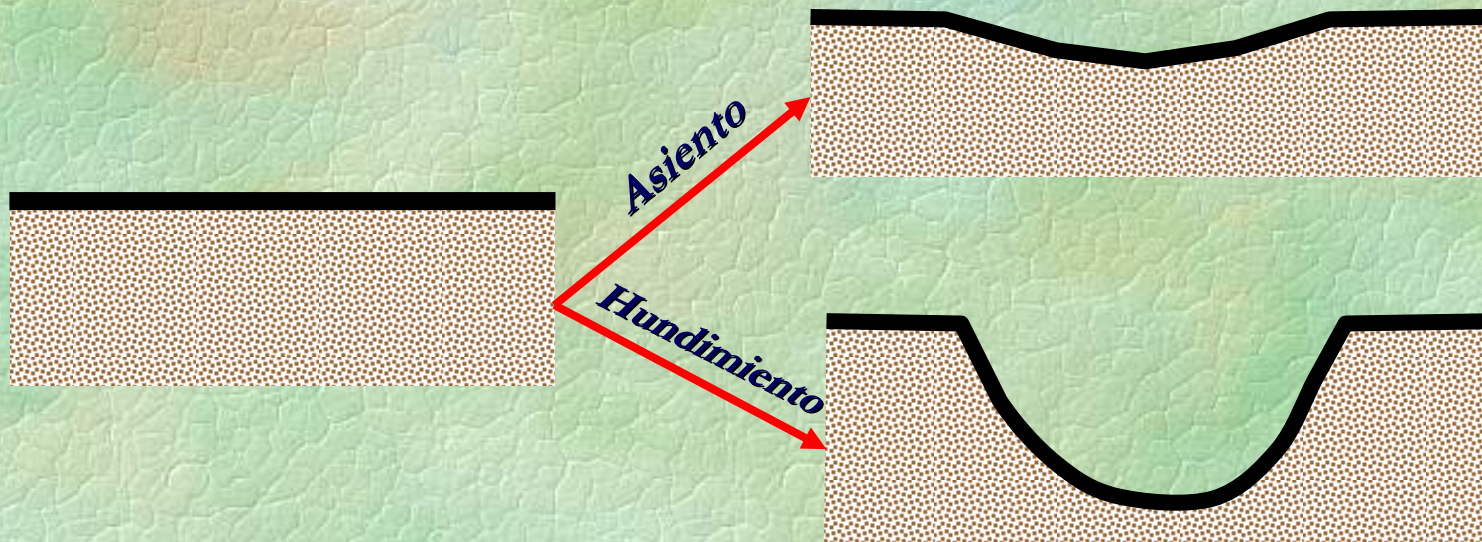


TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Introducción: asientos

- El objetivo de este tema es calcular las deformaciones producidas en el terreno como consecuencia de la aplicación de acciones exteriores.
- Estas deformaciones se denominan "asientos" o "asentamientos" ("settlement").
- No hay que confundir "asiento" del terreno con "hundimiento" del terreno. Éste conlleva el fallo o rotura del terreno y se estudia en el tema 7.

