
Guía de Trabajos Prácticos Módulo 3 - 2ºc 2021

1 Aplicaciones de la teoría matemática de la elasticidad a problemas de geotecnia

1.1 Para una muestra de suelos sometida a un ensayo en compresión isotrópica ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$) se registró un cambio de deformación volumétrica específica $\epsilon_v = 1.2\%$ asociado a una presión de confinamiento $\sigma_3 = 0.70 \text{ MPa}$. El valor del módulo elástico K es:

- Aprox. $K \sim 29.2 \text{ MPa}$
- Aprox. $K \sim 58.3 \text{ MPa}$
- Aprox. $K \sim 116.6 \text{ MPa}$
- Aprox. $K \sim 175 \text{ MPa}$

1.2 Se construirá un terraplén ferroviario sobre un terreno arcilloso y se desea calcular el asentamiento máximo en el eje del terraplén.

Las características del terraplén son:

- ancho: 3.0m;
- espesor: 4.0m;
- peso unitario húmedo: $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$

La estratigrafía del sitio está compuesta por un manto de 20m de espesor, de arcillas de alta plasticidad ligeramente preconsolidadas que descansa sobre roca. El nivel freático está ubicado 1.0m por debajo del NTN.

Las características mecánicas del manto de arcillas son:

- humedad natural: $w = 65\%$;
- rigidez edométrica: $C_c = 0.52, C_r = 0.1$;
- relación de sobreconsolidación. $OCR = 1.15$

Asumiendo que el terreno se comporta como un medio elástico semi-infinito e isotrópico puede determinarse el incremento de tensiones verticales debajo de una carga uniforme de ancho B y longitud infinita como:

$$\Delta\sigma_z = q I_z$$

$$I_z = \frac{2}{\pi} \left(\frac{2n}{1+4n^2} + \text{ArcTan} \left(\frac{1}{2n} \right) \right)$$

donde $n = z/B$ es la relación entre la profundidad a la que se desea conocer el incremento de tensión vertical y el ancho B de la carga.

Metodología de resolución:

- asuma que el comportamiento del terreno natural en la línea del eje terraplén es edométrico;
- grafique el incremento de tensión vertical efectiva en profundidad;
- determine la profundidad a partir de la cual el incremento de tensión vertical es menor al 5% del valor de q . Adopte esa profundidad como espesor máximo de suelo que se comprime;

Una vez concluido el ejercicio:

- compare la distribución del incremento de presiones verticales con la que surge de considerar que la carga se distribuye con una relación de 2V:1H en profundidad;
- repita el ejercicio para un terraplén de 6.0m de ancho y compare resultados.

1.3 Debe calcularse el asentamiento de una base circular superficial que descansa sobre un estrato de arenas.

Las características de la fundación son:

- diámetro: 3.0m;
- profundidad enterrada: 0.75m;
- carga uniforme: 300 kPa.

El manto de arenas tiene un espesor de 25m y descansa sobre un horizonte de roca. La arena tiene un coeficiente de Poisson $\nu = 0.3$ y un módulo de elasticidad E_s que varía con la profundidad de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E_s = 50 \text{ MPa} + 10 \frac{\text{MPa}}{\text{m}} \cdot z$$

Metodología de resolución:

- utilice el método de Schmertmann para bases circulares;
- compare los resultados con los que se obtienen asumiendo comportamiento edométrico de la arena en el eje de la fundación y utilizando la distribución de presiones verticales para un medio elástico semi-infinito e isotrópico:

$$\Delta\sigma_v = q I_z$$

$$I_z = 1 - (1 + n^{-2})^{-3/2}$$

donde $n = z/B$ es la relación entre el diámetro de la base y la profundidad a la cual desea calcularse el incremento de presión vertical.

- 1.4 (OPCIONAL) A partir de la fórmula de Boussinesq para calcular el incremento de tensiones verticales debido a la acción de una carga puntual en superficie $\Delta\sigma_z = 3 P z^3 / (2 \pi R^5)$, determine:
- la fórmula para calcular el incremento de tensiones verticales debajo del terraplén presentada en el 1.2;

2 Aplicaciones de la teoría matemática de la plasticidad

2.1 Para que exista deformación plástica en un material sometido a una tensión σ se debe cumplir que:

- $F = 0$ y $\sigma_{fl} = \text{aumenta}$
- $F = 0$ y $\sigma_{fl} = \text{constante}$
- $F > 0$ y $\sigma_{fl} = \text{aumenta}$
- $F < 0$ y $\sigma_{fl} = \text{constante}$

2.2 Para una barra de acero cuyo valor de módulo de Young es E , la tensión de fluencia β_R y la deformación específica ϵ_1 , la función de fluencia asociada es:

- $F = E \cdot \epsilon_1 - \beta_R = 0$
- $F = 2E \cdot \epsilon_1 - \beta_R = 0$
- $F = E \cdot \epsilon_1 / \beta_R = 0$
- $F = E \cdot \epsilon_1 - 2\beta_R = 0$

2.3 En un material idealizado como elasto-plástico perfecto sometido a compresión triaxial se sabe que $E = 70 \text{ MPa}$, $\sigma_{fl} = 500 \text{ kPa}$. Determine los valores ϵ^e y ϵ^p cuando se somete al material a una deformación $\epsilon = 2.5\%$

3 Empuje de suelos (muros de contención, tablestacas y muros colados)

3.1 En un terreno con las siguientes propiedades $\gamma=16\text{kN/m}^3$, $\phi'=30^\circ$, $c'=10\text{kPa}$, $OCR=1.0$, $E=50\text{MPa}$, $\nu=0.3$. Determine la relación existente entre la tensión principal horizontal y vertical para:

- la condición de terreno en estado de reposo.
- la condición de terreno en estado activo de empuje.
- la condición de terreno en estado pasivo de empuje.

3.2 Para el punto A situado a 3m profundidad en el perfil geotécnico de la figura determine: i) las tensiones principales in situ en términos de presiones efectivas, ii) el valor de σ'_3 para el cual se alcanzaría un estado activo de empuje.

