

Deformación

1



Deformación:.....	18
$\delta_{total} = \delta_e + \delta_p + \delta_s L$	18
$\delta_p = M \nu \sigma_z H U L$	19
$\delta_s = M \sigma_z H \log(1 + \xi T) L$	20
Factores que influyen en la deformación:	21
Tipo de suelo:.....	21
Suelos puramente cohesivos, totalmente saturados:	21
Suelos puramente cohesivos, parcialmente saturados:	21
Suelos puramente friccionantes:	22
Distribución e incrementos de esfuerzos:.....	22
Espesor del estrato:	23
Pruebas de laboratorio:	23
¿Cómo se calcula?	24
$\delta_{total} = \delta_e + \delta_p + \delta_s L$	24

Deformación:

Se conoce a la deformación como a la re-acomodación de las partículas del suelo causadas por un incremento de carga.

La superposición de una carga ante el suelo presenta efectos de deslizamiento y giros entre las partículas. Se le da el nombre de asentamiento aquel movimiento de la masa de suelo que reduce su volumen, mientras que el caso contrario conoce como expansión.



Asentamientos excesivos causan daños a cualquier estructura, inclusive a construcciones aledañas, por lo que es de suma importancia conocer qué tanto se asentará el suelo y cuánto tiempo le tomará hacerlo. La manera de predecir la deformación total es tomando encuentra 3 factores:

$$\delta_{total} = \delta_e + \delta_p + \delta_s[L]$$



Donde:

δ_e = Se trata de la asentamiento inmediato.

δ_p = Se trata de la consolidación primaria.

δ_s = Se trata de la consolidación secundaria.

✚ La asentamiento inmediata, se da bajo dos características:

- 1.- Suelo no drenado, y.
- 2.- La premisa de un comportamiento elástico del suelo.

La manera de calcular la deformación inmediata es por medio de las siguientes 2 ecuaciones:

- Ecuación de Steinbrenner



$$\delta_e = \frac{q(1-v)^2}{\pi E} \left[L \ln \frac{(B + \sqrt{L^2 + B^2}) * \sqrt{L^2 + H^2}}{L(B + A)} + B \ln \frac{L + \sqrt{L^2 + B^2} * \sqrt{B^2 + H^2}}{B(L + A)} \right] + \frac{q}{2\pi E} (1 - v - 2v^2) * H \tan^{-1} \left(\frac{LB}{HA} \right)$$

$$A = \sqrt{L^2 + B^2 + H^2}$$

Donde:

v=Es el módulo de Poisson.

H=Profundidad desde el nivel de desplante hasta el estrato considerado para el análisis [m].

E=Módulo de deformación en [t/m²].

B y L= Son las dimensiones de la cimentación, recordando dividir las entre 2 por calcularse bajo una esquina [m].

- Ley de Hooke:



$$\delta_e = \frac{h_0 [\sigma_z - v * (\sigma_x + \sigma_y)]}{E}$$

σ_z, σ_x y σ_y = Son los esfuerzos calculados a cierta profundidad, ancho y largo [t/m²]

Donde:

v=Es el módulo de Poisson.

E=Módulo de deformación en [t/m²].

Ambas se encuentran codificadas dentro del programa de EXCEL.

- Consolidación primaria:

Se presenta en cuanto se da el flujo del agua a través de los poros de la porción de masa de suelo, en donde la manera de calcular la consolidación primaria se da tomando la ecuación desarrollada por Juárez Badillo y Rico, 1976.

$$\delta_p = M_v \sigma_z H U [L]$$



Donde:

H=Espesor del estrato donde se encuentra el suelo cohesivo [cm].

Mv=Módulo de deformación del suelo [cm²/kg]

U=f(T)=porcentaje de consolidación en función del tiempo "T" en [s]

σ_z =Esfuerzo en dirección "z" (profundidad en [kg/cm²])

Encontrando el tiempo podemos conocer el valor del porcentaje de consolidación U.

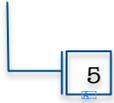
$$T = \frac{C_v t}{H_e^2}$$

Donde:

C_v =Coeficiente de consolidación [cm²/s].