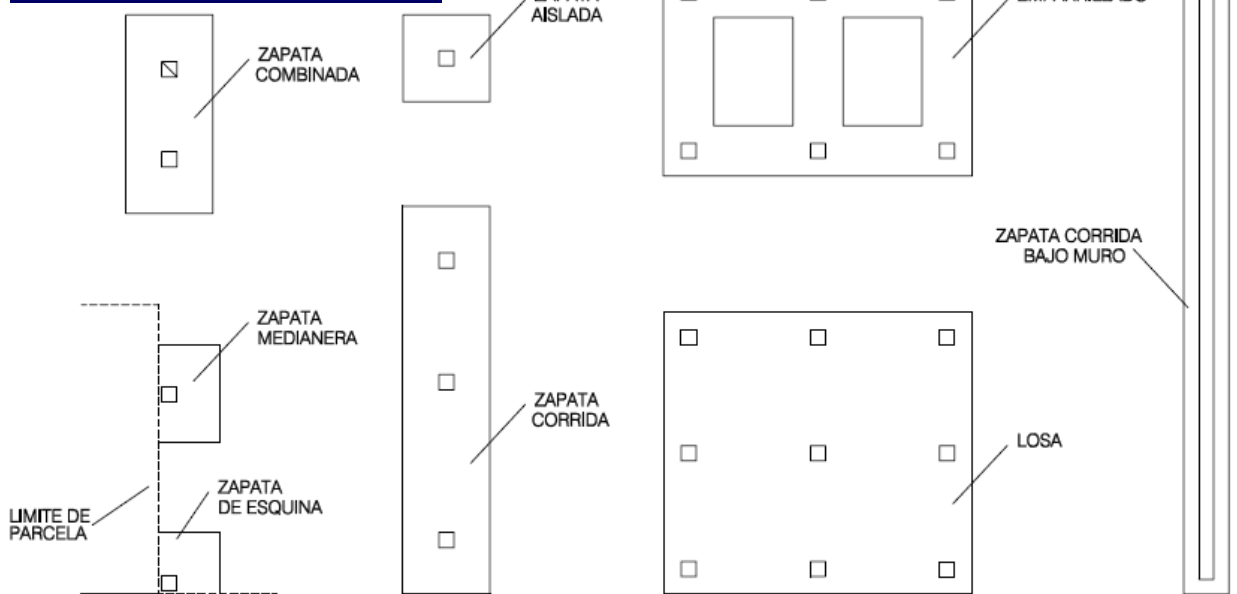


TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

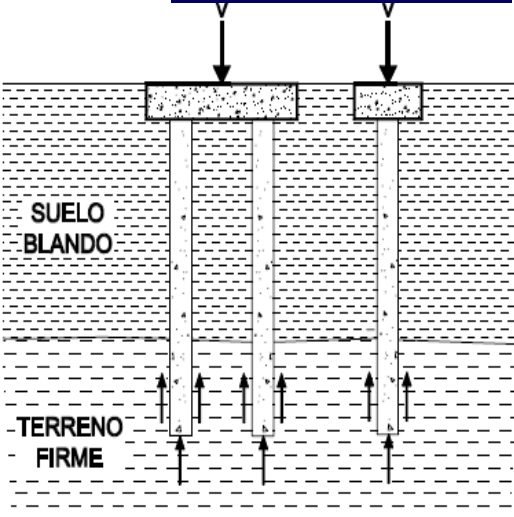
Introducción: asientos y cimentaciones

→ Es obligatorio verificar los asientos en el proyecto de cimentaciones de puentes, muros de contención, edificaciones, etc.

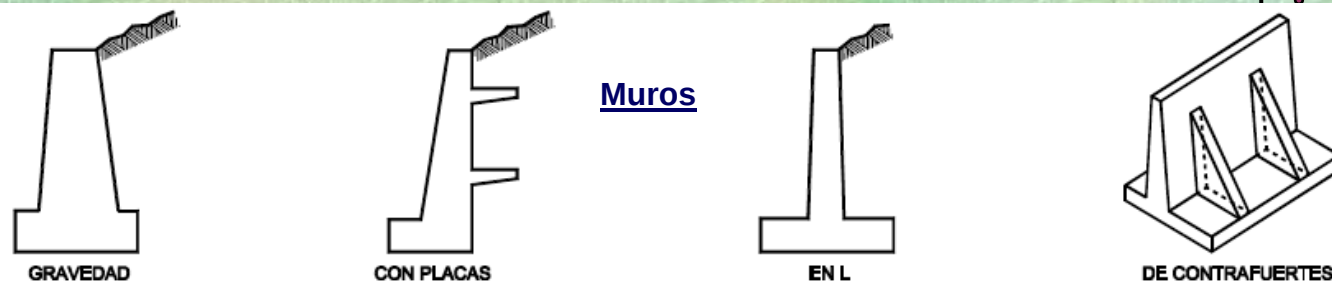
Cimentaciones superficiales



Cimentación profunda



Muros

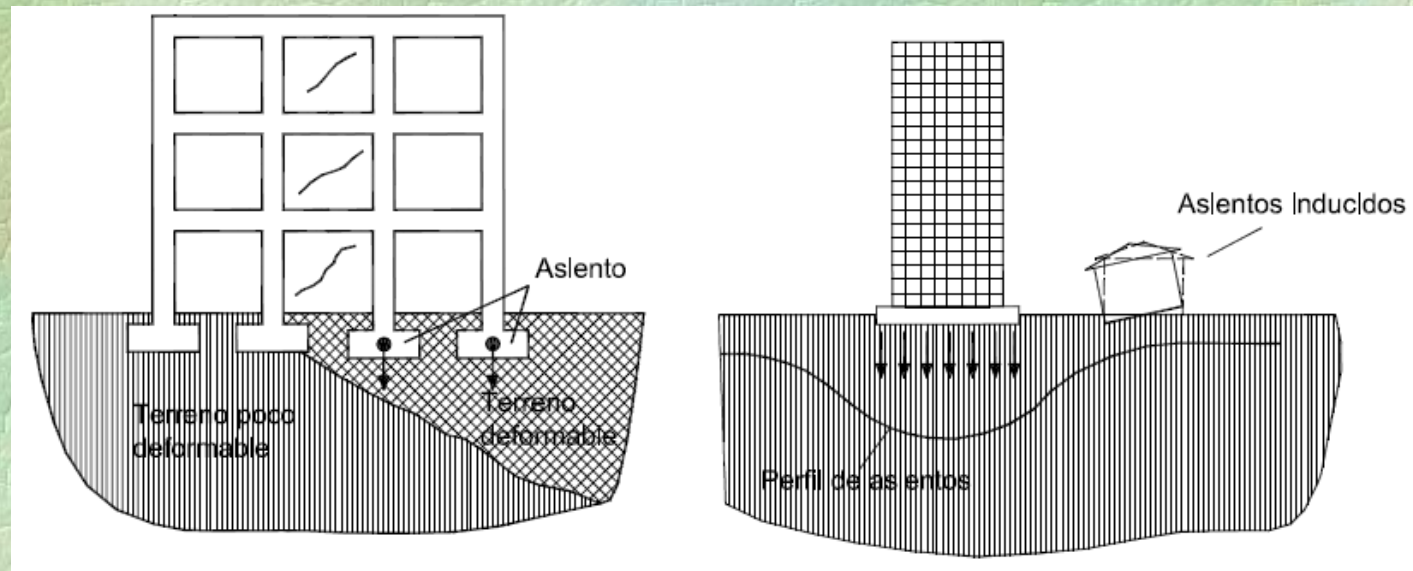


Imágenes extraídas del CTE. DB-SE-Cimientos

TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Importancia de los asientos

- Constituyen un Estado Límite de Servicio (E.L.S.)
- ♦ Pueden inducir esfuerzos y deformaciones anormales en la estructura, aunque no lleguen a romperla afectando al confort de los usuarios y al funcionamiento de equipos e instalaciones.



