

1

Pilotes cargados lateralmente

* Prácticamente todos los pilotes se ven sometidos en algún momento a cargas lateras. En muchas ocasiones están son mucho menores que las cargas verticales y no es necesario realizar un cálculo separado.

* Las cargas laterales son importantes en una varios casos

- Pilotes como estructuras de retención
- Fundaciones en puentes
- Fundaciones para estructuras portuarias y costa-afuera
- Fundaciones de torres
- Estructuras sometidas a cargas sísmicas

* Cargas laterales en pilotes representan un problema en 3 dimensiones muy complejo.

2

Modelos de análisis

•Pilote apoyado sobre resortes que da origen al modelo de constante de balasto, también conocido como el Modelo de Winkler

•Pilote apoyado en medio continuo, considerado como material lineal – elástico.

•Elementos finitos, que permiten incorporar el comportamiento no lineal tensión – deformación del suelo, variaciones de dicho comportamiento de un punto a otro (varios estratos de suelo), variaciones en la sección del pilote, etc.

Para efectos prácticos, la modelación con el Modelo de Winkler es bastante adecuada, siempre y cuando se seleccione adecuadamente la constante de balasto y su variación a lo largo del fuste del pilote.

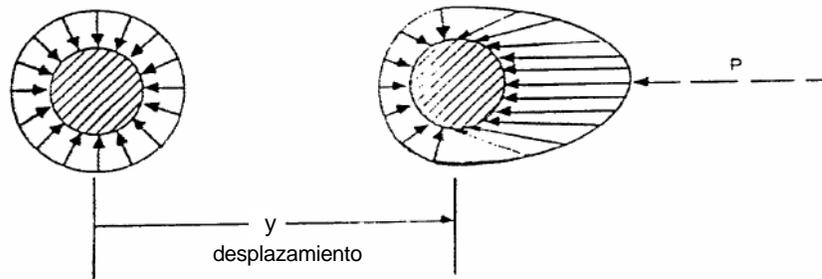
3

Modelos de análisis

- La capacidad lateral de carga última se chequea primero. En la práctica es raramente el factor límite de diseño, ya que por lo general se requieren grandes deformaciones del suelo.
- Determinación de las deformaciones laterales bajo cargas de trabajo se basan en modelos simplificados como el de Winkler, o asumiendo una respuesta elástica del suelo.
- Soluciones más complejas se basan en el modelo de Winkler, utilizando resortes del suelo no lineales, conocido como las curvas p-y.
- La determinación de los momentos de flexión, y esfuerzos sobre los pilotes son de suma importancia en la selección y diseño de estos.

4

El problema es tridimensional



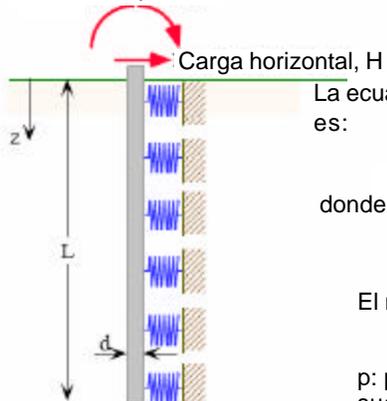
a) Estado de esfuerzos antes de la deformación