H_e = Es la mitad del espesor del estrato en [cm]

t = Tiempo en que se desea conocer la consolidación primaria [s]



Es importante recordar que el porcentaje de consolidación, esta en función del tiempo que tarda el flujo de agua escapar de lo poros de la fracción de masa del suelo.

✚ Consolidación secundaria:

La consolidación secundaria se hace presente en el momento en que la presión de poro se aproxima a "0", esta condición se da en el momento en que terminan los efectos de consolidación primaria. A continuación se presenta el cálculo de la consolidación secundaria.

$$\delta_s = M_t \sigma_z H \log(1 + \xi T) [L]$$



Donde:

M_t =Módulo de deformación del suelo [cm²/kg].

encuentra el suelo cohesivo [cm].

σ_z =Esfuerzo en dirección "z" (profundidad en [kg/cm²])

ξ =parámetros característicos del suelo a analizar [1].

H =Espesor del estrato donde se

Este tipo deformación es de connotación viscosa, esto por la relación que existe entre las partículas del agua y un suelo cohesivo (las partículas se "resbalan" unas con otras).

Debido a la magnitud tan pequeña de las deformaciones se manejan unidades de longitud, en específico, centímetros. Sin embargo no hay nada que nos impida mostrar el resultado en metros.

Factores que influyen en la deformación:

El efecto de deformación se da en el momento en que se presenta una distorsión y movimiento interno de las partículas que conforman la masa de suelo, por lo que los siguientes elementos juegan un “papel” muy importante en el comportamiento del suelo y en el cálculo mismo de la deformación:

- 🍏 Tipo de suelo.
- 🍏 Distribución e incrementos de esfuerzos.
- 🍏 Espesor del estrato.

Tipo de suelo:

El tipo de suelo (al igual que el nivel freático del agua) es un factor muy importante, ya que, para suelos extremadamente finos como las arcillas tenemos una alta relación de vacío causando una modificación en el módulo de deformación del mismo suelo.

La clasificación de suelos que nos permite hacer distinciones en cuanto al tipo de fórmulas a utilizar va de acuerdo a los parámetros de Φ (ángulo de fricción interna) y c (cohesión) característicos de cada suelo:

- 🍏 Arcillas como suelos puramente cohesivos.
- 🍏 Arenas como suelos puramente friccionantes.

Suelos puramente cohesivos, totalmente saturados:

Nos referimos a este tipo de suelo (arcillas y limos) aquellos que tienen el ángulo de fricción interna $\Phi = 0$ y baja permeabilidad. Observamos que el agua localizada entre los poros de la fracción de masa de suelo es la primera en “tomar” los esfuerzos aplicados, y en el momento en que el agua escapa a través de estos poros se presenta la consolidación.

El efecto contrario se da al momento de realizarse una excavación, sucede que la fracción de espacios vacíos de una masa de suelo son sustituidos por agua, ocasionando que se “hinche” el suelo y se haga presente el fenómeno conocido como expansión.

Suelos puramente cohesivos, parcialmente saturados:

Si bien se conserva la característica de tener un valor de 0 para el parámetro Φ se presentan fenómenos de succión, esto porque, el agua, al abandonar su lugar en la porción de suelo éste es ocupado por aire

provocando un incremento de la presión efectiva y contracción del material.

Suelos puramente friccionantes:

Se considera a suelos totalmente friccionantes aquellas que muestran un valor de 0 para el parámetro c (cohesión). Tienen la característica de presentar compresiones prácticamente instantáneas, esto por su alta permeabilidad.

Distribución e incrementos de esfuerzos:

Existen muchas teorías para calcular la distribución de esfuerzos sobre una porción de suelo, sin embargo para el alcance de esta obra es valido mencionar lo siguiente: Bajo una carga uniformemente distribuida y aplicada a la superficie de la masa de suelo debemos determinar los esfuerzos normales bajo la esquina de la cimentación.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de distribución de esfuerzos se encuentran en función de la forma en que se aplica una carga en la superficie del suelo.

Boussinesq:

El presente método es ampliamente utilizado, debido a que se calculan los esfuerzos normales bajo una sola esquina de la cimentación con una carga uniformemente distribuida.