Ejemplos de E.L.S. Imágenes extraídas del CTE. DB-SE-Cimientos.

- Las situaciones de Estado Límite Ultimo (E.L.U.) conducen al colapso de la construcción.

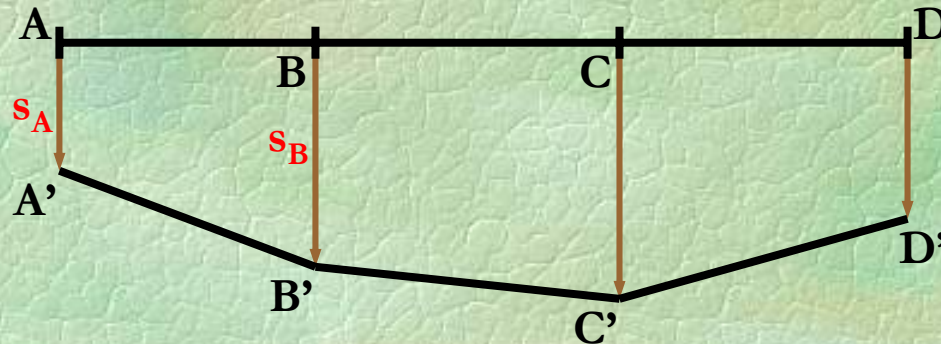


TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Límites en los movimientos (I)

→ Asiento (s).

- ♦ Máximo recomendado en cimentaciones para obras de carretera:
 - Zapatas aisladas: 25 mm. Losas: 50 mm.
- ♦ Máximo recomendado (edificación): 50 mm (general). Excepciones:
 - ① Obras de carácter monumental: 12 mm / 25 mm (G-S-M/C).
 - ② Edificios H.A. gran rigidez: 35 mm / 50 mm (G-S-M/C).
- ♦ Asiento máximo en rellenos:
 - Vías con $IMD > 500$: 20 cm. Vías con $IMD < 500$: 30 cm.



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

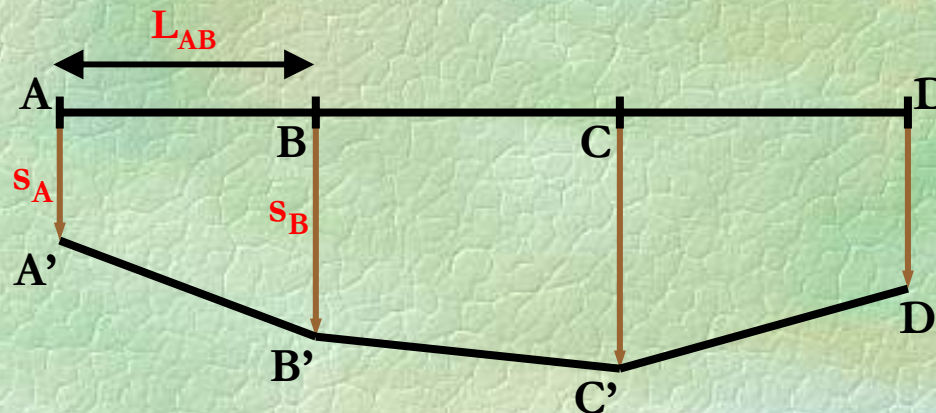
Límites en los movimientos (II)

- Asiento diferencial ($\delta s_{AB} = s_B - s_A$).
 - ♦ No debería ser superior a 12'5 mm (edificación).
- Distorsión angular ($\beta_{AB} = \delta s_{AB}/L_{AB}$).

Tabla 2.2. Valores límite basados en la distorsión angular

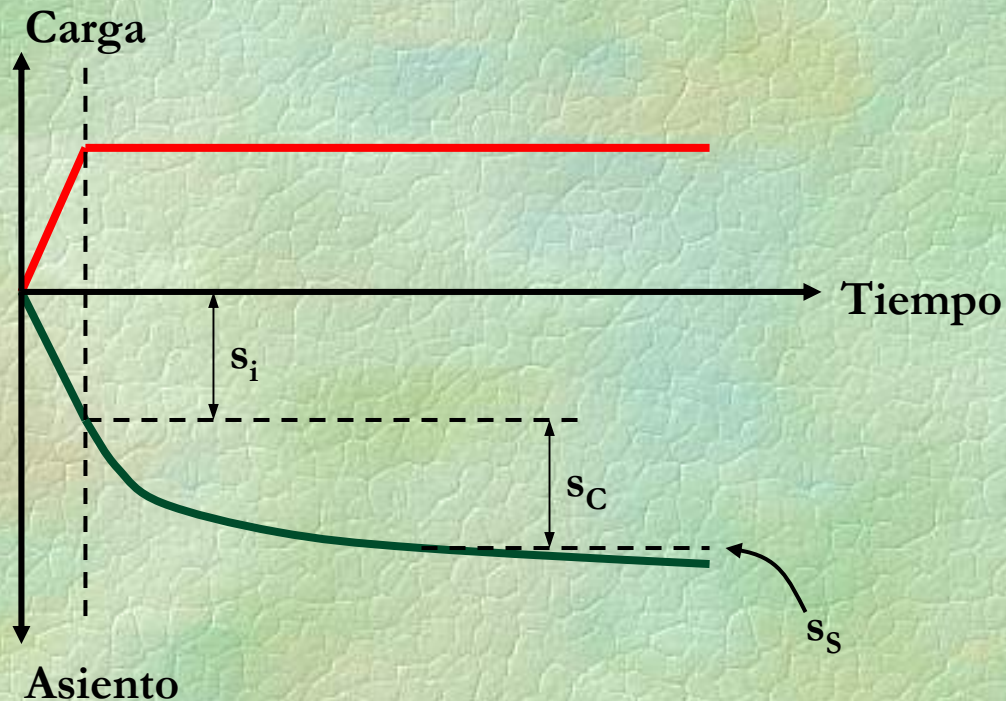
Tipo de estructura	Límite
Estructuras isostáticas y muros de contención	1/300
Estructuras reticuladas con tabiquería de separación	1/500
Estructuras de paneles prefabricados	1/700
Muros de carga sin armar con flexión cóncava hacia arriba	1/1000
Muros de carga sin armar con flexión cóncava hacia abajo	1/2000

