text{mm} \qquad S(\infty) = S_e + S_c = 30.7 + 150.2 = \mathbf{181.0\ mm}$$

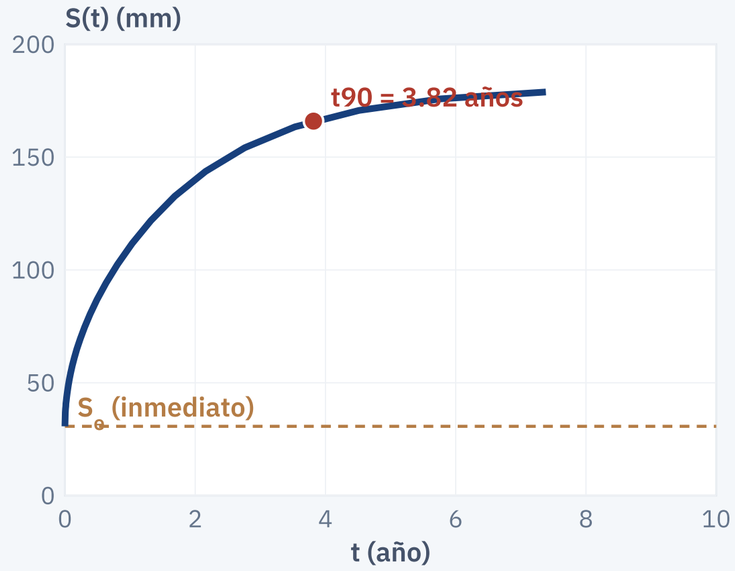
En cuanto se aplica la carga, el asentamiento es de 30.7 mm (el 17 % del total); el 90 % de la consolidación de la arcilla se completa en **3.82 años**.

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

t (año)	U	$S_c(t)$ (mm)	$S(t) = S_e + S_c(t)$ (mm)
0.25	0.266	40.0	**71**
0.50	0.376	56.5	**87**
1.00	0.531	79.8	**110**
2.00	0.729	109.6	**140**
4.00	0.910	136.7	**167**
8.00	0.990	148.7	**179**

El asentamiento total en 1 año es de 110 mm (el 61% del valor final) y de 167 mm en 4 años (92%). La curva parte del asentamiento inmediato y crece con la consolidación de la arcilla.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Perfil	**solo arcilla, 0–6 m (NC): $E_u = 10\ \mathrm{MPa}$, $e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $\gamma_{sat} = 18$; nivel freático en la superficie**
Cimentación	**4 × 6 m, $q = 150\ \mathrm{kPa}$, sin excavación; profundidad de cálculo 6 m (base del perfil)**
Comparación	**Módulos de asentamiento elástico (cohesivo) + consolidación**

SE PIDE

Comparar S_e, S_c y el total del módulo Asentamiento total con los resultados de los dos módulos de un único tipo.

Solución

SOLUCIÓN

Módulo	S_e (mm)	S_c (mm)	total (mm)
Asentamiento elástico: suelo cohesivo	35.3	—	—
Consolidación	—	591.6	—
suma de los dos módulos	35.3	591.6	**626.9**
Asentamiento total (2B)	35.3	591.6	**626.9**

El módulo Asentamiento total es **exactamente igual** a la suma de los dos módulos en un perfil de un solo tipo (626.9 mm). La suma en esquina es 601.5 mm ($S_{e,esq}$ = 9.9 + S_c), y la cimentación rígida, 624.4 mm.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Ejemplo 7 · Proyecto con el que se abre el módulo

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Perfil	**Terraplén arenoso 0–2 m (E = 12 MPa) · Arcilla-1 2–7 m (E_u = 8 MPa; C_c = 0.25; OCR = 1.6) · Arena 7–11 m (E = 35 MPa) · Arcilla-2 11–20 m (E_u = 15 MPa; C_c = 0.30; OCR = 1.3) · Arena con grava 20–30 m (E = 70 MPa)**
Cimentación, excavación	**10 × 15 m, q_{bruta} = 120 kPa; profundidad de excavación 2 m (planta de excavación = cimentación); nivel freático 2 m**
Profundidad de cálculo	**profundidad de influencia, p = 10%**
Resultado	**Proyecto de ejemplo del módulo Asentamiento total**

SE PIDE

S_e y S_c estrato por estrato, levantamiento; centro, esquina, total rígido; t_{50} y t_{90}.

Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Profundidad de excavación y de cálculo

$$q_{lift} = \sigma'_{v0}(2) = 18(2) = 36.0\ \text{kPa} \qquad q_{net} = 120 - 36.0 = \mathbf{84.0}\ \text{kPa}$$

$$z_{lim} = D_f + z' = 2 + 25.47 = \mathbf{27.47}\ \text{m}$$

El relleno (0–2 m) se retira con la excavación; el cálculo abarca cuatro estratos, de 2 m hasta z_{lim} = 27.5 m. El último estrato (arena con grava) queda cortado por z_{lim}; la contribución de los estratos profundos es pequeña.