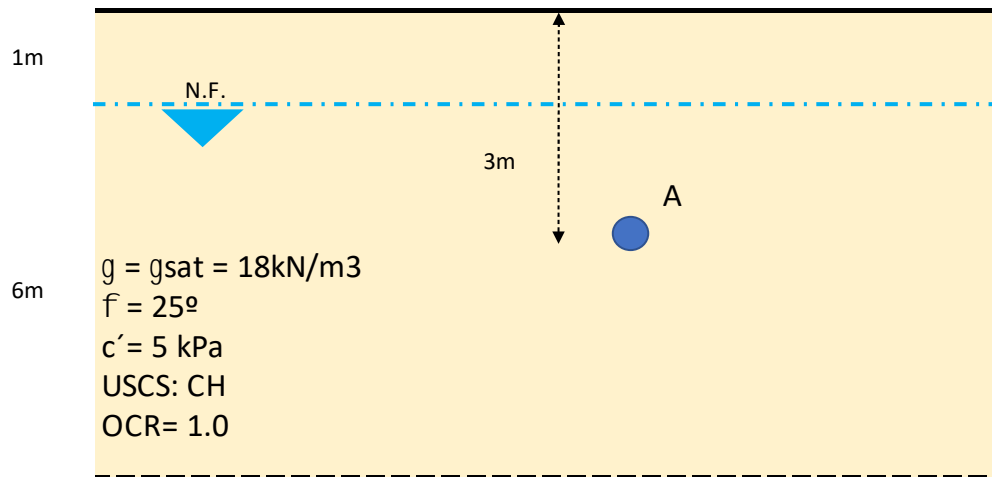


Figura 3-1. Perfil estratigráfico. Ejercicio 3.2.

3.3 Determine el empuje activo sobre un muro con las siguientes características:

- dimensiones: cota coronamiento: +5.0m,
cota nivel de fundación: -1.0m,
ancho: 3.5m;
- terreno horizontal delante y detrás de la contención;
- sobrecarga uniforme de 15kPa en superficie;
- pared del muro vertical, sin rugosidad ($\delta = 0^\circ$).

Los parámetros geotécnicos para considerar son:

- material: arena limpia;
- ángulo de fricción: $\phi' = 32^\circ$;
- peso unitario: $\gamma = 20.0\text{ kN/m}^3$.

Metodología de resolución:

- resuelva calculando mediante el método de Rankine;
- resuelva mediante el método de Coulomb.

3.4 Repita el ejercicio 4.3 considerando que se tiene un nivel de agua uniforme a 2.0m por debajo del coronamiento del muro.

3.5 Resuelva el ejercicio 4.3 utilizando el método de Coulomb, considerando una fricción relativa entre el muro y el suelo de $\delta = 2/3 \phi'$.

Halle la fórmula del K_A equivalente, que le permita resolver el ejercicio utilizando las fórmulas de empuje activo de Rankine.

3.6 Calcule el empuje pasivo para el ejercicio 4.3, considerando una fricción suelo-muro de $\delta = 2/3 \phi'$, utilizando:

- teoría de Rankine;

- teoría de Coulomb;

Indique cuál de los resultados utilizaría para realizar un cálculo seguro.

Compare los resultados con los que obtienen utilizando el coeficiente de empuje propuesto en el Eurocodigo 7 (Powrie – Soil Mechanics Concepts and Applications):

$$K_p = \frac{1 + \sin(\phi) \cos(\Delta + \delta)}{1 - \sin(\phi)} e^{(\Delta + \delta) \tan(\phi)}$$

$$\Delta = \frac{\sin(\delta)}{\sin(\phi)}$$

Si sabe que este método surge de la utilización del teorema estático, indique como realizar un cálculo seguro.

- 3.7 Calcule los factores de seguridad al deslizamiento y al volcamiento del muro indicado en el ejercicio 4.3, con las consideraciones de los ejercicios 4.5 y 4.6.
- 3.8 Repita el ejercicio 4.3 para los siguientes parámetros geotécnicos:
- material: arcilla normalmente consolidada;
 - resistencia al corte no drenada, $s_u = 20 \text{ kPa}$;
 - peso unitario: $\gamma = 17.0 \text{ kN/m}^3$.
- 3.9 Calcule los factores de seguridad al deslizamiento y al volcamiento del muro del ejercicio 8.
- 3.10 Repita el ejercicio 3.3 para la estratigrafía que se ilustra en la Figura 3-, con los parámetros que se indican en la Tabla 3-1.

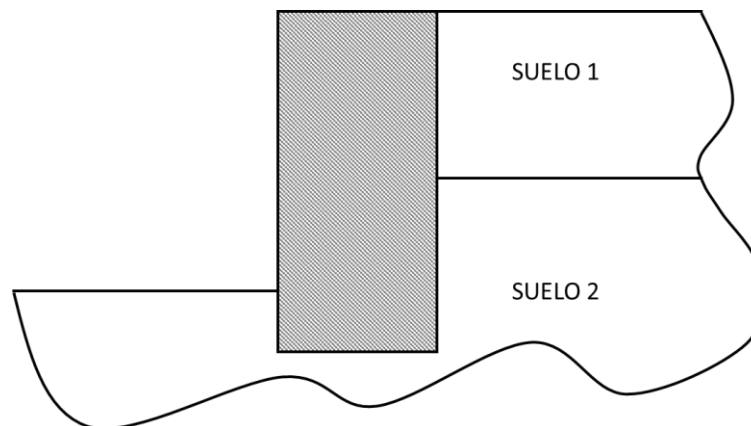


Figura 3-2. Perfil estratigráfico. Ejercicio 3.30.

Tabla 3-1. Parámetros geotécnicos. Ejercicio 3.30.