b) Estado de esfuerzos una vez desplazado el pilote

5

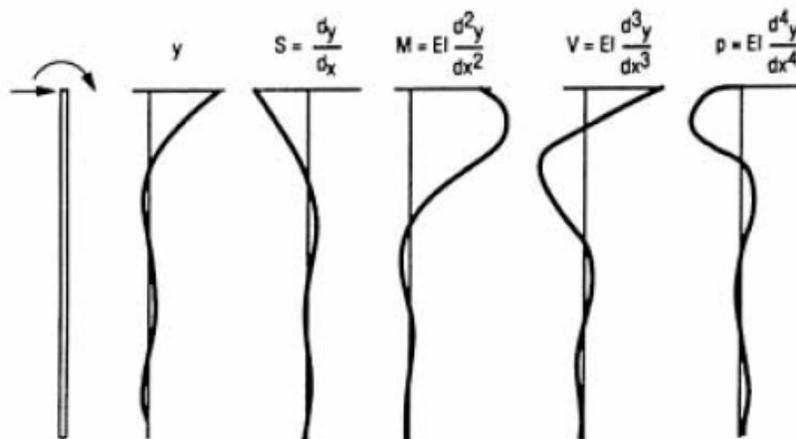
Modelo de Winkler

Momento aplicado, M



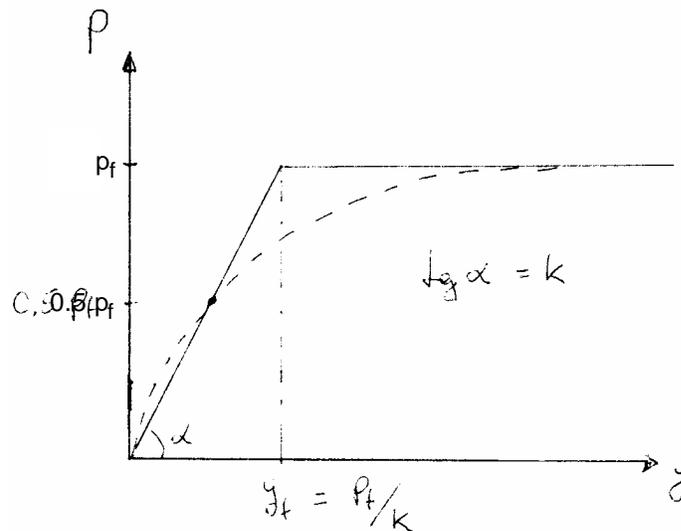
6

Solución para un pilote cargado lateralmente



7

Comportamiento del suelo



8

Presión de falla, p_f

La presión de falla, p_f , corresponde a una situación de empuje pasivo al desplazarse horizontalmente el pilote en contra del suelo. El problema es de naturaleza tridimensional.

Para suelos granulares sin cohesión (falla drenada) y para suelos con falla no drenada, Broms (1964) establece las siguientes expresiones:

$$\text{Granulares (c=0)} \quad p_f(z) = 3 s_v' K_p$$

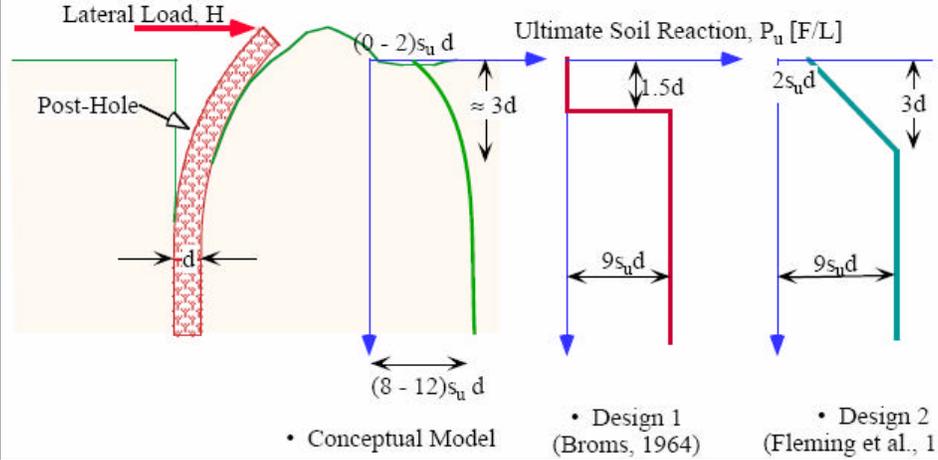
$$\text{Falla no drenada} \quad p_f(z) = 9 S_u$$

9

Presión de falla

1- Arcillas (Sobreconsolidadas)

