



CIMENTACIONES 74.11
GEOTECNIA APLICADA 94.09

<https://campus.fi.uba.ar/course/view.php?id=1171>

Pilotes con Carga Lateral y Momento

Comportamiento lateral de pilotes

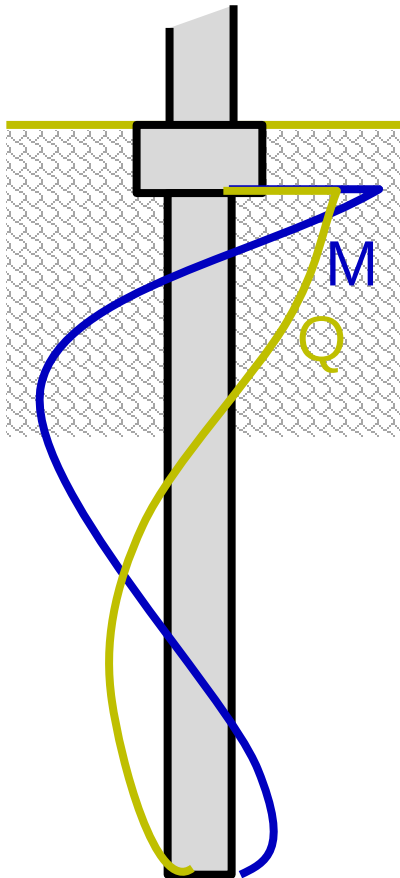
El comportamiento de los pilotes generalmente no es a fuerza axial pura, dado que:

- Existen Cargas Horizontales que se transmiten a las fundaciones:
 - Viento
 - Cargas sísmicas
 - Frenado y Balanceo
 - Impacto de embarcaciones y vehículos
 - Tiros de cables y tensores
 - Empujes de Suelo
- Los esquemas estáticos que pueden generar Momento y Corte en los apoyos

Comportamiento lateral de pilotes

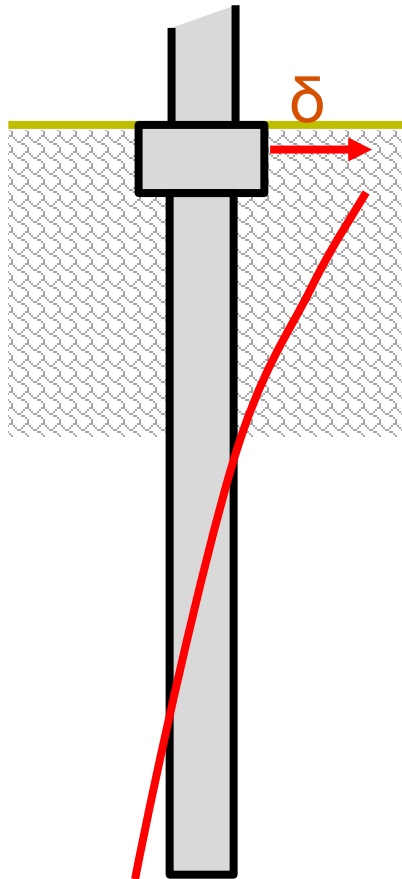
Las cargas horizontales y los momentos generan en los pilotes:

- Solicitaciones en el Pilote



Comportamiento lateral de pilotes

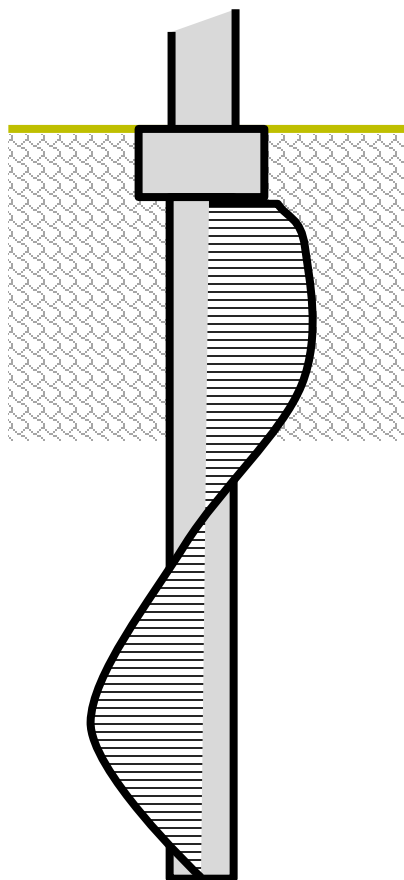
Las cargas horizontales y los momentos generan en los pilotes:



- Solicitaciones en el Pilote
- Deformación horizontal

Comportamiento lateral de pilotes

Las cargas horizontales y los momentos generan en los pilotes:



- Solicitaciones en el Pilote
- Deformación horizontal
- Tensiones horizontales en el terreno

Comportamiento lateral de pilotes

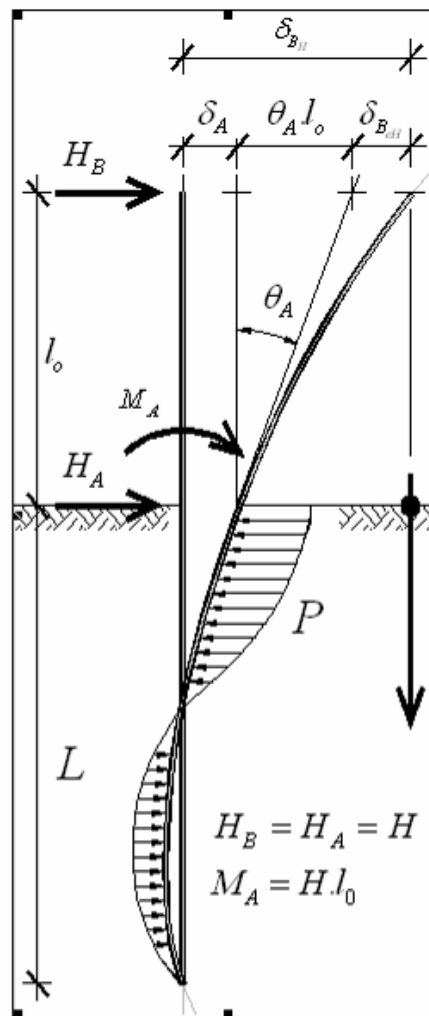
Existen distintas técnicas de análisis:

- Análisis aproximado mediante longitud de voladizo equivalente.
- **Análisis mediante resortes Winkler lineales**
- Análisis no-lineal mediante resortes Winkler no lineales tipo p-y
- Análisis lineal mediante interacción continuo – estructura
- Análisis no lineal mediante interacción continuo – estructura

Cargas horizontales

Los pilotes sometidos a cargas horizontales se diseñan mediante teoría de viga sobre medio elástico.

Puede emplearse un módulo de reacción no lineal.



$$\phi_e = 1.25m$$

$$t = 0.5in = 1.27cm$$

$$EJ = 2000MN \cdot m^2$$

$$n_h = 0.5MN/m^3$$

$$T = \sqrt[3]{EJ/n_h} = 5.25m$$

$$H_A = 125KN$$

$$M_A = 1.25MNm$$

$$\delta_A = \alpha_H \frac{HT^3}{EJ} + \alpha_M \frac{MT^2}{EJ} = 0.05m$$

$$\theta_A = \beta_H \frac{HT^2}{EJ} + \beta_M \frac{MT}{EJ} = 8.54 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_B = \delta_A + \theta_A l_0 + \frac{H l_0^3}{3EJ} = 0.156m$$

$$n_h = \frac{19EJ}{\left(\sqrt[3]{\frac{3EJ}{H}} \delta_B - l_0 \right)^5}$$

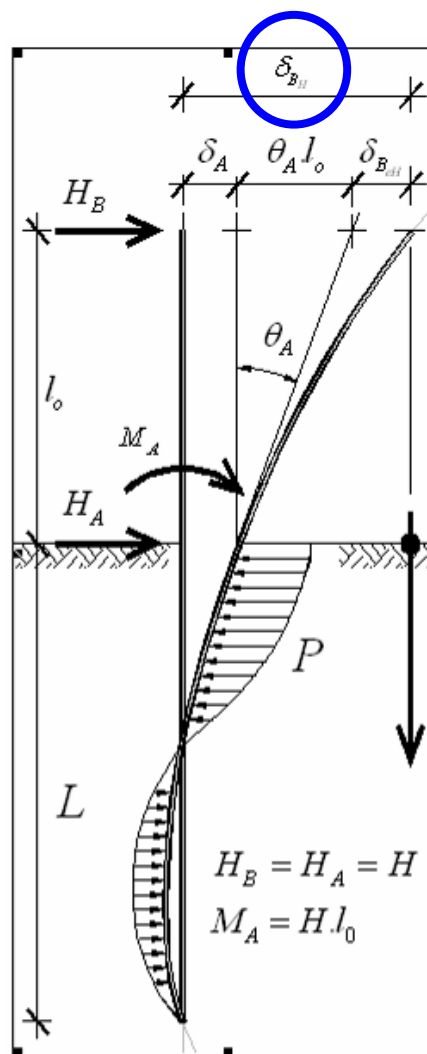
Matlock & Reese (1961)

Incognitas del problema

1. Flecha en el extremo superior:

Deformación horizontal.