Descripción	Espesor [m]	Ángulo de fricción ϕ' [grados]	Cohesión efectiva c' [kPa]	Peso unitario γ [kN/m ³]
Suelo 1 (arena limpia)	2.0	33.0	0.0	19.0
Suelo 2 (limo cementado)	-	32.0	25.0	18.0

Metodología de resolución:

- resuelva por el método de Rankine;
- resuelva por el método de Coulomb (considere un mecanismo de falla compuesto por rectas de inclinación constantes dentro de cada estrato)

- 3.11 Determine el mínimo valor de densidad relativa del relleno granular que se colocará detrás del muro de manera tal de garantizar un factor de seguridad frente al deslizamiento $FoS=2.20$. Sobre el relleno granular se sabe que: $\gamma \sim 21 \text{ kN/m}^3$ y $\phi^{(e)} \sim 34^\circ + 0.13(D_r - 50)$, $E_s = 50 \text{ MPa}$, $\nu = 0.3$.

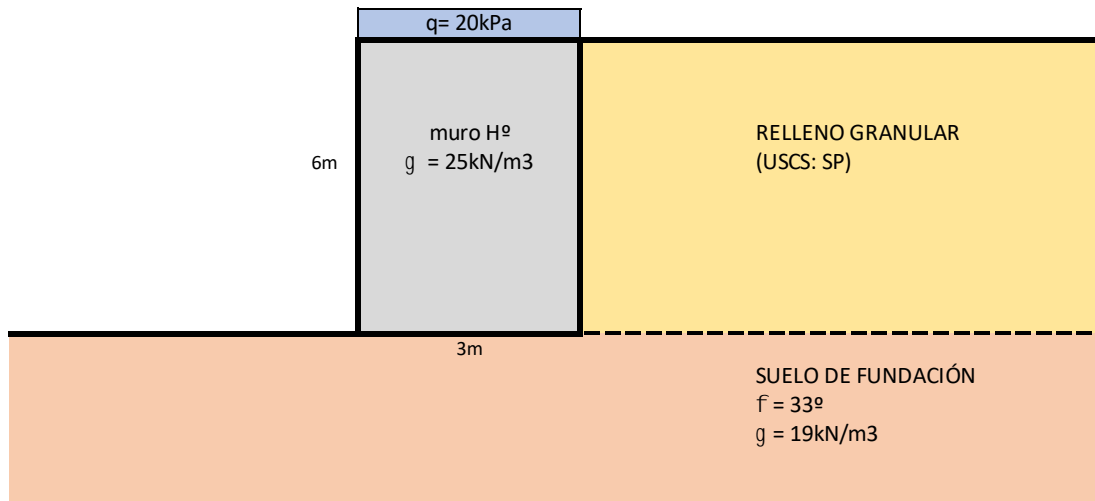


Figura 3-3. Perfil estratigráfico. Ejercicio 3.31. (nota: asumir $\delta = 2/3\phi$ en la interfaz muro-suelo de fundación)

- 3.12 Para el muro cantilever que se indica en la Figura 3-, se pide determinar el factor de seguridad al vuelco y al deslizamiento. Los parámetros geotécnicos para considerar son:
- material: arena limpia;
 - ángulo de fricción: $\phi' = 36^\circ$;
 - peso unitario: $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$.
 - fricción suelo-base muro $\delta = 3/4\phi'$.

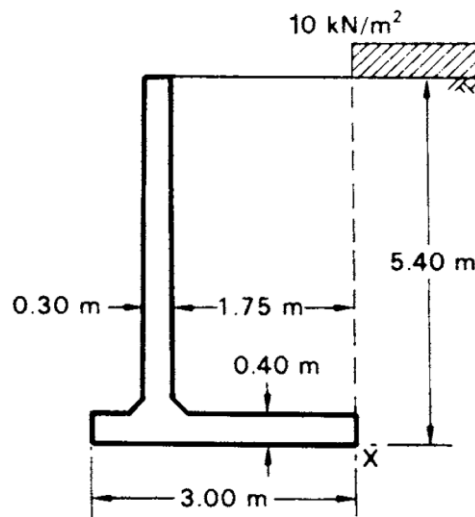


Figura 3-4. Muro cantilever. Ejercicio 3.12.

3.13 Para una tablestaca empotrada, el diagrama de empuje horizontal más representativo de la interacción suelo-estructura tiene una distribución:

- Rectangular
- Triangular
- Trapecial, con valor máximo en la parte superior del tablestacado
- Trapecial, con valor máximo en la parte inferior del tablestacado

3.14 La tablestaca que se indica en la Figura 3- fue dimensionada con una ficha $d=6.5\text{m}$. Determine el FS asociado a una falla por el pie del tablestacado. Los parámetros geotécnicos para considerar son:

- material: arena limpia;
- ángulo de fricción: $\phi' = 36^\circ$;
- peso unitario: $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$.

Nota: W.T. indica la posición del nivel freático.

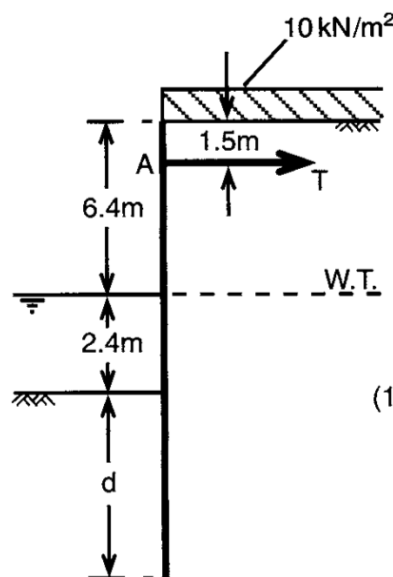


Figura 3-5. Muro cantilever. Ejercicio 3.14.

3.15 Calcule la ficha y el tiro en la placa de anclaje para una contención de tablestacas con las siguientes características:

- cota de terreno del lado activo: +0.0m;
- cota del pelo de agua del lado activo: +0.0m;
- cota de terreno del lado pasivo: -5.0m;
- cota del pelo de agua del lado pasivo: -2.0m;
- cota del anclaje: -1.0m;

Los parámetros geotécnicos para considerar son:

- material: arena limpia;
- ángulo de fricción: $\phi' = 36^\circ$;
- peso unitario: $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$.