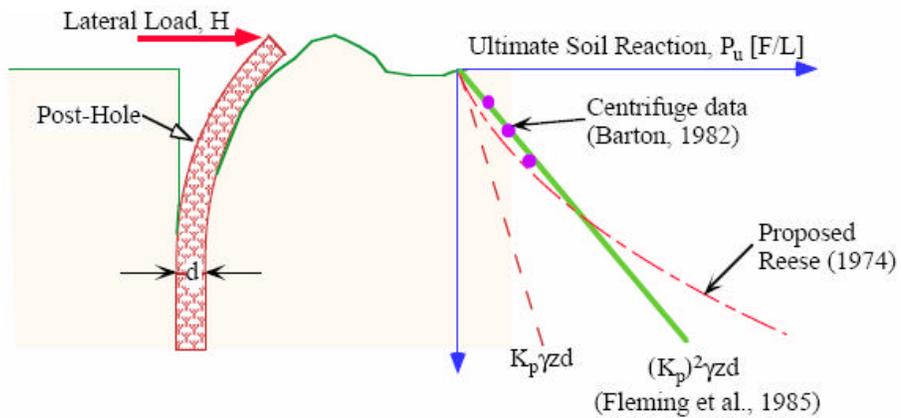
• Lateral Resistance in Clays:



10

Presión de falla

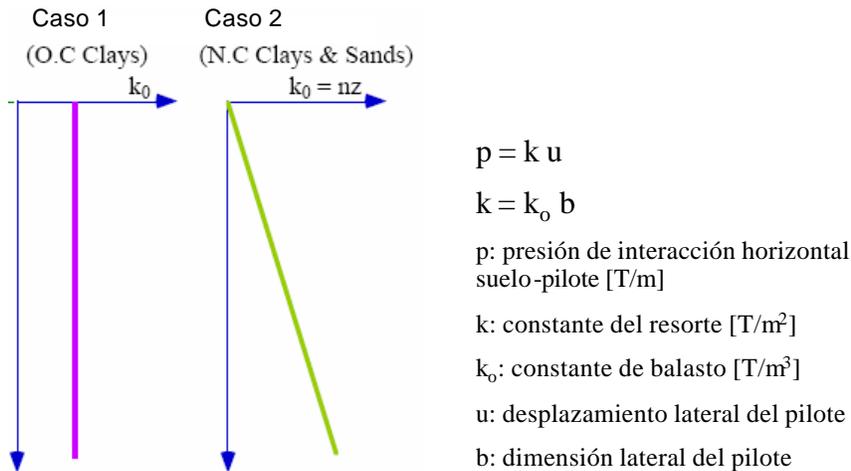
2- Arenas



11

Solución para un pilote cargado lateralmente

La principal dificultad de este método es seleccionar la constante de balasto k_0 .



12

Solución para un pilote cargado lateralmente, Caso 1

Caso 1

- Asumiendo k_0 constante, la ecuación que gobierna la deformación lateral es:

$$EI \frac{d^4 u}{dz^4} + ku = 0 \quad (1)$$

Esta ecuación se puede escribir en términos de la longitud característica, L_c

$$L_c = 4 \left(\frac{EI}{k} \right)^{1/4}$$

Para pilotes más largos que la longitud característica, el largo del pilote pasa a no tener influencia en las deformaciones laterales y de rotación del pilote. Por lo tanto el pilote actúa como si fuese infinitamente largo.

Existen varias soluciones publicadas para resolver la ecuación (1). Por ejemplo, la deformación lateral de un pilote libre de rotar en la cabeza sometido a carga lateral se puede encontrar con la siguiente expresión:

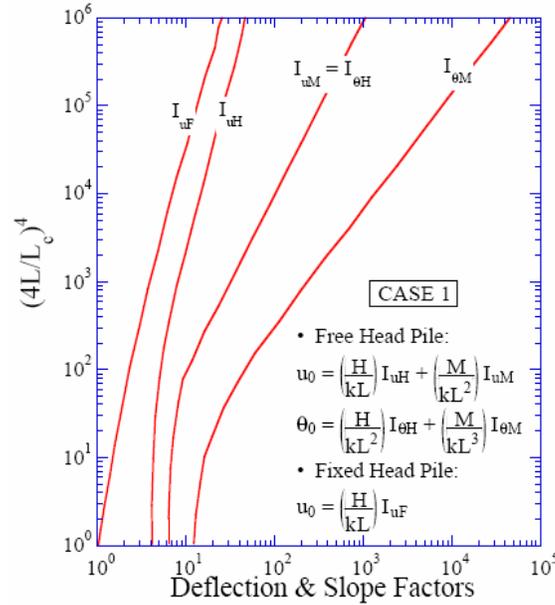
$$u = \frac{2H}{k} \beta \left\{ \frac{\sinh \beta L \cos \beta z \cosh \beta(L-z) - \sin \beta L \cosh \beta z \cos \beta(L-z)}{\sinh^2 \beta L - \sin^2 \beta L} \right\}$$

donde $\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{4}{L_c} \right)$

- Desplazamientos laterales y rotaciones en la cabeza del pilote se pueden obtener de la siguiente figura:

13

Solución para un pilote cargado lateralmente, caso 1



14

Solución para un pilote cargado lateralmente, caso 1

• Hay dos condiciones límites

a) Pilotes cortos ($L/L_c < 0.5$):
"rígidos"

$$u_0 = 4\left(\frac{H}{kL}\right) + 6\left(\frac{M}{kL^2}\right)$$

$$\theta_0 = 6\left(\frac{H}{kL^2}\right) + 12\left(\frac{M}{kL^3}\right)$$

b) Pilotes largos ($L/L_c \geq 1.0$):
"infinitos"

$$u_0 = \sqrt{2} \frac{H}{k} \left(\frac{L_c}{4}\right)^{-1} + \frac{M}{k} \left(\frac{L_c}{4}\right)^{-2}$$

$$\theta_0 = \frac{H}{k} \left(\frac{L_c}{4}\right)^{-2} + \sqrt{2} \frac{M}{k} \left(\frac{L_c}{4}\right)^{-3}$$

• Selección de la constante de balasto, k_o , para arcillas sobreconsolidadas. La solución práctica es usar rangos propuestos en la literatura. Los valores siguientes fueron propuestos por Scott (1981)

Consistency of Clay	Stiff	Very Stiff	Hard
s_u (T/ft ²)	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
Range of k_o (T/ft ³)	50 - 100	100 - 200	200

15

Constante de balasto, caso 1

Módulo de deformación constante con la profundidad,
es decir $E(z) = E_0$

$$k_0 = \frac{0.76 E_0}{(1 - n^2) d}$$

16

Solución para un pilote cargado lateralmente, caso 2

Caso 2

Para arenas y arcillas normalmente consolidadas es más realista asumir que la constante de balasto aumenta con la profundidad. Asumiendo que $k = nz$, la ecuación que gobierna la deformación lateral es:

$$EI \frac{d^4 u}{dz^4} + nzu = 0 \quad (2)$$

en este caso la longitud característica es:

$$L_c = 4 \left(\frac{EI}{n} \right)^{1/5}$$

Varios autores han propuesto valores para n

* Arcillas blandas

Soil Type	n (lb/in ³)	Reference
Soft NC clay	0.6 - 12.7	Reese & Matlock (1955)
	1.0 - 2.0	Davisson & Prakash
NC organic clay	0.4 - 1.0	Peck & Davisson (1965)
	0.4 - 3.0	Davisson (1970)
Peat	0.2	Davisson (1970)
	0.1 - 0.4	Wilson & Hiltz (1967)
Loess	29 - 40	Bowles (1968)

17

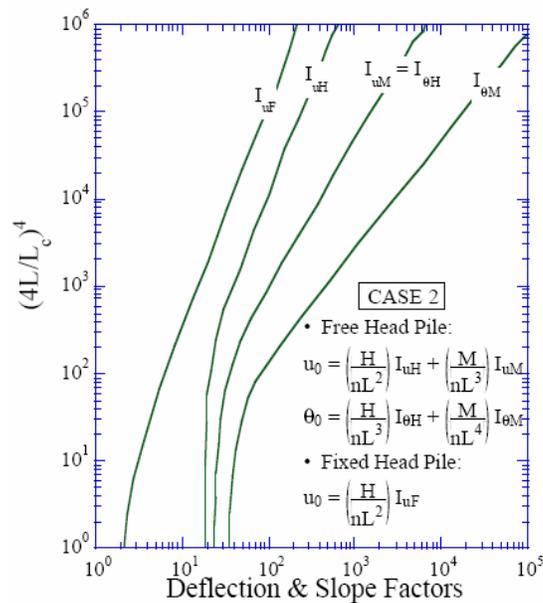
Solución para un pilote cargado lateralmente, caso 2

* Arenas (después de Terzaghi, 1955)