DB-SE-Cimientos



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Componentes del asiento



$$S = s_i + s_c + s_s$$

Asiento instantáneo (points to s_i)

Asiento de consolidación primaria (points to s_c)

Asiento de compresión secundaria (points to s_s)

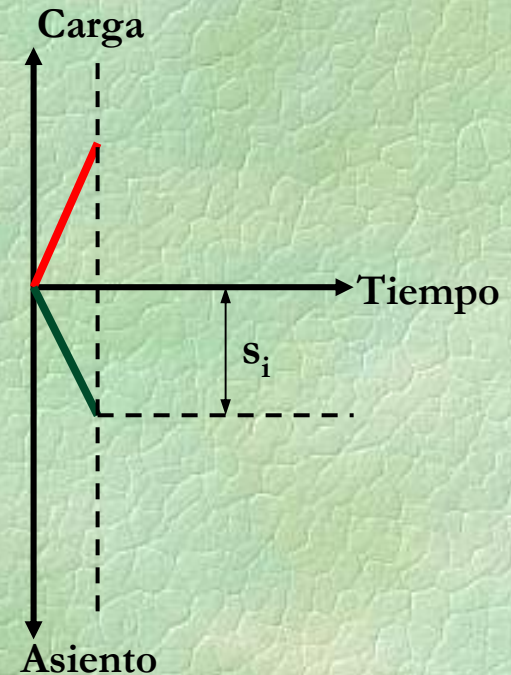
Asiento diferido (points to the sum of s_c and s_s)



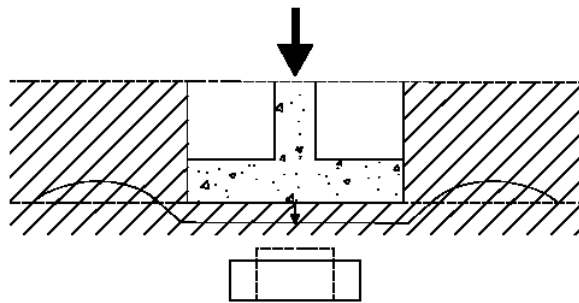
TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Asiento instantáneo (s_i)

- Se produce de manera inmediata o simultánea con la aplicación de la carga.
- En suelos granulares de permeabilidad alta (G y S) constituye la práctica totalidad del asiento.
- En suelos de permeabilidad baja (M y C) saturados, en los momentos iniciales apenas se produce drenaje alguno, por lo que este asiento inicial corresponde a una distorsión sin cambio de volumen.



Asiento instantáneo (sin drenaje)
(distorsión sin cambio de volumen)



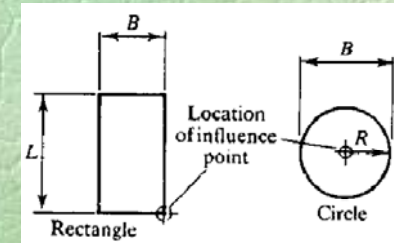
Tipo de suelo	s_i / s
Arena	70 – 90 %
Arcillas rígidas	40 – 60 %
Arcillas blandas	10 – 25 %

Valores típicos del asiento instantáneo

TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Cálculo del asiento instantáneo en suelos granulares de permeabilidad alta (I)

- El método establecido por el DB-SE-C es el debido a Burland y Burbidge, válido para suelos granulares con una proporción en peso de partículas de más de 2 cm inferior al 30 %.
- Está basado en un análisis realizado sobre 200 casos reales.
- Es claramente dependiente del ensayo SPT.



$$s_i = f_i \cdot f_s \cdot q'_b \cdot B^{0.7} \cdot I_C$$

Asiento medio (mm)

Anchura de la zapata (m)

$$f_s = \left(\frac{1.25 \cdot \frac{L}{B}}{\frac{L}{B} + 0.25} \right)^2$$

Factor de forma

Presión efectiva bruta

$$q'_b = q_b - u$$

(kN/m²)

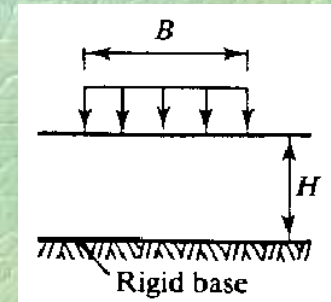
- Cimentaciones rígidas: toda ella se asienta lo mismo.
- Cimentaciones flexibles: se asienta más el centro y menos los extremos.