Metodología de resolución:

- utilice el método de Rankine para determinar los empujes activos y pasivos;
- adopte un coeficiente de seguridad de 1.5 sobre el empuje pasivo;
- determine la posición y las dimensiones de la placa de anclaje.

3.16 Repita el ejercicio 3.12 para un tablestacado en ménsula.

Metodología de resolución:

- resuelve mediante método simplificado (Steel Sheet Piling Design Manual, USSteel – 1984) y mediante método exacto;
- compare resultados.

3.17 Calcule el tiro en el tensor y el coeficiente de seguridad de un tablestacado con las siguientes características:

- cota de terreno dellado activo: +0.0m;
- cota del pelo de agua del lado activo: -0.0m;
- cota de terreno dellado pasivo: -5.0m;
- cota del pelo de agua del lado pasivo: -2.0m;
- cota del anclaje: -1.0m;
- cota de la ficha: -12.0m;

Los parámetros geotécnicos a considerar son:

- material: arcilla normalmente consolidada
- resistencia al corte no drenada: $s_u = 0.23 \sigma'_v$;
- peso unitario: $\gamma = 17.0 \text{ kN/m}^3$.

3.18 Sobre el tablestacado de 9m longitud que se indica a continuación, determine cual sería la máxima profundidad de socavación $h_{\text{máx}}$ (m) que podría soportar la estructura para alcanzar un FoS=1.10 asociado a una falla por rotación del pie de la estructura.

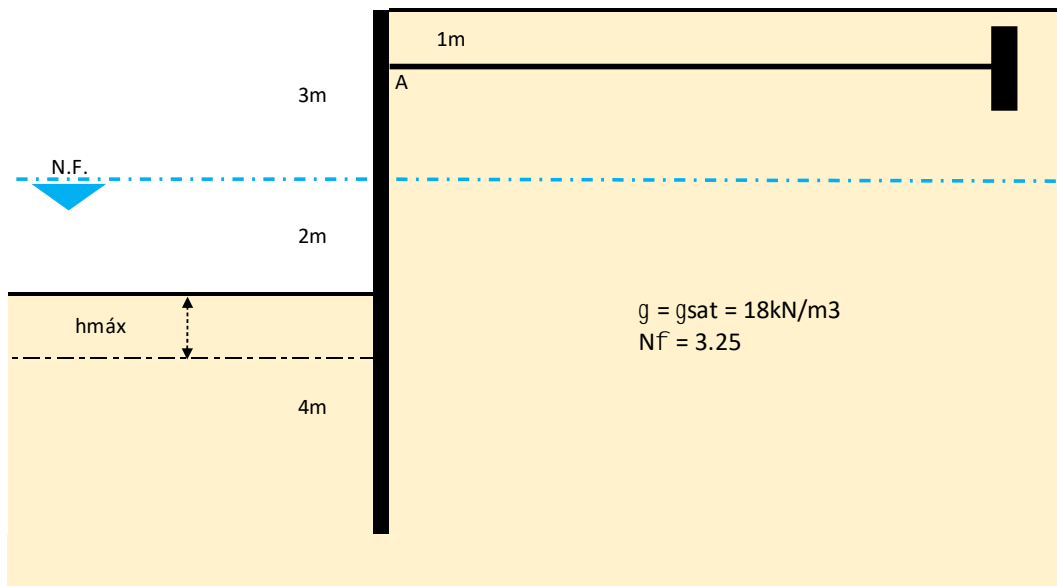


Figura 3-6. Perfil estratigráfico. Ejercicio 3.38.

3.19 Sobre el tablestacado de 9m longitud que se indica a continuación, determine si la posición de la placa de anclaje ($B=1.5\text{m}$) permite desarrollar toda su resistencia. Justifique su respuesta.

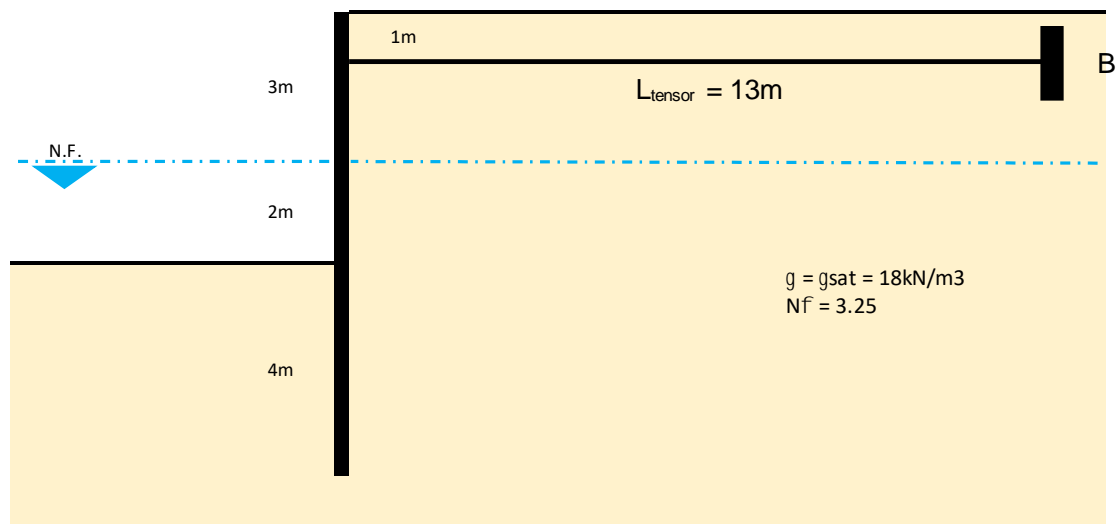


Figura 3-7. Perfil estratigráfico. Ejercicio 3.39.