Valores límites en función de la superestructura (materiales, uso, importancia, vida útil).



$$\phi_e = 1.25m$$

$$t = 0.5in = 1.27cm$$

$$EJ = 2000MN \cdot m^2$$

$$n_h = 0.5MN/m^3$$

$$T = \sqrt[3]{EJ/n_h} = 5.25m$$

$$H_A = 125KN$$

$$M_A = 1.25MNm$$

$$\delta_A = \alpha_H \frac{HT^3}{EJ} + \alpha_M \frac{MT^2}{EJ} = 0.05m$$

$$\theta_A = \beta_H \frac{HT^2}{EJ} + \beta_M \frac{MT}{EJ} = 8.54 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_B = \delta_A + \theta_A l_0 + \frac{Hl_0^3}{3EJ} = 0.156m$$

$$n_h = \frac{19EJ}{\left(\sqrt[3]{\frac{3EJ}{H}} \delta_B - l_0 \right)^5}$$

Matlock & Reese (1961)

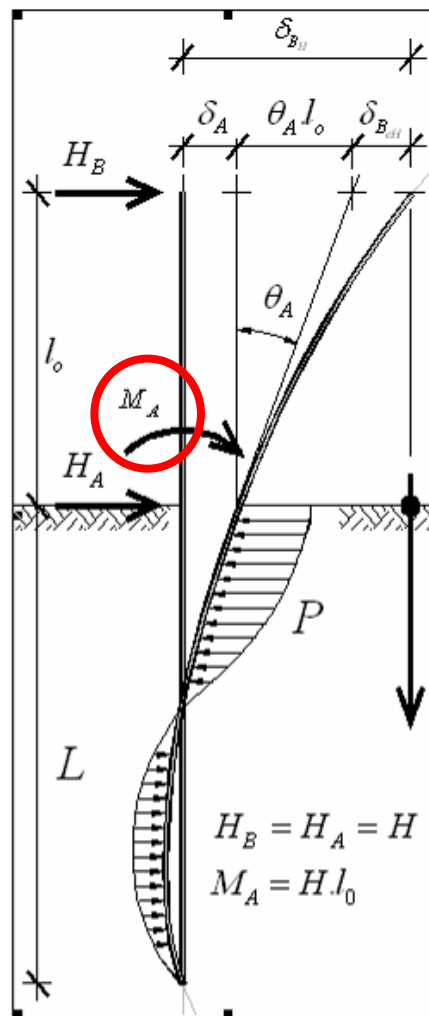
Incognitas del problema

1. Flecha en el extremo superior

2. Esfuerzos Máximos:

Dimensionamiento estructural.

La sección del pilote debe verificar a Flexo-compression y Corte



$$\phi_e = 1.25m$$

$$t = 0.5in = 1.27cm$$

$$EJ = 2000MN \cdot m^2$$

$$n_h = 0.5MN/m^3$$

$$T = \sqrt[3]{EJ/n_h} = 5.25m$$

$$H_A = 125KN$$

$$M_A = 1.25MNm$$

$$\delta_A = \alpha_H \frac{HT^3}{EJ} + \alpha_M \frac{MT^2}{EJ} = 0.05m$$

$$\theta_A = \beta_H \frac{HT^2}{EJ} + \beta_M \frac{MT}{EJ} = 8.54 \cdot 10^{-3}$$

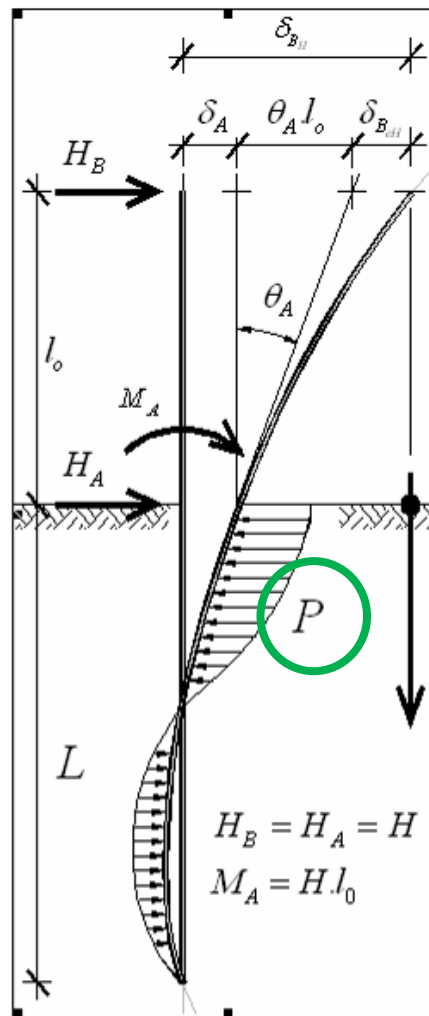
$$\delta_B = \delta_A + \theta_A l_0 + \frac{Hl_0^3}{3EJ} = 0.156m$$

$$n_h = \frac{19EJ}{\left(\sqrt[3]{\frac{3EJ}{H}} \delta_B - l_0 \right)^5}$$

Matlock & Reese (1961)

Incognitas del problema

1. Flecha en el extremo superior
2. Esfuerzos Máximos
3. Presión de contacto:
Verificación de presión de contacto con la Resistencia pasiva del suelo



$$\begin{aligned} \phi_e &= 1.25m \\ t &= 0.5in = 1.27cm \\ EJ &= 2000MN \cdot m^2 \\ n_h &= 0.5MN/m^3 \\ T &= \sqrt[3]{EJ/n_h} = 5.25m \\ H_A &= 125KN \\ M_A &= 1.25MNm \\ \delta_A &= \alpha_H \frac{HT^3}{EJ} + \alpha_M \frac{MT^2}{EJ} = 0.05m \\ \theta_A &= \beta_H \frac{HT^2}{EJ} + \beta_M \frac{MT}{EJ} = 8.54 \cdot 10^{-3} \\ \delta_B &= \delta_A + \theta_A l_0 + \frac{Hl_0^3}{3EJ} = 0.156m \\ n_h &= \frac{19EJ}{\left(\sqrt[3]{\frac{3EJ}{H}} \delta_B - l_0 \right)^5} \end{aligned}$$

Matlock & Reese (1961)

Estimación de parámetros de diseño

Coeficiente de balasto

Balasto vertical: $k_v = \chi E/B$

Balasto horizontal: $k_h = k_v/1.5$

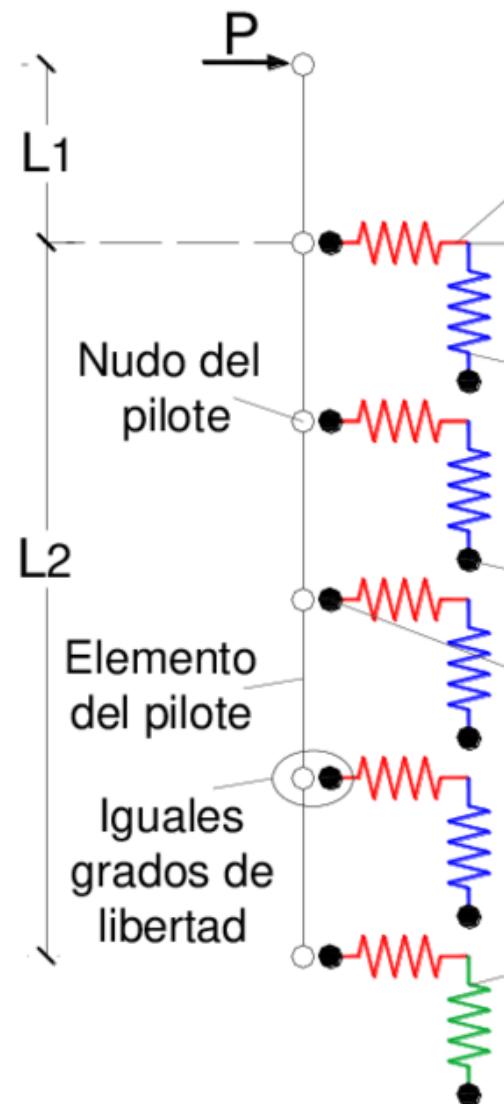
Suelos cohesivos: $\chi = 1.50$

Suelos friccionales: $\chi = 0.70$

Modulo de deformación:

En suelos cohesivos: $E = cte$

En suelos friccionales: $E \neq cte$



Estimación de parámetros de diseño

Coeficiente de balasto horizontal (Vesic 1961)

$$k_h = \frac{0.65}{D} \sqrt[12]{\frac{E_{50} D^4}{E_p J_p} \frac{E_{50}}{1 - \nu^2}}$$

En arenas: $E_{50} \cong 0.65 G_0$ (Función de la presión)

En arcillas NC: $E_{50} \cong 25 \sigma'_v$

En arcillas PC: $E_{50} \cong 150 s_u$

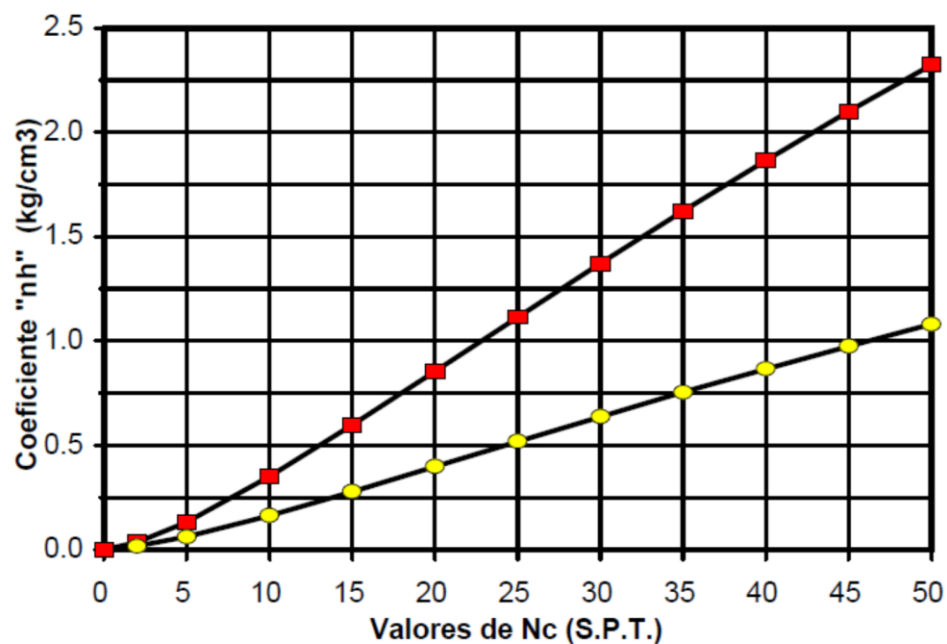
El módulo de reacción horizontal de un grupo de pilotes también se reduce en función de la separación entre pilotes y de la cantidad de pilotes. (Reese 2001)

Estimación de parámetros de diseño

Factor de flexibilidad relativa

En suelos cohesivos:
$$R = \sqrt[4]{\frac{E J}{k_h B}}$$

En suelos friccionales:
$$T = \sqrt[5]{\frac{E J}{n_h}}$$

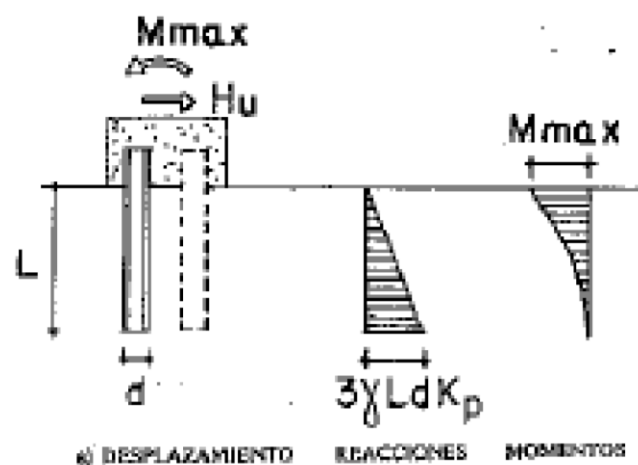


Rigidez relativa Suelo - Pilote

Pilote rígido (corto): $L/T \leq 2$

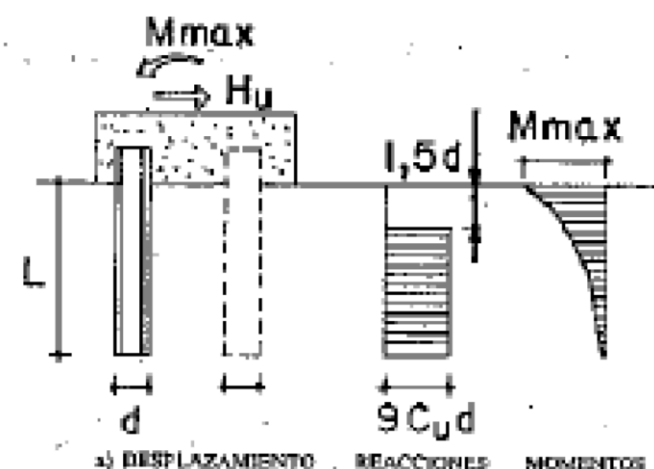
Pilote flexible (largo): $L/T \geq 4$ o $L/R \geq 3.5$

Pilotes cortos:



Suelo granular

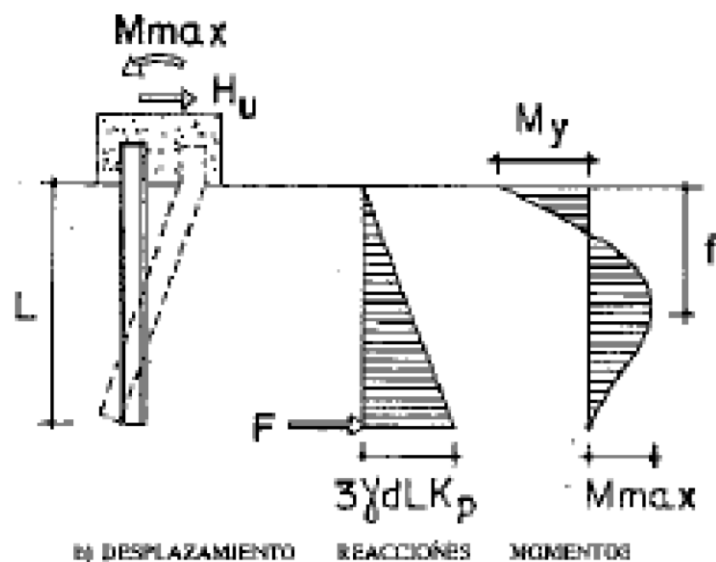
Comportamiento
como cuerpo rígido



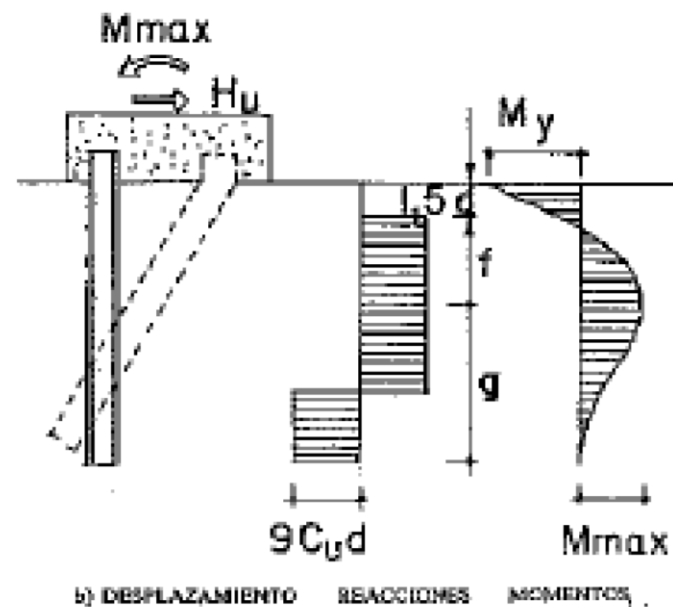
Suelo cohesivo

Rigidez relativa Suelo - Pilote

Pilotes intermedios:



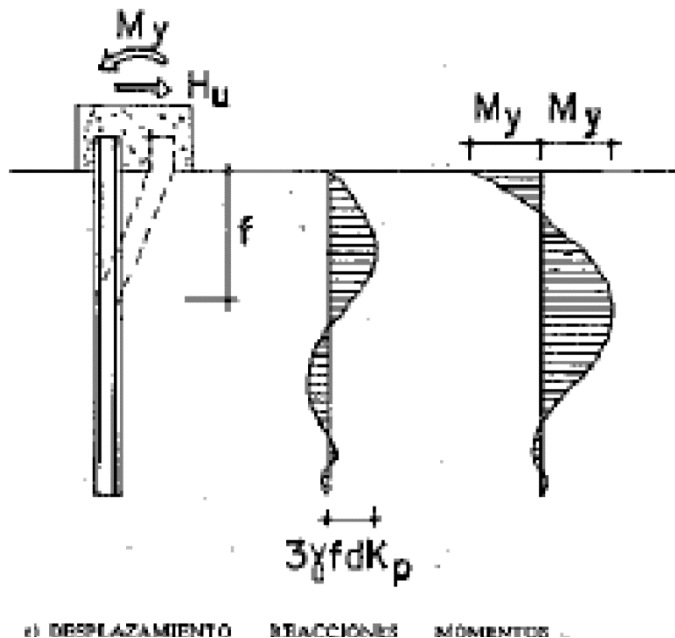
Suelo granular



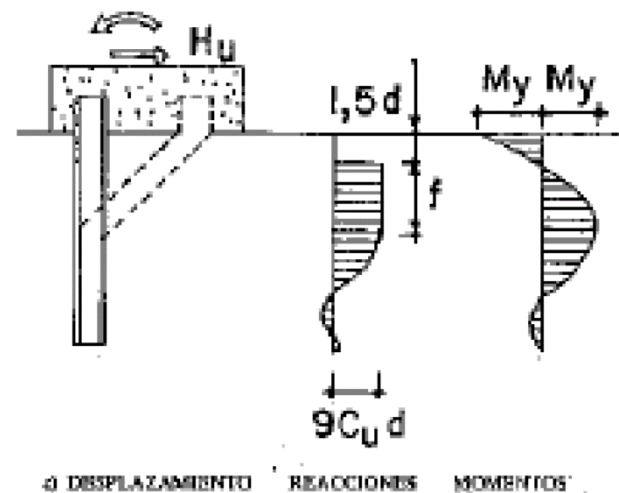
Suelo cohesivo

Rigidez relativa Suelo - Pilote

Pilotes largos:

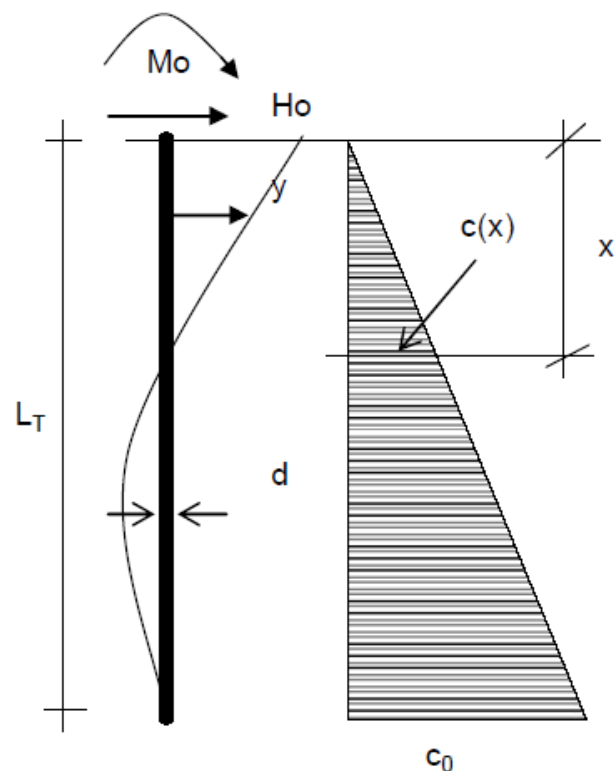


Suelo granular



Suelo cohesivo

Solución con balasto con variación lineal



$$C(x) = C_o \cdot \frac{x}{L_t}$$

$$k = C_o \cdot \frac{d}{L_t} \leq nh$$

d = diámetro o ancho

$$T = \sqrt[5]{\frac{E \cdot J}{nh}}$$

FORMULAS

$$T^5 = EJ / nh$$

$$x = Z * T$$

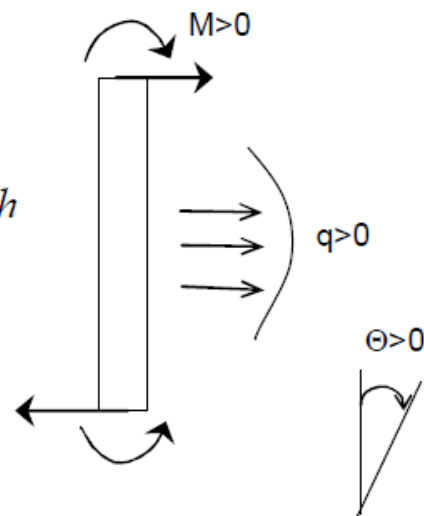
$$y = A_Y * (H_o * T^3) / EJ + B_Y * (M_o * T^2) / EJ$$

$$\Theta = A_S * (H_o * T^2) / EJ + B_S * (M_o * T) / EJ$$

$$M = A_M * H_o * T + B_M * M_o$$

$$Q = A_V * H_o + B_V * M / T$$

$$q = p * \delta = A_p * H_o / T + B_p * M_o / T^2$$



Coeficientes (para pilotes largos):

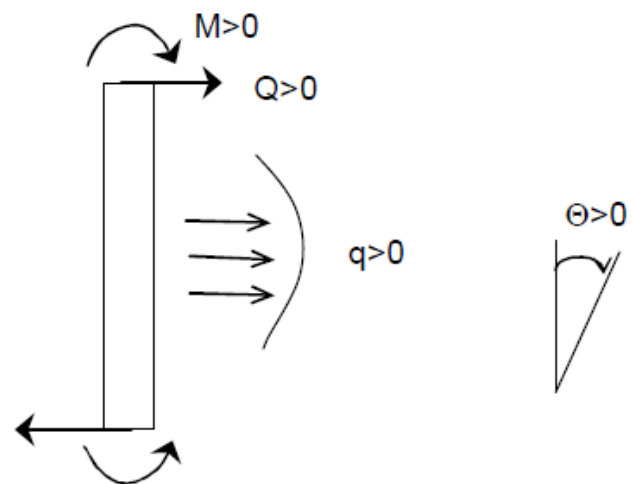
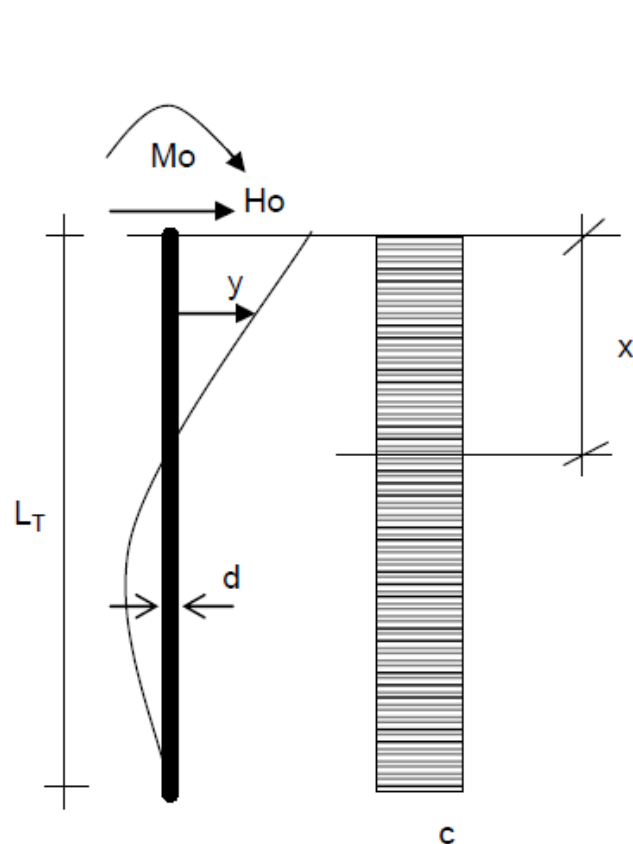
nh (Kg/cm ³)	No sumergida	Sumergida
suelta	0,25	0,14
medianam densa	0,74	0,54
densa	1,74	1,1