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Cálculo del asiento instantáneo en suelos granulares de permeabilidad alta (II)

$$s_i = f_i \cdot f_s \cdot q'_b \cdot B^{0.7} \cdot I_C$$



→ f_i es un factor de corrección que permite considerar la existencia de una capa rígida por debajo de la zapata a profundidad $H < Z_i$, donde Z_i es la profundidad de influencia bajo la zapata, dentro de la cual se produce el 75 % del asiento.

$$Z_i = B^{0.75}$$

$$f_i = \frac{H}{Z_i} \cdot \left(2 - \frac{H}{Z_i} \right)$$

→ I_C es el *índice de compresibilidad*.

$$I_C = \frac{1.71}{N_{med}^{1.4}}$$

→ N_{med} es el número medio de golpes del ensayo SPT en la zona de influencia Z_i .

→ Cuando el terreno se encuentra consolidado o cuando la cimentación se sitúa en el fondo de una excavación a cuya profundidad la máxima tensión efectiva vertical haya sido σ'_{v0} , el valor de q'_b a introducir será:

$$\left(q'_b - \frac{2}{3} \cdot \sigma'_{v0} \right) \quad \text{cuando } \sigma'_{v0} < q'_b \quad \left(\frac{q'_b}{3} \right) \quad \text{cuando } \sigma'_{v0} \geq q'_b$$



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Cálculo del asiento instantáneo en suelos granulares de permeabilidad alta (III)

$$s_i = f_i \cdot f_s \cdot q'_b \cdot B^{0.7} \cdot I_C$$

- El método no se considera aplicable para valores de $N < 7$.
- En el caso de que el terreno esté compuesto por arenas finas y arenas limosas bajo el N.F., se puede emplear la corrección de Terzaghi para $N > 15$:

$$N(\text{corregido}) = 15 + 0.5 \cdot [N(\text{medido}) - 15]$$

☎ En suelos granulares con una proporción en peso de partículas de más de 2 cm superior al 30 % los resultados del ensayo SPT pueden estar sujetos a incertidumbres, por lo que se recomienda utilizar la teoría de la Elasticidad.

Cálculo del asiento total (s) en suelos granulares de permeabilidad alta

- Se permanece del lado de la seguridad si se calcula como:

$$s = 1.5 \cdot s_i$$



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Cálculo del asiento instantáneo en suelos de permeabilidad baja (I)

→ Se emplea la teoría de la elasticidad lineal, por lo que es válido para cargas que no producen la plastificación del suelo.

Expresión general:

$$s_i = C_s \cdot q \cdot B \cdot \left(\frac{1 - \nu^2}{E_u} \right)$$

→ C_s es un factor que depende de la forma y dimensiones de la cimentación. Se encuentra tabulado.

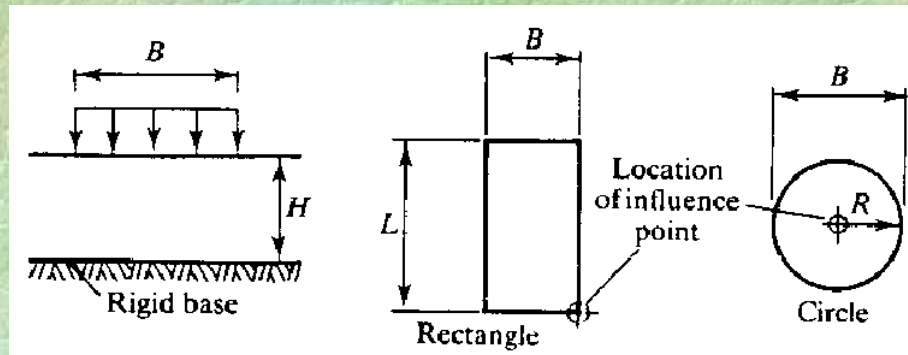
→ q es la carga repartida uniforme aplicada.

Cimentación rígida:

Toda ella se asienta lo mismo.

Cimentación flexible:

Se asienta más el centro y menos los extremos.



Dimensiones características B y H

TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Cálculo del asiento instantáneo en suelos de permeabilidad baja (II)

TABLE 5.3 SHAPE AND RIGIDITY FACTORS, C_s , FOR CALCULATING SETTLEMENTS OF POINTS ON LOADED AREAS AT THE SURFACE OF AN ELASTIC HALFSPACE*.

a. Infinite Depth				
Shape and Rigidity	Center	Corner	Edge / Middle of Long Side	Average
Circle (flexible)	1.00		0.64	0.85
Circle (rigid)	0.79		0.79	0.79
Square (flexible)	1.12	0.56	0.76	0.95
Square (rigid)	0.82	0.82	0.82	0.82
Rectangle: (flexible) length / width				
2	1.53	0.76	1.12	1.30
5	2.10	1.05	1.68	1.82
10	2.56	1.28	2.10	2.24
Rectangle: (rigid) length / width				
2	1.12	1.12	1.12	1.12
5	1.6	1.6	1.6	1.6
10	2.0	2.0	2.0	2.0