4 Estabilidad de taludes

4.1 Se excava un talud en arcilla con la siguiente geometría:

- altura total de excavación: 4.5m;
- pendiente 1.0V:1.5H.
- coordenadas del punto de coronamiento del talud (0.0m, 0.0m);

Los parámetros geotécnicos de la arcilla son:

- peso unitario, $\gamma = 18.0 \text{ kN/m}^3$;
- resistencia al corte no drenada: $s_u = 15.0 \text{ kPa}$;
- ángulo de fricción interna $\phi' = 29.0^\circ$.

Calcule el factor de seguridad asociado al mecanismo de deslizamiento circular, cuyas características se describen a continuación, utilizando los métodos de Bishop Simplificado y Fellenius:

- coordenadas del centro del círculo, (4.5m, 0.86m);
- radio del círculo 5.81m;
- sistemas de faja según Tabla 4-1 y Tabla 4-2 (la numeración es tal que la primera faja es la más cercana al coronamiento y la última la más cercana al pie del talud)

Tabla 4-1. Sistema de 4 fajas.

Faja	Ancho	Área	Inclinación de la superficie de deslizamiento
-	m	m ² /m	°
1	2	3.395	60.82
2	2	5.932	28.84
3	2	4.631	7.53
4	2	1.781	-12.62

Tabla 4-2. Sistema de 8 fajas.

Faja	Ancho	Área	Inclinación de la superficie de deslizamiento
-	m	m ² /m	deg

1	1	1.246	68.13
2	1	2.849	47.47
3	1	3.089	34.2
4	1	2.973	22.87
5	1	2.627	12.46
6	1	2.093	2.47
7	1	1.382	7.44
8	1	0.492	-17.59

Nota: el factor de seguridad calculado es el correspondiente al mecanismo de falla elegido pero no necesariamente es el más desfavorable. Para hallar el coeficiente de seguridad del talud debe encontrarse el mecanismo de falla que arroja el menor valor del FS.

- 4.2 Para la imagen del talud que se presenta a continuación, indique: el mecanismo de falla más realista (cinemáticamente admisible) la expresión de cálculo del FoS asociado a ese mecanismo.



Talud de ejercicio 4.2.

4.3 La incorporación de un anclaje para el talud de un macizo rocoso que experimenta un proceso de falla plana:

- Aumenta el FoS siempre
- Aumenta el FoS dependiendo de los valores ψ_p, ψ_T y ϕ
- Aumenta el FoS dependiendo de los valores ψ_p y ψ_T
- Disminuye el FoS cuando $\psi_p + \psi_T < 90^\circ$

5 Capacidad de carga

5.1 Para una base cuadrada la Fórmula de Brinch-Hansen no considera:

- La condición no-drenada del material.
- La tensión vertical a nivel del plano de fundación.
- La rigidez del material.
- La posición del nivel freático.

5.2 Para una base cuadrada ($B = 2m$), apoyada a 2m de profundidad en un suelo: $USCS = SP, \gamma = 19kN/m^3, \phi' = 32^\circ, c' = 0kPa, D_r = 33\%, E_s = 100 MPa, \nu = 0.3$ la fórmula adecuada para calcular su capacidad de carga es:

- Fórmula de Terzaghi.
- Fórmula de Vesic.
- Fórmula de Brinch-Hansen.
- Formula de Brinch-Hansen extendida.

5.3 Una base rectangular ($B = 2m, L = 3m$) apoyada a 2m de profundidad presenta las solicitaciones $N = 40kN$ y $H = 5kN$. La carga horizontal H actúa a 1m de altura respecto al nivel de terreno natural y en dirección paralela al lado B . El área efectiva de la fundación es:

- $A' = 4.00m^2$
- $A' = 4.20m^2$
- $A' = 4.80m^2$
- $A' = 5.10m^2$

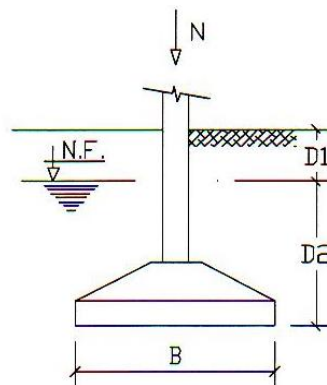
5.4 Calcule la capacidad de carga de una zapata cuadrada de 1.20 m de lado para profundidades de fundación: 0.0, 1.0 y 2.0m, para los siguientes suelos:

- Granular, $\gamma = 20kN/m^3, \phi' = 35^\circ$ y $c' = 0.0 kPa$
- Cohesivo, $\gamma = 20kN/m^3, su = 50kPa, \phi' = 28^\circ$ y $c' = 5kPa$
- Nivel freático: no detectado.

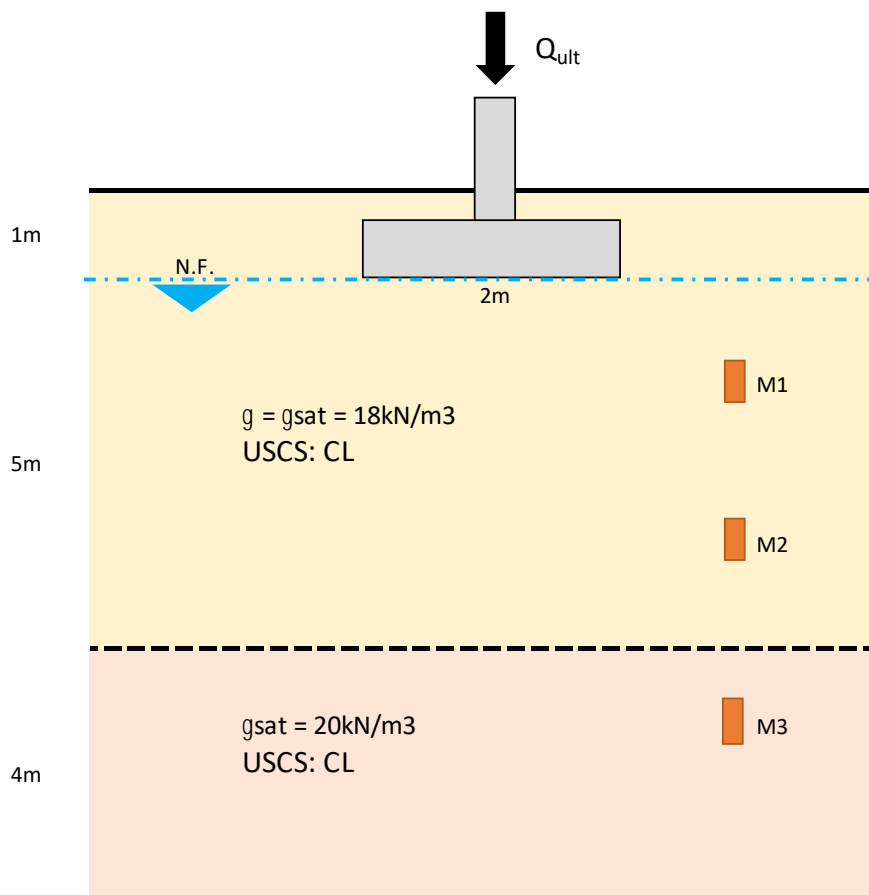
Establezca conclusiones respecto de la capacidad de carga en corto plazo para ambos suelos.