Relative Density	Loose	Medium	Dense
Dry or moist	7	21	56
Submerged	4	14	34

18

Solución para un pilote cargado lateralmente, caso 2



19

Solución para un pilote cargado lateralmente, caso 2

- Condiciones límites

- a) pilotes cortos ($L/L_c < 0.5$):
"rigidos"

$$u_0 = 18 \left(\frac{H}{nL^2} \right) + 24 \left(\frac{M}{nL^3} \right)$$

$$\theta_0 = 24 \left(\frac{H}{nL^3} \right) + 12 \left(\frac{M}{nL^4} \right)$$

- b) pilotes "infinitos" ($L/L_c \geq 1.0$):

$$u_0 = 2.43 \frac{H}{n} \left(\frac{L_c}{4} \right)^2 + 1.62 \frac{M}{n} \left(\frac{L_c}{4} \right)^3$$

$$\theta_0 = 1.62 \frac{H}{n} \left(\frac{L_c}{4} \right)^3 + 1.73 \frac{M}{n} \left(\frac{L_c}{4} \right)^4$$

20

Constante de balasto, caso 2

Módulo de deformación con variación lineal en la profundidad

$$k = \left[\frac{0.76 f}{1 - n^2} \right] \frac{z}{d}$$

Para suelos granulares con cohesión baja a nula, el valor de f se puede expresar en función de la DR.

Sobre la napa $f = -0.53 + 0.027 \text{ DR} \left[\text{Kg/cm}^3 \right]$, DR en %

Bajo la napa $f = -0.37 + 0.0188 \text{ DR} \left[\text{Kg/cm}^3 \right]$, DR en %

Para suelos finos (carga no drenada) $f = f_u$

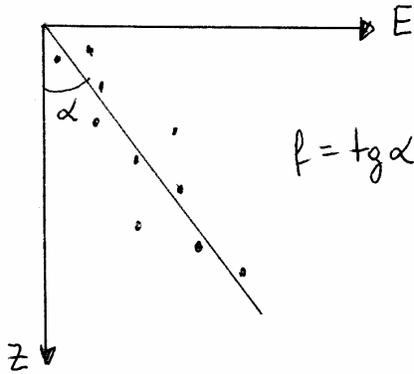
$$f_u = 0.36 q_u \left[\text{Kg/cm}^3 \right], \quad q_u \text{ en } \left[\text{Kg/cm}^2 \right]$$