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

Estrato	z (m)	S_e (mm)	S_c (mm)	levantamiento (mm)	total = S_e + S_c + hinchamiento (mm)
Arcilla-1 (CL, blanda)	2.0 – 7.0	20.8	198.4	-62.6	156.6
Arena (SM, medianamente densa)	7.0 – 11.0	5.6	—	—	5.6
Arcilla-2 (CH, dura)	11.0 – 20.0	14.1	27.0	-6.5	34.6
Arena con grava (densa)	20.0 – 27.5	1.2	—	—	1.2
Total (centro)		**41.7**	**225.4**	**-69.1**	**198.0**

Centro **198.0 mm** = S_e 41.7 + S_c 225.4 – hinchamiento 69.1 (se conserva); esquina 168.7 mm, rígida 195.1 mm. Tiempo: t_{50} = 0.72 años, t_{90} = 3.71 años. El módulo da los mismos valores.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Aspectos que conviene tener presentes al leer los resultados

TEORÍA

Nivel de cimentación = fondo de la excavación; presión uniforme en una cimentación totalmente flexible; la cimentación rígida, en la parte inmediata, ≈ 0.93 × el centro flexible.

Asentamiento inmediato: en cada estrato, tensiones del semiespacio homogéneo (con su propio v); estrato cohesivo sin drenaje (v = 0.5), estrato granular drenado; sin corrección por embebimiento ($I_f = 1$).

Consolidación: Terzaghi unidimensional; presión intersticial hidrostática, el nivel freático no resulta afectado por la excavación; σ'_p es la mayor tensión pasada y no disminuye con la excavación; el incremento de tensión se toma en la vertical bajo el centro.

Asentamiento positivo, levantamiento negativo; el selector de la cabecera invierte el signo (el motor sigue siendo el clásico).

Fuera del alcance: compresión secundaria, consolidación de estratos granulares, ábacos de Schmertmann y de SPT/CPT, módulo de elasticidad que crece con la profundidad dentro de un estrato (dividir el estrato), rigidez de la cimentación e interacción suelo–estructura, consolidación 2D/3D, elementos finitos, capacidad portante, licuefacción.

Resumen

Puntos clave

$S = S_e + S_c$: estrato cohesivo = asentamiento inmediato sin drenaje + consolidación; estrato granular = solo asentamiento elástico drenado

Asentamiento inmediato (Steinbrenner): $\Delta S_e = q_{net}\ \alpha\ B'\ (1 - \nu^2)/E \cdot [I_s(z_{inf}) - I_s(z_{sup})]$; $q_{net} = q_{bruta} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$

Konsolidasyon: gerilme yolu $\sigma'_{v0} \rightarrow \sigma'_{exc} \rightarrow \sigma'_{v0} \rightarrow \sigma'_{p} \rightarrow \sigma'_{son}$ (C_s, C_r, C_c); NC kilde $S_c = C_c\ f\ \log(\sigma'_{son}/\sigma'_{v0})$

Centro $S_e + S_c$; **esquina** $S_{e,esq} + S_c$; **rígida** $0.93\ S_e + S_c$; asentamiento diferencial = diferencia de las componentes inmediatas

Excavación: la parte inmediata con q_{net}, la arcilla mediante hinchamiento + recompresión; con «se conserva» $S = S_e + S_c + S_{hinch}$, con «se anula» $S_e + S_c$

Tiempo: $S(t) = S_e + \Sigma\ U_i(t)\ S_{c,i}$; $T_{v,50} = 0.197$, $T_{v,90} = 0.848$; $H_{dr} = H$ (simple) o $H/2$ (doble)

En un perfil de un solo tipo de suelo, el resultado **coincide exactamente** con el del módulo Asentamiento elástico o Consolidación

Referencias bibliográficas

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage.

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage — Cap. 10–11 (incremento de tensión, asentamiento por consolidación, evolución en el tiempo).

Steinbrenner, W. (1934). Tafeln zur Setzungsberechnung. Die Strasse, 1, 121–124.

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. Wiley.

Duncan, J.M. & Buchignani, A.L. (1976). An engineering manual for settlement studies. University of California, Berkeley.

Kulhawy, F.H. & Mayne, P.W. (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. EPRI EL-6800.

NOTA

Todos los ejemplos numéricos se han obtenido con el propio motor de cálculo del módulo y el módulo da los mismos valores (subestratos del ejemplo: dz = espesor del estrato).

GeoTerva

Cálculos geotécnicos en línea

De la teoría a la práctica

Construir en GeoTerva el propio perfil estratificado de arcilla y arena; el módulo proporciona conjuntamente el asentamiento y la curva de evolución en el tiempo.

Abrir el módulo →

Página de teoría →

Abrir en el teléfono
Los módulos de prueba no requieren registro.

Si desea utilizarlas en sus clases: info@geoterva.com