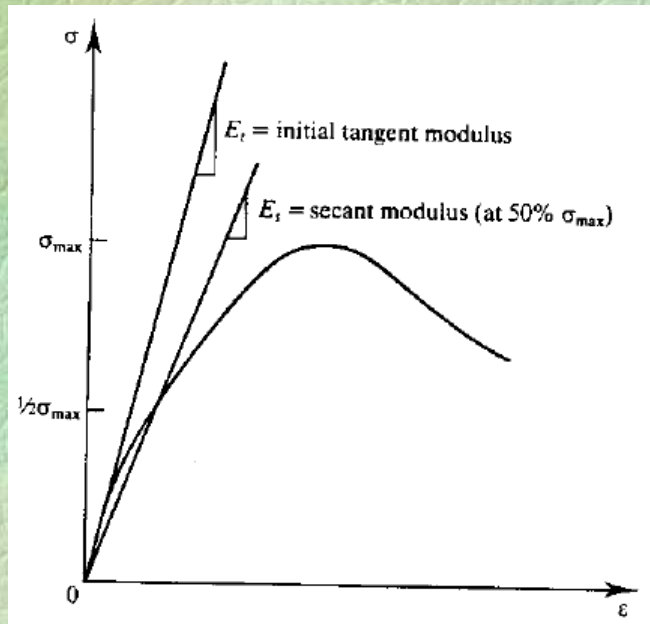
b. Limited Depth Over a Rigid Base						
H/B	Center of Rigid Circular Area Diameter = B	Corner of Flexible Rectangular Area				
		L/B = 1	L/B = 2	L/B = 5	L/B = 10	L/B = ∞ (strip)
		$\nu = 0.50$				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.14	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
1.0	0.35	0.15	0.12	0.10	0.10	0.10
1.5	0.48	0.23	0.22	0.18	0.18	0.18
2.0	0.54	0.29	0.29	0.27	0.26	0.26
3.0	0.62	0.36	0.40	0.39	0.38	0.37
5.0	0.69	0.44	0.52	0.55	0.54	0.52
10.0	0.74	0.48	0.64	0.76	0.77	0.73

TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Cálculo del asiento instantáneo en suelos de permeabilidad baja (III)

➔ Determinación de los parámetros elásticos.

- ➊ Coeficiente de Poisson (ν): habitualmente se asume $\nu = 0.5$.
- ➋ Módulo de elasticidad sin drenaje (E_u): Se puede obtener mediante ensayos geotécnicos in situ como el presiométrico.
- ➌ E_u también se puede obtener mediante ensayos de laboratorio (triaxial). **¡DOWN!**



Obtención de E_u en laboratorio

Consistencia	E_u (MPa)
Blanda	2.5 - 15
Media a firme	15 - 50
Muy firme a dura	50 - 200

Rango de valores típicos de E_u



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

Asiento diferido ($s_c + s_s$)

Asiento
instantáneo

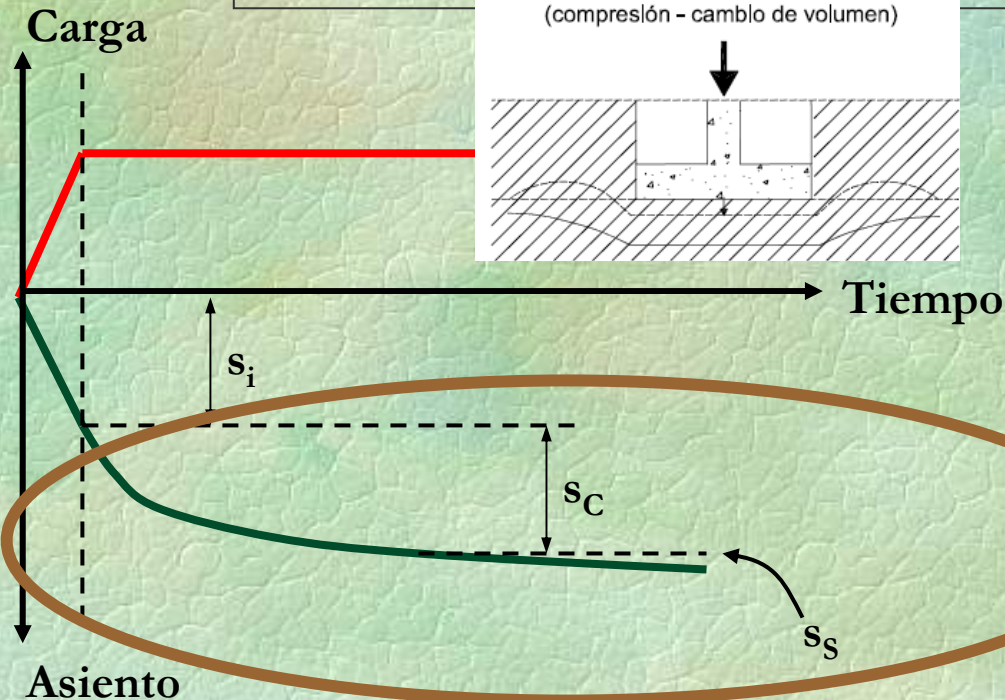
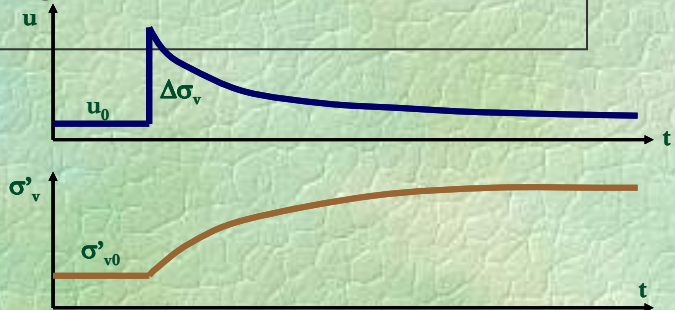
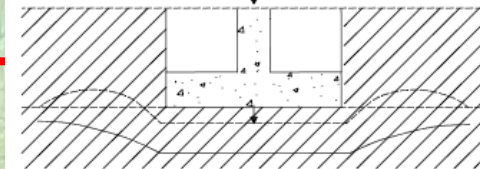
$$S = s_i + s_c + s_s$$

CTE. DB-SE-Cimientos

Asiento de compresión secundaria: Se produce en algunos suelos que presentan una cierta fluencia (deformación a presión efectiva constante).