q_u = resistencia a la compresión no confinada

21

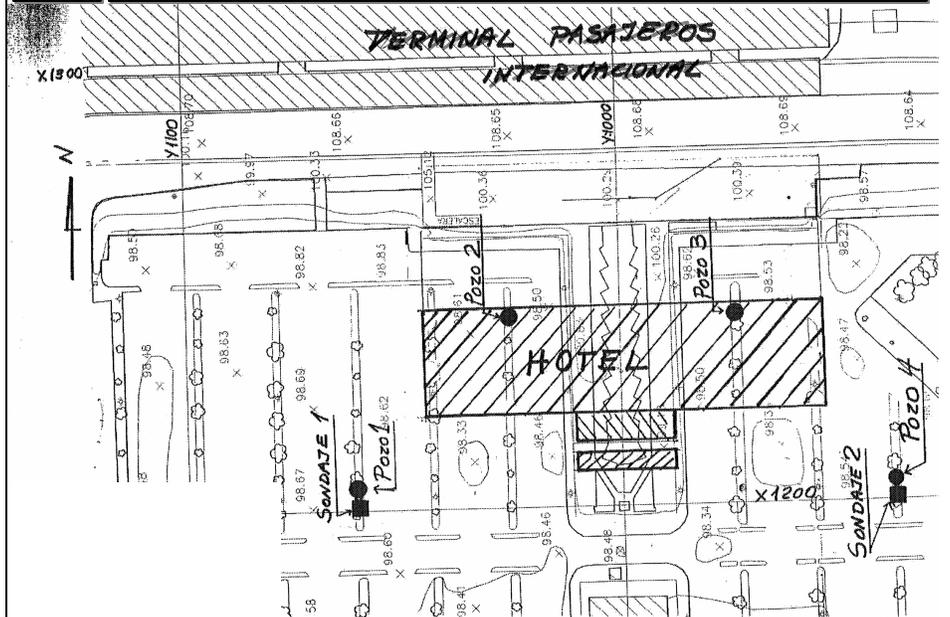
Constante de balasto

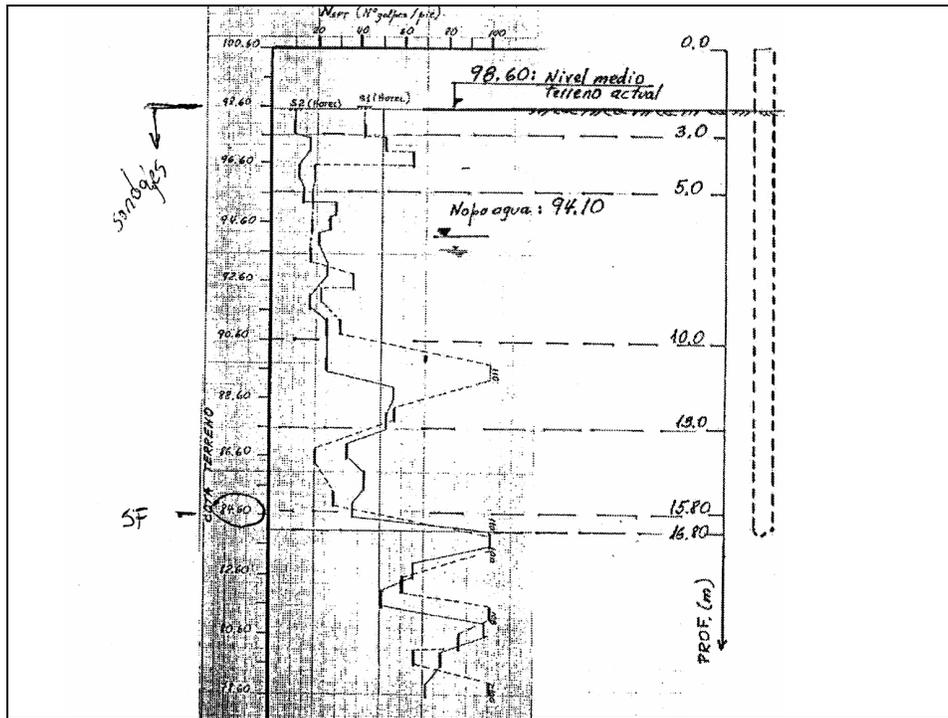
Sin duda la alternativa de medir E vs. Z es la más directa, lo que permite determinar k vs z.



22

Plano exploración para fundaciones de Hotel en sector aeropuerto





Descripción del suelo	Elevación (m)	ÍNDICE DE PENETRACION STANDARD / SPT golpes / pie	PESO UNITARIO γ , t/m ³	MOD. DEFORM. E , t/m ²	MOD. POISSON μ	COEFIC. DE COMPRESION C_c , t/m ²	COEF. BALASTO	
							k_{sv} , t/m ³	k_{sh} , t/m ³
Relevo de pumicita compactada	100.60		1.60	5.000	0.25	5.0		
Arcilla, algo arenosa y limo algo arenoso	97.60	15	1.70	2.000	0.26	3.0		1500
Arena limosa, limo, arcilla algo arenosa, limo arcilloso. Compacidad y/o consistencia media.	95.60	25	1.70	3500	0.25	3.0		2000
Arena gravosa, limo arcilloso con algo de arena y grava. Compacidad y/o consistencia alta.	90.60	40	1.90	8.000	0.25	3.0		2500
Arena fina algo limosa, arcilla limosa, limo, algo arcilloso, compacidad y/o consistencia alta.	87.60	35	1.80	7.000	0.25	5.0		2000
Arena limosa (pumicita) firme	84.80	60	1.80	10.000	0.25	10.0	15.000	2500
Arena fina limosa (pumicita)	83.80	> 60	1.80	10.000	0.25	10.0	15.000	2500

25

Visita a terreno - Ensayo de carga lateral



26

Visita a terreno - Ensayo de carga lateral



27

Visita a terreno - Ensayo de carga lateral



28

Visita a terreno - Ensayo de carga lateral



29

Visita a terreno - Ensayo de carga lateral



30

Resultados ensayo de carga lateral