5.5 Diseñe una zapata rectangular de relación de lados 1.2 que sea capaz de transmitir al terreno una carga en servicio de 2500kN. Verifique para condición de corto y largo plazo. Los parámetros del terreno son:

- $\gamma = 19kN/m^3, su = 80kPa, \phi' = 28^\circ$ y $c' = 3kPa, E_s = 75 MPa, \nu = 0.3$.
- En el esquema, $D1 = 1.0m$ y $D2 = 1.5m$.

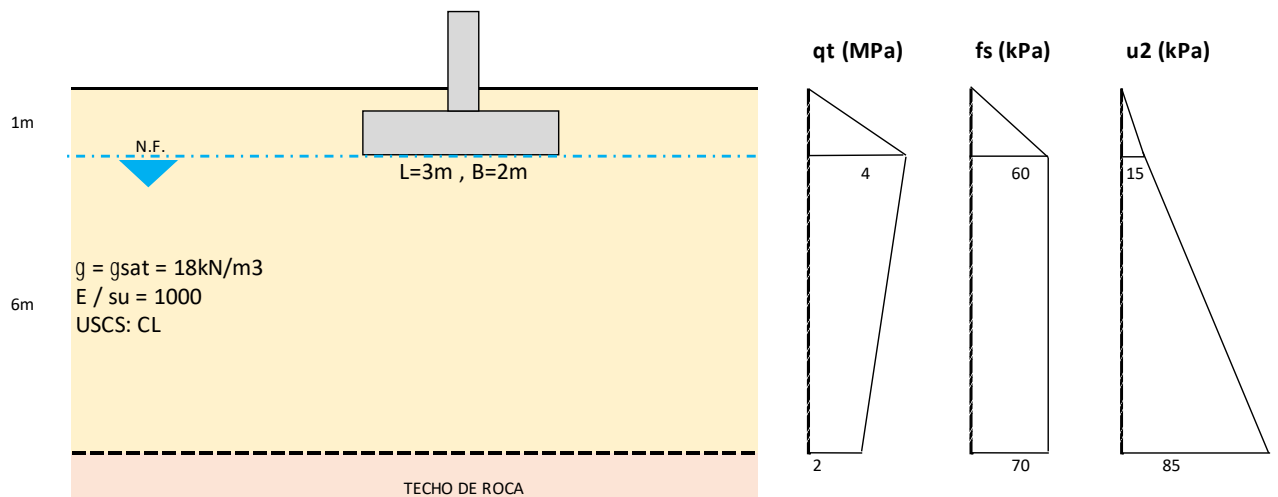


- 5.6 Repita el ejercicio 6.5 para la condición de largo plazo considerando una excentricidad de 0.60m de la carga normal aplicada respecto del lado menor de la fundación.
- 5.7 Repita el ejercicio 6.5 para la condición de largo plazo considerando la posición del nivel freático en coincidencia con el plano de fundación de la zapata.
- 5.8 Para el mismo perfil estratigráfico y nivel de fundación indicado en el ejercicio 6.5, diseñar para condición de largo plazo la fundación de un tabique portante ($L \gg B$) que transmite al terreno una carga $q=600\text{kN/m}$.
- 5.9 Una zapata cuadrada de lado $B=1.5\text{m}$ se encuentra enterrada a 1.0m profundidad en un suelo granular de propiedades: $\gamma = 22\text{kN/m}^3$, $\phi' = 36^\circ$ y $c' = 0\text{ kPa}$. La zapata transmite al terreno una carga de 500 kN . Se pide determinar:
- Factor de seguridad (FS) sin la presencia del nivel freático.
 - Factor de seguridad (FS) considerando el nivel freático en coincidencia con N.T.N.
- 5.10 Para el perfil geotécnico que se indica a continuación, determine la carga última que puede soportar una base de lados $B=2\text{m} - L=3\text{m}$ apoyada a 1m profundidad considerando que la carga se aplicará de manera instantánea. Se cuenta además con la información de 3 ensayos triaxiales Q efectuados sobre 3 muestras extraídas a diferentes profundidades.



MUESTRA	PROF	s_3 (kPa)	s_1 (kPa)
M1	2m	50	210
M2	4m	90	250
M3	7m	120	370

- 5.11 Sobre el perfil geotécnico que se indica en la figura se informan resultados del ensayo CPTu (q_t : resistencia en punta, f_s : resistencia por fricción, u_2 : presión de poros).