Solución con balasto con variación lineal

z	A _Y	A _S	A _M	A _V	A _p	B _Y	B _S	B _M	B _V	B _p
0,00	2,435	-1,623	0,000	1,000	0,000	1,623	-1,750	1,000	0,000	0,000
0,10	2,273	-1,618	0,100	0,989	-0,227	1,453	-1,650	1,000	-0,007	-0,145
0,20	2,112	-1,603	0,198	0,966	-0,422	1,293	-1,550	0,999	-0,028	-0,259
0,30	1,852	-1,578	0,291	0,906	-0,586	1,143	-1,450	0,994	-0,058	-0,343
0,40	1,796	-1,545	0,399	0,840	-0,718	1,003	-1,351	0,987	-0,095	-0,401
0,50	1,644	-1,503	0,459	0,769	-0,822	0,873	-1,253	0,976	-0,137	-0,436
0,60	1,496	-1,454	0,532	0,677	-0,897	0,752	-1,156	0,960	-0,181	-0,451
0,70	1,353	-1,347	0,595	0,585	-0,947	0,642	-1,061	0,939	-0,226	-0,449
0,80	1,216	-1,335	0,649	0,489	-0,973	0,540	-0,968	0,914	-0,270	-0,432
0,90	1,026	-1,268	0,693	0,392	-0,999	0,448	-0,878	0,885	-0,312	-0,403
1,00	0,964	-1,197	0,727	0,295	-0,962	0,364	-0,792	0,852	-0,350	-0,364
1,20	0,788	-1,047	0,767	0,109	-0,885	0,223	-0,629	0,775	-0,414	-0,268
1,40	0,544	-0,893	0,772	-0,056	-0,761	0,112	-0,482	0,688	-0,456	-0,157
1,60	0,381	-0,741	0,746	-0,193	-0,609	0,029	-0,354	0,594	-0,477	-0,047
1,80	0,247	-0,596	0,696	-0,298	-0,445	-0,030	-0,245	0,498	-0,476	-0,034
2,00	0,142	-0,464	0,628	-0,311	-0,283	-0,070	-0,155	0,404	-0,456	0,140
3,00	-0,075	-0,040	0,223	-0,349	0,226	-0,089	0,057	0,059	-0,213	0,268
4,00	-0,050	0,052	0,000	-0,406	0,201	-0,028	0,049	-0,042	0,017	0,112
5,00	-0,009	0,020	-0,033	-0,513	0,046	0,000	0,011	-0,026	0,029	-0,002

(Matlock y Reese)

Solución con balasto constante



FORMULAS

$$R = \sqrt[4]{\frac{E \cdot J}{k h \cdot d}}$$

$R^4 = 4 \cdot EJ / d \cdot kh$
$x = Z \cdot R$ $Z = x / R$
$y = A_Y \cdot (H_o \cdot R^3) / EJ + B_Y \cdot (M_o \cdot R^2) / EJ$
$\Theta = A_S \cdot (H_o \cdot R^2) / EJ + B_S \cdot (M_o \cdot R) / EJ$
$M = A_M \cdot H_o \cdot R + B_M \cdot M_o \cdot R$
$Q = A_V \cdot H_o + B_V \cdot M / R$
$q = p \cdot \delta = A_p \cdot H_o / R + B_p \cdot M_o / R^2$

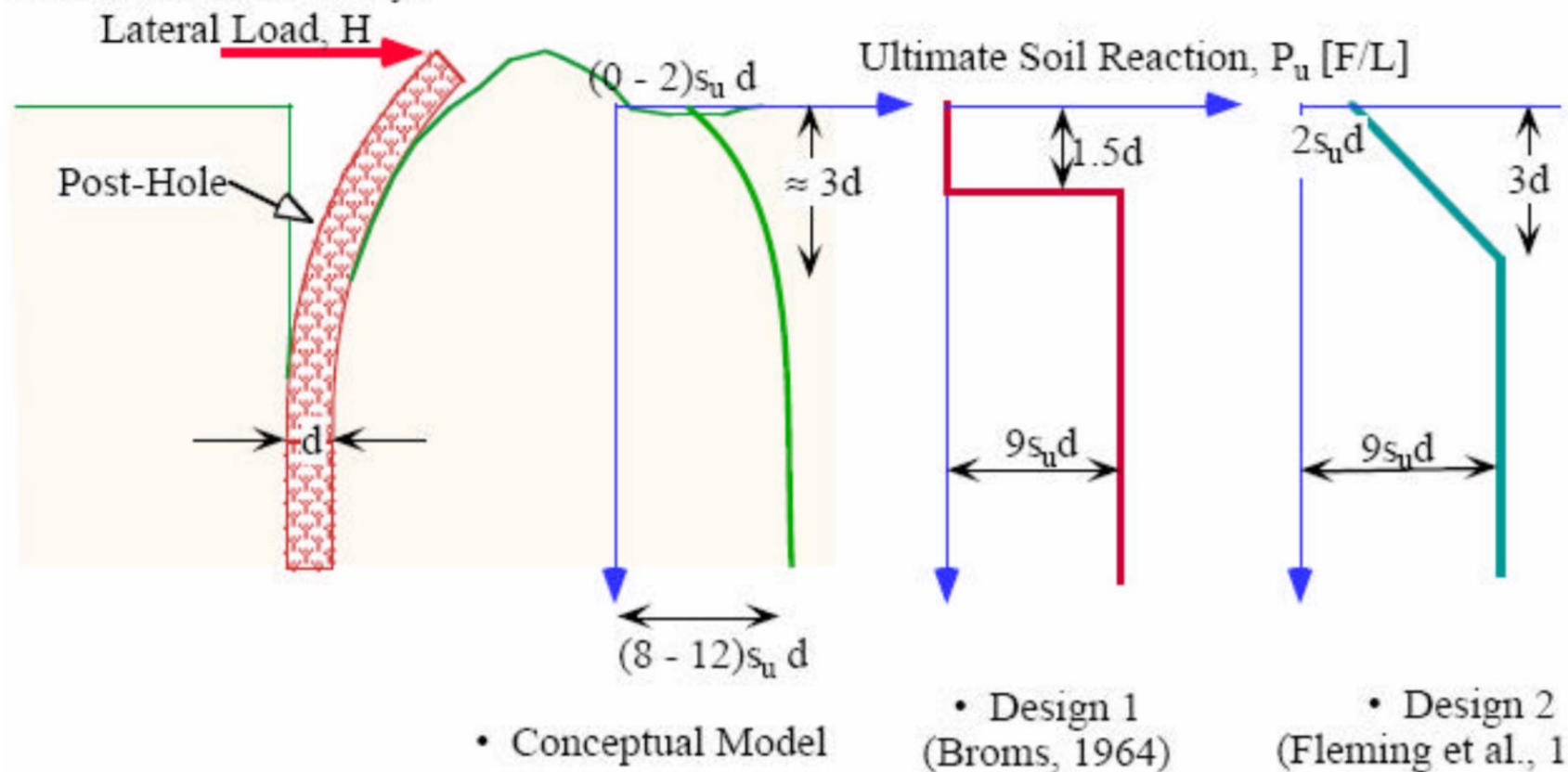
Solución con balasto con variación lineal