Asiento de consolidación primaria: Se desarrolla a medida que se disipan los excesos de presión intersticial generados por la carga y se eleva la presión efectiva media del terreno, lo que permite la reducción progresiva del volumen de huecos del suelo.

Asiento de consolidación
(compresión - cambio de volumen)



Su cálculo sólo se realiza en suelos de permeabilidad baja (M y C)

Requiere un estudio especial, más allá de este curso

U.P.V.

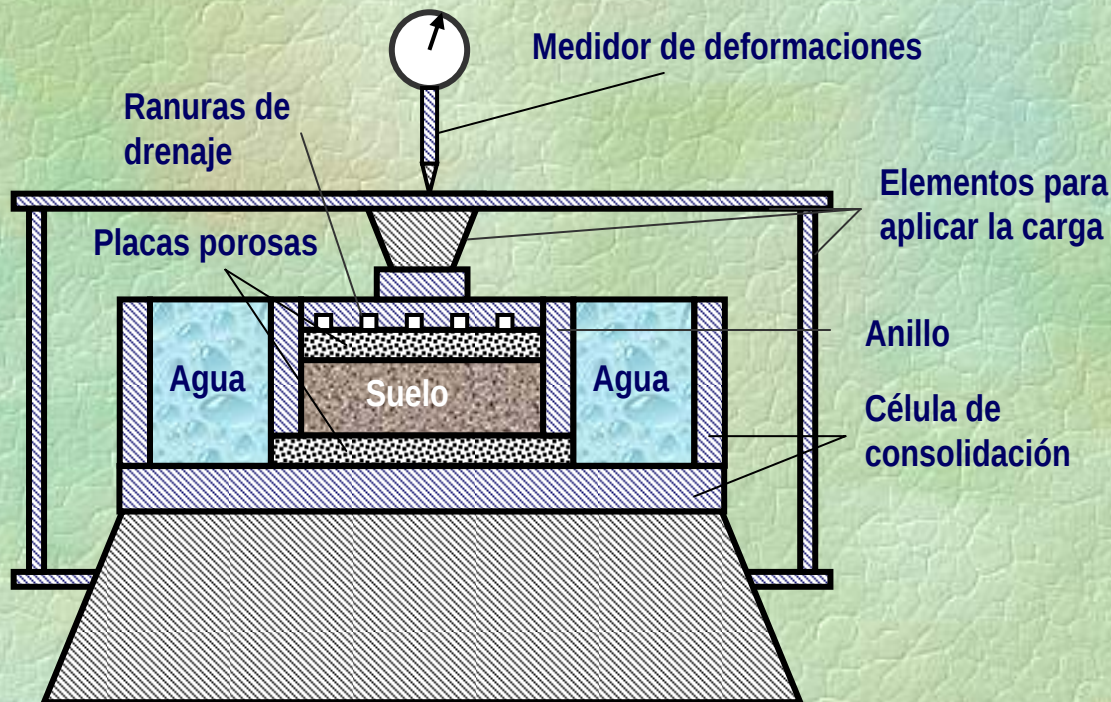
E.H.U.

TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

El ensayo edométrico (I) – UNE 103405:1994 y ASTM D2435-04.

- Se emplea para calcular el asiento diferido en suelos de permeabilidad baja.
- Se obtienen curvas de consolidación, y de ellas c_v .
- Y la *curva edométrica* ($e - \log \sigma'$). **¡IMPORTANTE!**

Esquema de un edómetro



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

El ensayo edométrico (II). Procedimiento (I).