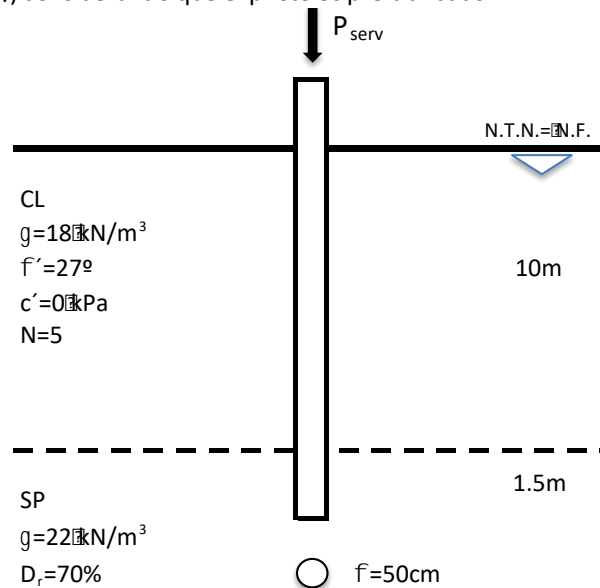
determine si el valor de presión última (kPa) transmitida por la zapata (2m x 3m) en condición no drenada excede la condición de asentamiento elástico máximo $s_{\text{máx}} = 12\text{mm}$ bajo el centro de la fundación utilizando la siguiente expresión:

$$s_{\text{máx}} > \frac{p \cdot B}{E_{\text{oed}}} c_f (1 - \nu^2)$$

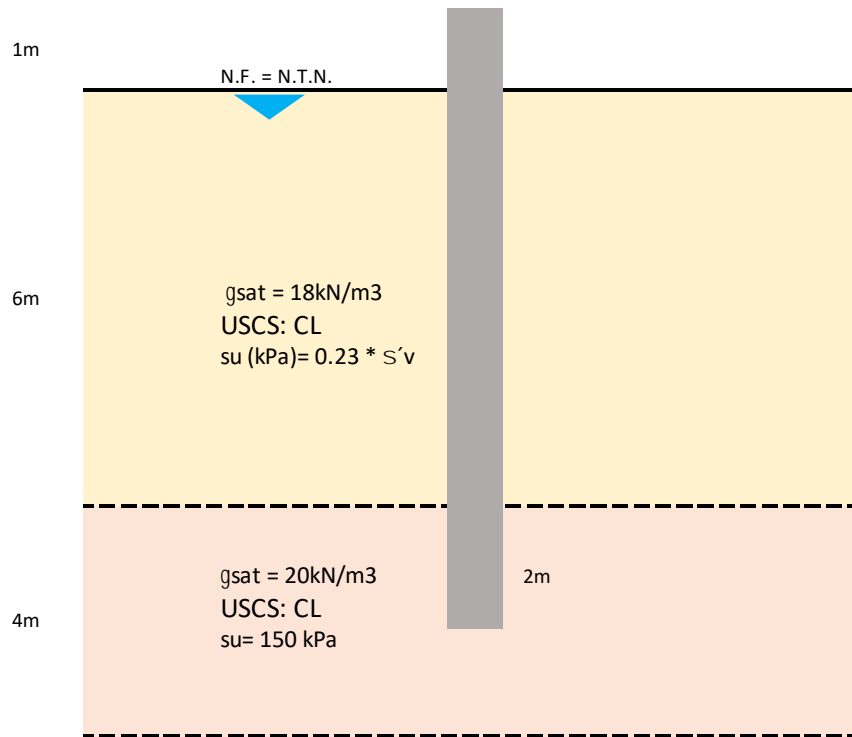
donde p es la presión de contacto transmitida por la zapata, E_{oed} es el módulo edométrico, $c_f = 0.88$ es un coeficiente de ajuste y $\nu \sim 0.4$ el coeficiente de Poisson del terreno.

5.12 Para un pilote circular de HºAº fabricado in situ en el perfil geotécnico que se indica en la figura, se pide calcular:

- Carga en servicio (P_{serv}) para condición de corto y largo plazo
- Carga en servicio (P_{serv}) para condición de corto plazo, siendo P_{ult} una carga de tipo extraordinaria.
- Carga en servicio (P_{serv}) considerando la carga P trabajando a tracción.
- Carga en servicio (P_{serv}) considerando que el pilote es prefabricado.



5.13 Para el pilote perforado con lodos ($D=0.50\text{m}$, $L=9\text{m}$, $\gamma_{\text{Hº}}=25\text{kN/m}^3$) que se indica en la figura se pide determinar la carga de diseño a tracción Q_d (kN) mediante análisis LRFD (diseño por factores RF y LF).