z	A _Y	A _S	A _M	A _V	A _p	B _Y	B _S	B _M	B _V	B _p
0,00	0,500	0,500	0,000	1,000	2,000	0,500	1,000	1,000	0,000	2,000
0,10	0,450	0,495	0,090	0,810	1,801	0,405	0,900	0,991	-0,181	1,628
0,20	0,401	0,483	0,163	0,640	1,605	0,320	0,802	0,965	-0,325	1,283
0,30	0,354	0,463	0,219	0,487	1,415	0,244	0,706	0,927	-0,458	0,998
0,40	0,309	0,439	0,261	0,356	1,235	0,178	0,617	0,898	-0,522	0,713
0,50	0,266	0,412	0,291	0,241	1,065	0,121	0,532	0,823	-0,582	0,483
0,60	0,226	0,381	0,310	0,143	0,906	0,072	0,453	0,763	-0,620	0,286
0,70	0,190	0,350	0,320	0,060	0,760	0,030	0,380	0,690	-0,640	0,120
0,80	0,157	0,318	0,322	-0,009	0,626	-0,005	0,313	0,635	-0,645	-0,019
0,90	0,126	0,286	0,318	-0,066	0,505	-0,033	0,253	0,571	-0,637	-0,131
1,00	0,099	0,254	0,318	-0,111	0,398	-0,055	0,199	0,508	-0,619	-0,222
1,20	0,055	0,195	0,281	-0,172	0,218	-0,086	0,107	0,390	-0,561	-0,347
1,40	0,021	0,142	0,243	-0,201	0,084	-0,101	0,042	0,285	-0,486	-0,408
1,60	-0,003	0,098	0,202	-0,208	-0,012	-0,104	-0,006	0,196	-0,404	-0,415
1,80	-0,019	0,062	0,161	-0,199	-0,075	-0,099	-0,038	0,123	-0,322	-0,399
2,00	-0,028	0,033	0,123	-0,179	-0,113	-0,090	-0,056	0,067	-0,246	-0,359
3,00	-0,025	-0,021	0,007	-0,056	-0,099	-0,028	-0,049	-0,042	-0,014	-0,113
4,00	-0,006	-0,013	-0,014	-0,002	-0,024	0,001	-0,012	-0,026	0,028	0,000
5,00	0,001	-0,002	-0,060	0,000	0,004	0,004	0,002	-0,005	0,013	0,017

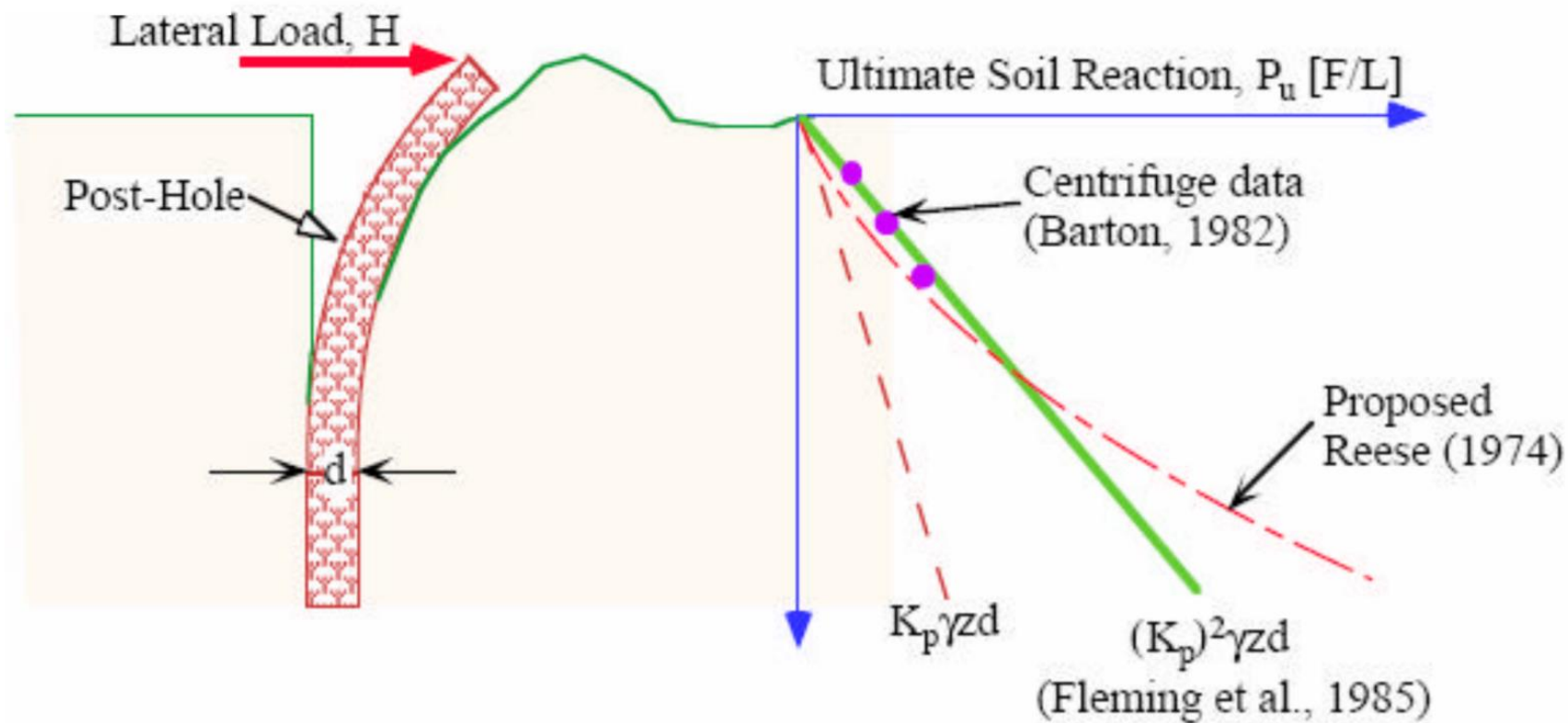
(Davisson y Gill)

Presión de falla en suelos cohesivos

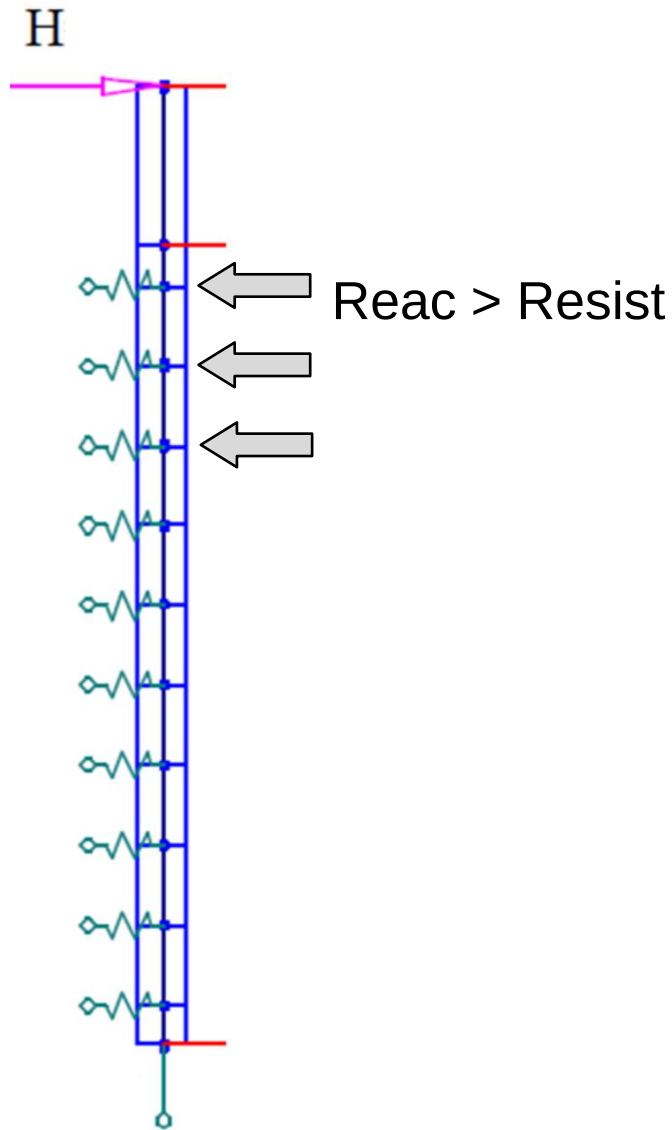
- Lateral Resistance in Clays:



Presión de falla en suelos no cohesivos

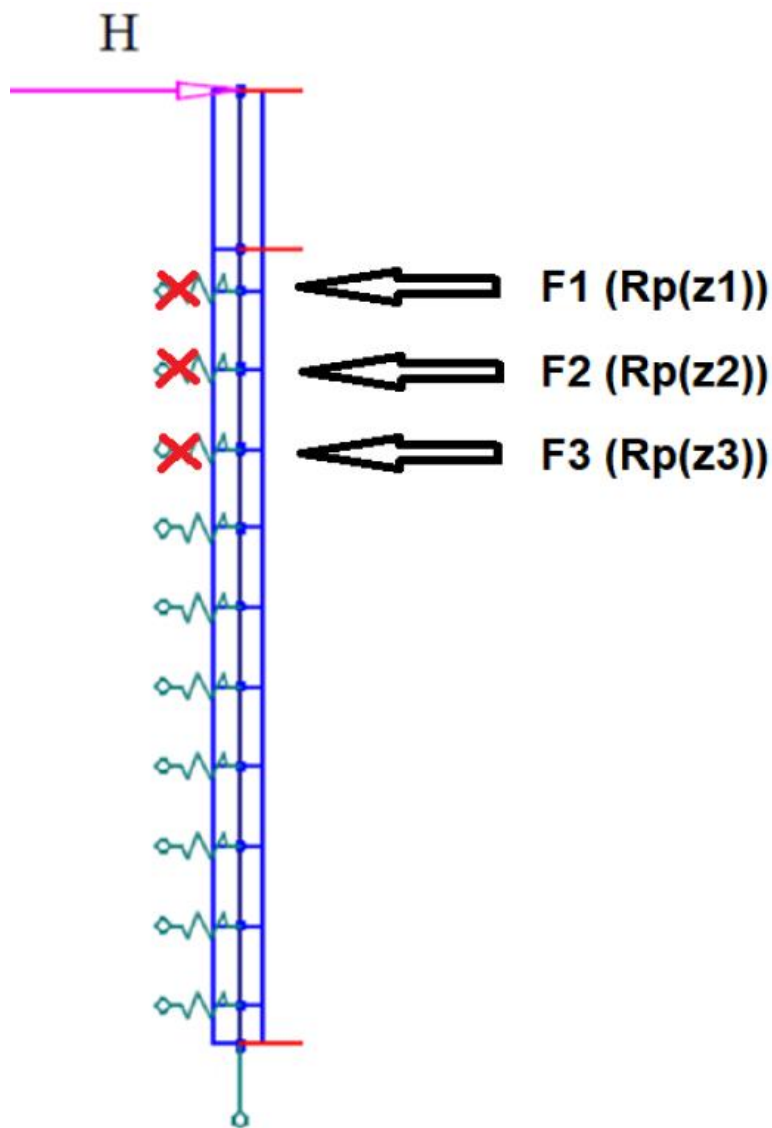


Modelo numérico



Si usamos apoyos lineales, el modelo sobrestima la resistencia pasiva del terreno en los apoyos superiores.

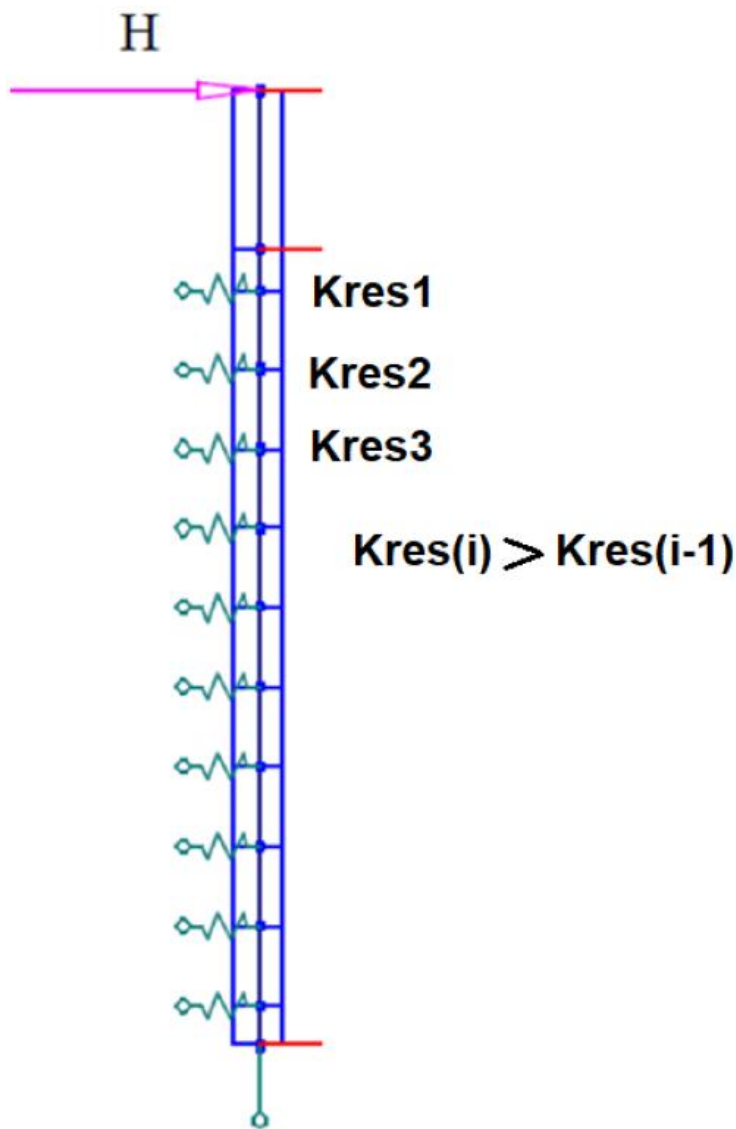
Modelo numérico



Soluciones:

1. Reemplazar resortes por fuerzas de igual valor a la resistencia pasiva del suelo a la profundidad del resorte.

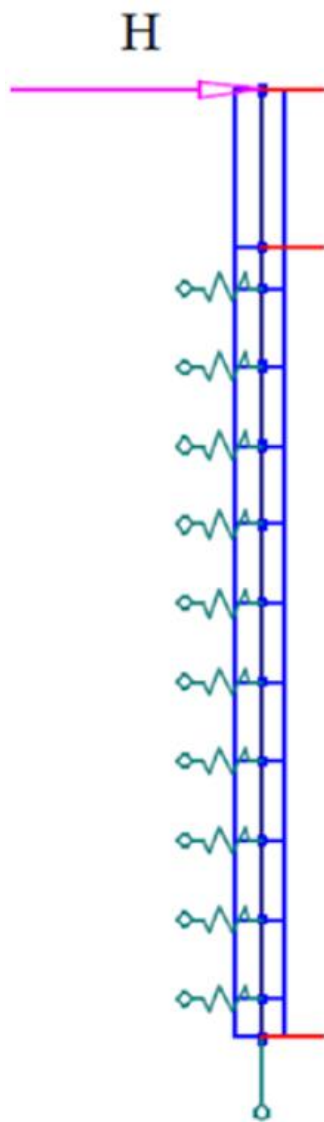
Modelo numérico



Soluciones:

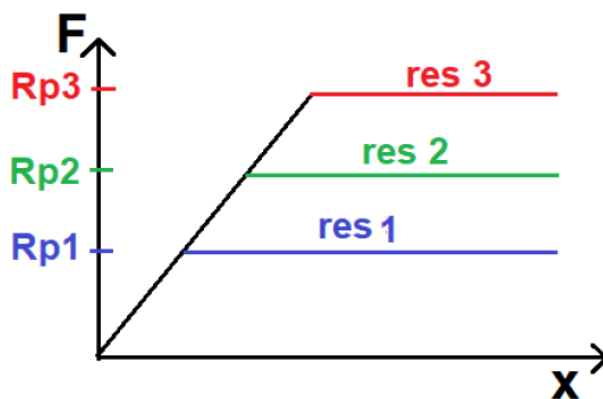
2. Modificar las constantes de los resortes superiores (Disminuyendo su rigidez) de forma tal de obtener un diagrama de resistencia pasiva físicamente compatible.