El cálculo de esfuerzos se determina en tres dimensiones X, Y y Z.

Para una profundidad Z

7

$$\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \left\{ \left[\left(\frac{1}{x^2 + z^2} \right) + \left(\frac{1}{y^2 + z^2} \right) \right] \frac{xyz}{A} + \tan^{-1} \left(\frac{xy}{zA} \right) \right\}$$

Para una distancia X

8

$$\sigma_x = \frac{q}{2\pi} \left\{ \left(\frac{\pi}{2} \right) - \left(\frac{xyz}{[x^2 + z^2]A} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{zA}{xy} \right) + [1 - 2\nu] \left[\tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{yA}{xz} \right) \right] \right\}$$

Para una distancia Y

9

$$\sigma_y = \frac{q}{2\pi} \left\{ \left(\frac{\pi}{2} \right) - \left(\frac{xyz}{[y^2 + z^2]A} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{zA}{xy} \right) + [1 - 2\nu] \left[\tan^{-1} \left(\frac{x}{y} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{xA}{yz} \right) \right] \right\}$$

$$A = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Incrementos de esfuerzos:

Este proceso trata sobre la diferencia entre la presión transmitida al suelo por la misma edificación con la presión de la masa de suelo a nivel del desplante (es la porción de suelo que se removió al excavar).

De acuerdo a las normas de cimentaciones (del R.C.D.F. 2004)se debe calcular:

iii) "Los movimientos diferidos debidos al incremento neto de carga en el contacto cimentación suelo".

Por lo que se define al incremento de carga como la presión promedio del suelo y la estructura de cimentación, más la presión a nivel de desplante del suelo.

$$q_n = q - p_{vo}$$

10

Donde tenemos que:

q: es la presión promedio que existe en la interacción suelo-cimiento.

p_{vo} : Es la presión del suelo a nivel de desplante.

Espesor del estrato:

El espesor de estrato es proporcional a la deformación, a mayor espesor mayor deformación.

Pruebas de laboratorio:

Las pruebas que se necesitan para poder calcular la deformación del suelo bajo cierta carga se explican a detalle en la introducción, sin embargo se necesita de:

- Compresión Isotrópica.
- Compresión Confinada.
- Compresión triaxial.

Consolidadas-drenadas,
Consolidadas- no drenadas,
No consolidadas-no drenadas



Nos arrojan los siguientes parámetros: Φ , c , M_e y γ_m

Con estos parámetros conocemos el comportamiento del suelo, y por ende tenemos sustentada la elección del criterio que vamos a utilizar para calcular la distribución de esfuerzos.

¿Cómo se calcula?

Para obtener la deformación es necesario puntualizar que a diferencia de los materiales utilizados en las estructuras y los distintos suelos presentan una deformación causada por un comportamiento visco-elástico, otras palabras es mucho mas importante la deformación por cambios volumétricos que por cambios en la forma del material.

Considerando esta premisa es correcto mostrar que la manera de calcular una deformación es la siguiente:

1. A través de muestras inalteradas realizamos distintas pruebas en el laboratorio para conocer parámetros como: Φ, c, M_e y γ_m
2. Teniendo estos parámetros podemos realizar análisis que nos permitan, con más detalle, describir el comportamiento que presentará el suelo al presentarse cargas externas.
3. Se pasa calcular, por medio del enfoque de Boussineq, la distribución de los esfuerzos a medida en que el suelo toma cargas externas.
4. Así que, para el proceso del cálculo de la deformación podemos seguir realizar la siguiente suma:

$$\delta_e = \frac{h_0 [\sigma_z - v * (\sigma_x + \sigma_y)]}{E} [L] \quad \text{3} \quad \delta_p = M_v \sigma_z H U [L] \quad \text{4}$$

$$\delta_s = M_t \sigma_z H \log(1 + \xi T) [L] \quad \text{6}$$

$$\delta_{total} = \delta_e + \delta_p + \delta_s [L] \quad \text{1}$$

Donde:

δ_{ve} = Se trata de la consolidación inmediata.

δ_p = Se trata de la consolidación primaria.

δ_s = Se trata de la consolidación secundaria.