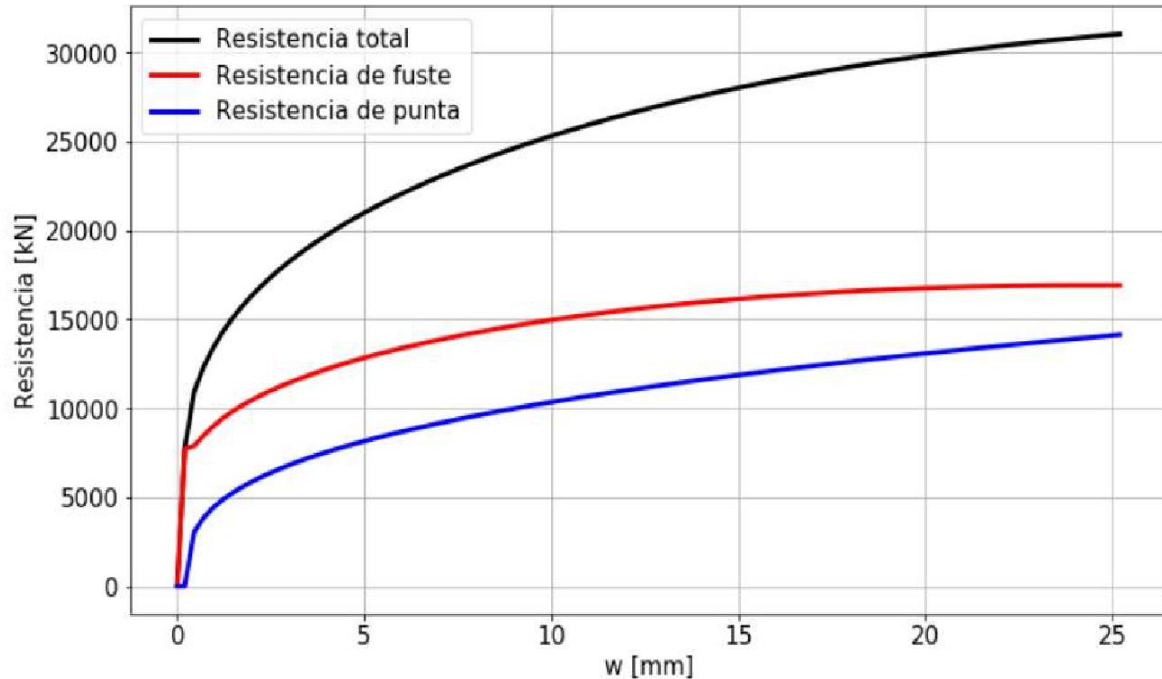


- 5.14 Un pilote de 0.40m de lado y 16.0m de longitud soportará una carga en servicio de 1500 kN y se habrá de hincar mediante el empleo de un martillo de hincas neumático (air hammer) que pesará el 60% del peso del pilote y caerá desde una altura de 1.20 m. Calcule el rechazo necesario para cumplir con la carga de

servicio especificada mediante la fórmula de hincia recomendada por la WSDOT - Washington State Department of Transportation (<https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/610.1.pdf>).

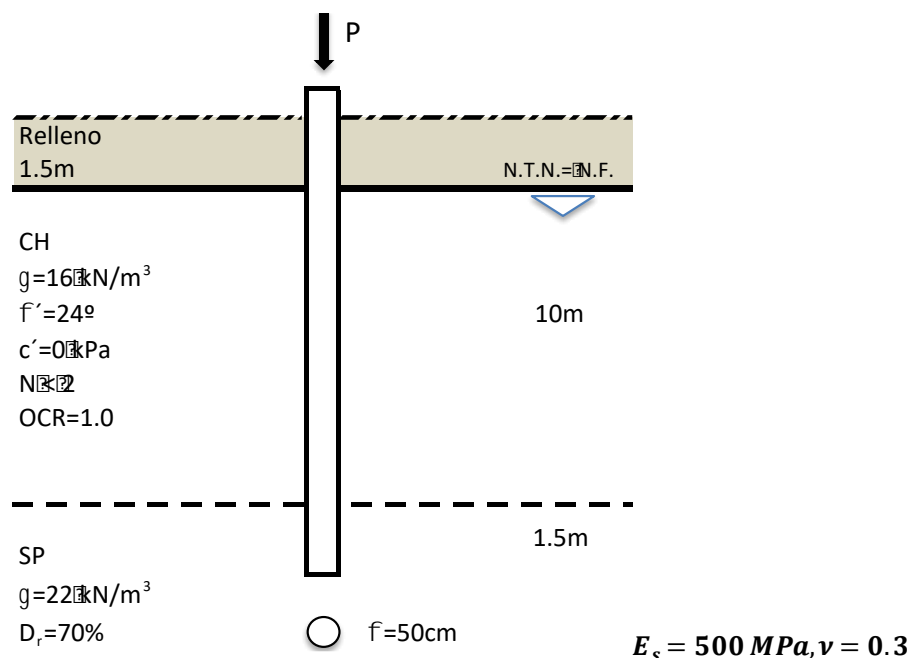
5.15 Se presenta el resultado de un ensayo de carga de un pilote perforado $\phi = 0.80m$ de 16m de longitud. Asumiendo valores $K_{i,p} = 5000kN/mm$ y $K_{t,p} = 3000kN/mm$, la carga última nominal por la punta en correspondencia con asentamiento total $\delta_t = w = 23mm$ es:

- Aprox. $Q_{u,p}^* = 12321kN$
- Aprox. $Q_{u,p}^* = 13269kN$
- Aprox. $Q_{u,p}^* = 14811kN$
- Aprox. $Q_{u,p}^* = 25034kN$



5.16 Sobre el perfil geotécnico que se indica en la figura se colocó un relleno compactado de gran extensión con las siguientes propiedades: $ML, \gamma = 20 kN/m^3, \phi' = 28^\circ$. Pasados los 15 días de su ejecución se coloca un pilote circular prefabricado que se observa en la figura. Se pide calcular:

- Carga última (P_{ult}) para condición de largo plazo.
- Carga en servicio (P_{serv}) para condición de largo plazo.



Ejercicio 5.16. Pilote circular de H²A⁹ prefabricado.**6 Mejoramiento de terrenos**

6.1 La compactación dinámica es una técnica de mejora del terreno válida para:

- Gravas y arenas
- Limos y arcillas
- Gravas, arenas y limos
- Gravas, arenas, limos y arcillas

6.2 En un macizo rocoso fracturado que presenta elevada permeabilidad, se podría mejorar su comportamiento frente al avance del agua mediante:

- Inyecciones cementicias
- Anclajes
- Compactación superficial
- Electro-ósmosis

7 Suelos de Buenos Aires

7.1 Para una excavación de 6m de profundidad en el Pampeano, el empuje lateral actuante y reglamentario que especifica el Código de Edificación Bs As es:

- $E = 15kN/m$
- $E = 25kN/m$
- $E = 35kN/m$
- $E = 45kN/m$

7.2 Sobre una muestra de suelo se conocen los siguientes datos: $USCS = ML, \#200 > 95\%, N_{SPT} \sim 30, \phi' = 30 - 32^\circ, c' = 5 - 10kPa$. En base a estos datos se puede inferir que la muestra pertenece a:

- suelos de la Formación Pampeano
- suelos de la Formación Postpampeano
- suelos de la Formación Puelchense
- suelos de la Formación arcillas verdes-azules