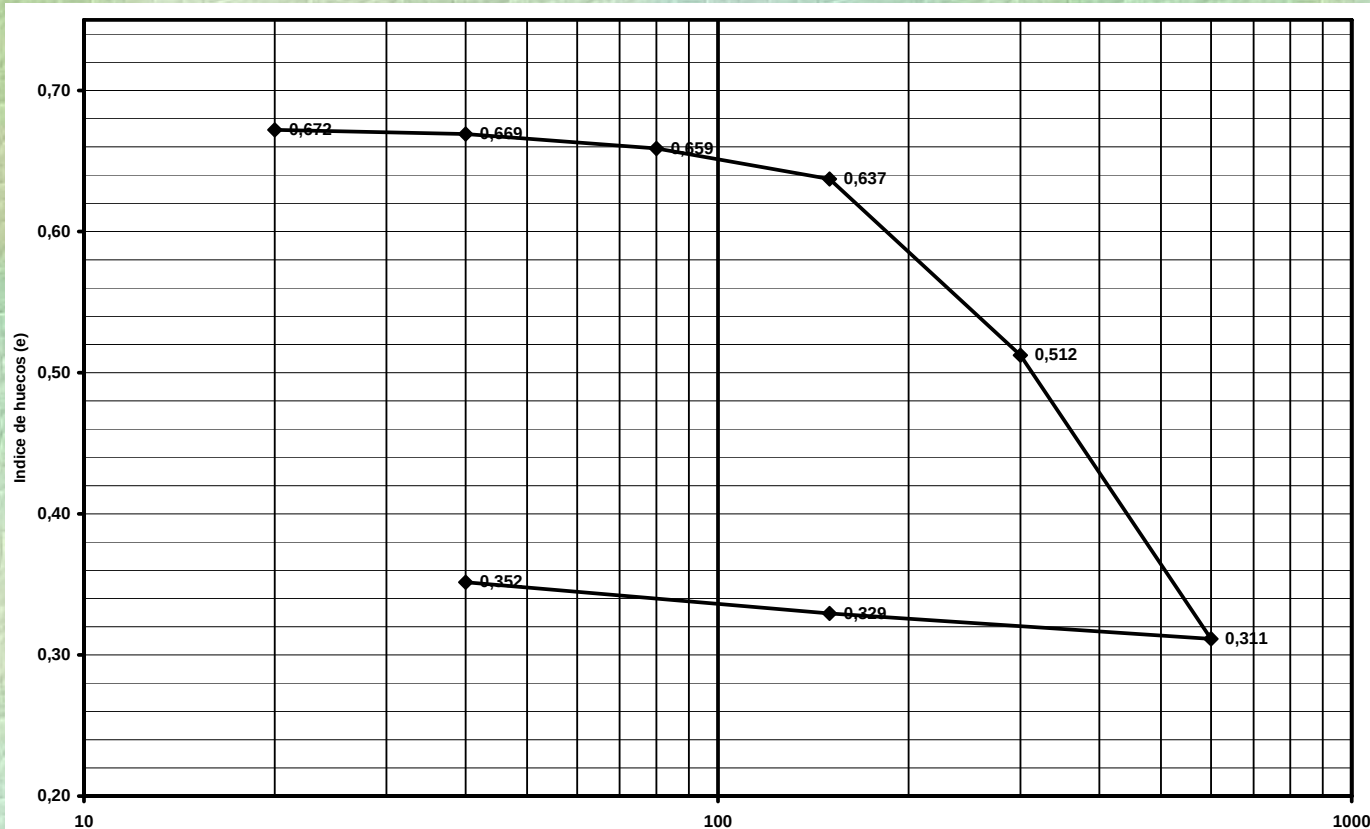
- Carga en diferentes escalones: 5, 10, 20, 40, 80, 150, 300, 600, 1.000, 1.500 kPa.
- Al menos 6 escalones consecutivos, cada uno mantenido 24 horas.
- Se toman medidas del reloj comparador (asiento de la muestra) en tiempos:
10, 15, 30, 45 s, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 45 min., 1, 2, 3, 5, 7, 24 horas, ...
- Se representa la evolución del asiento en el tiempo para cada escalón de carga, lo que se denomina *curva de consolidación*.



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

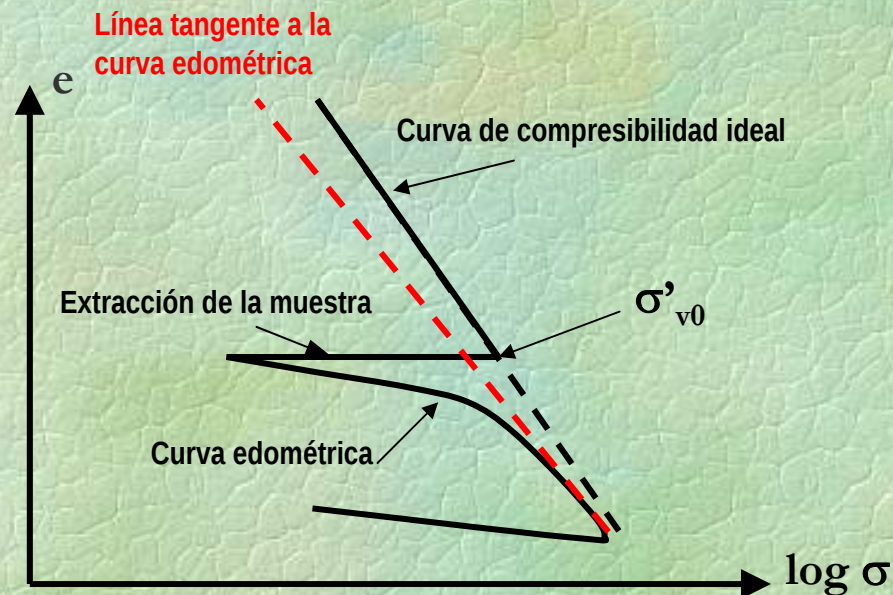
El ensayo edométrico (III). Procedimiento (II).

- Tras finalizar el proceso de carga comienza el de descarga. Mínimo dos escalones, mantenidos cada uno 24 horas. Unicamente se toma la lectura final.
- La representación del índice de huecos de la muestra al final de cada escalón frente a la carga aplicada da lugar a la *curva edométrica*.



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

El ensayo edométrico (IV). Tipos de arcillas según su comportamiento mecánico (I).



Arcilla normalmente consolidada

σ'_{v0} : tensión efectiva inicial



TEMA 5. DETERMINACION DE ASIENTOS.

El ensayo edométrico (V). Tipos de arcillas según su comportamiento mecánico (II).

σ'_{v0} : tensión efectiva inicial

σ'_p : presión de preconsolidación
(100 – 200 kN/m²)

→ Se puede definir como la máxima tensión que ha soportado el estrato de arcilla a lo largo de su vida geológica.

$$R_{OC} = OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_0}$$

→ Razón de sobreconsolidación (Overconsolidation Ratio)

→ $R_{OC} > 3'5 \Rightarrow$ Suelo muy consolidado