Modelo numérico



Soluciones:

3. Modelar comportamiento no lineal de los resortes.

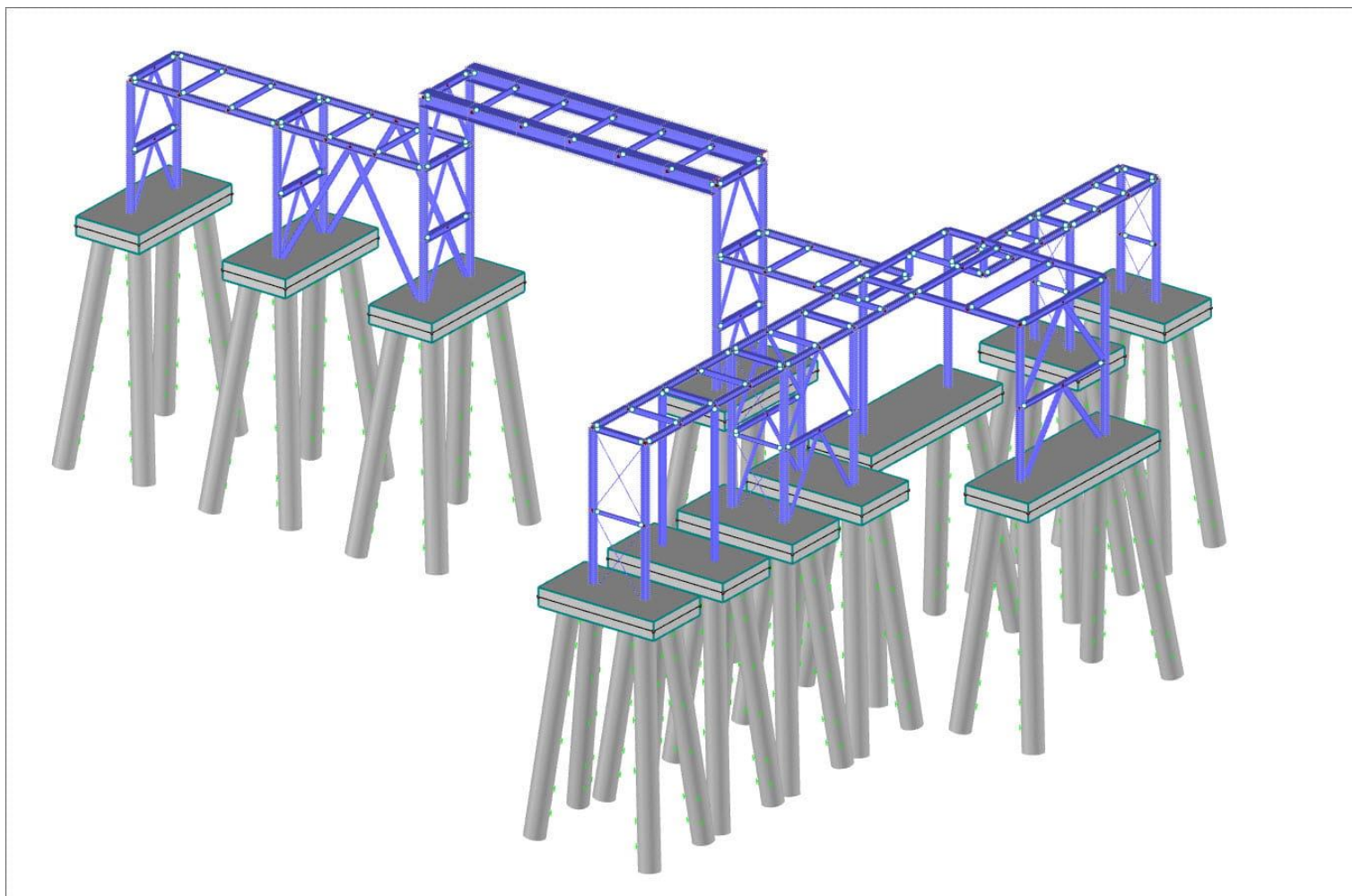


Modelos con Superestructura

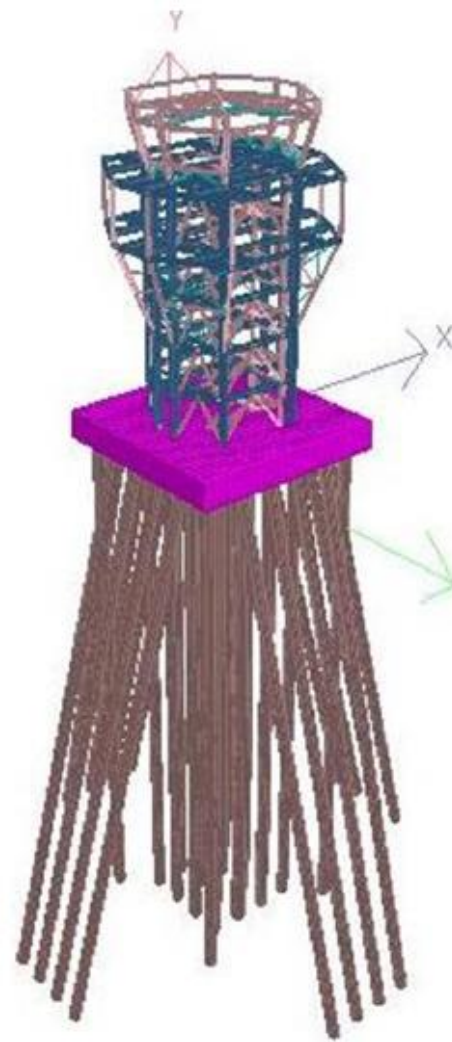
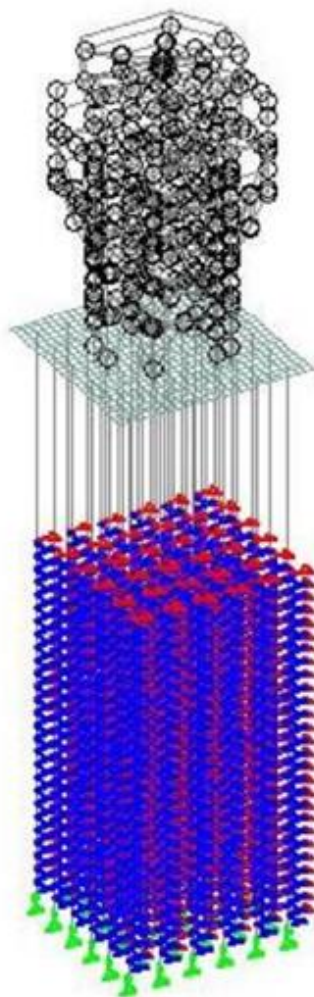
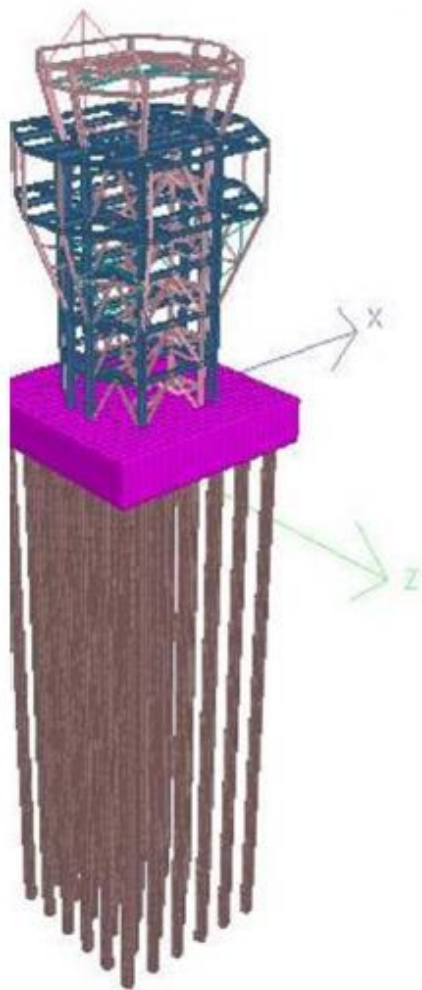
En algunas situaciones no es posible realizar por separado el modelo de la superestructura y las fundaciones profundas:

- Análisis Interacción Suelo-Estructura hiperestática.
- Análisis de Modos de Vibración y cargas dinámicas
- Análisis no-lineal
- Efectos de Segundo orden – carga debidas a la deformación
- Análisis no lineal mediante interacción continuo – estructura

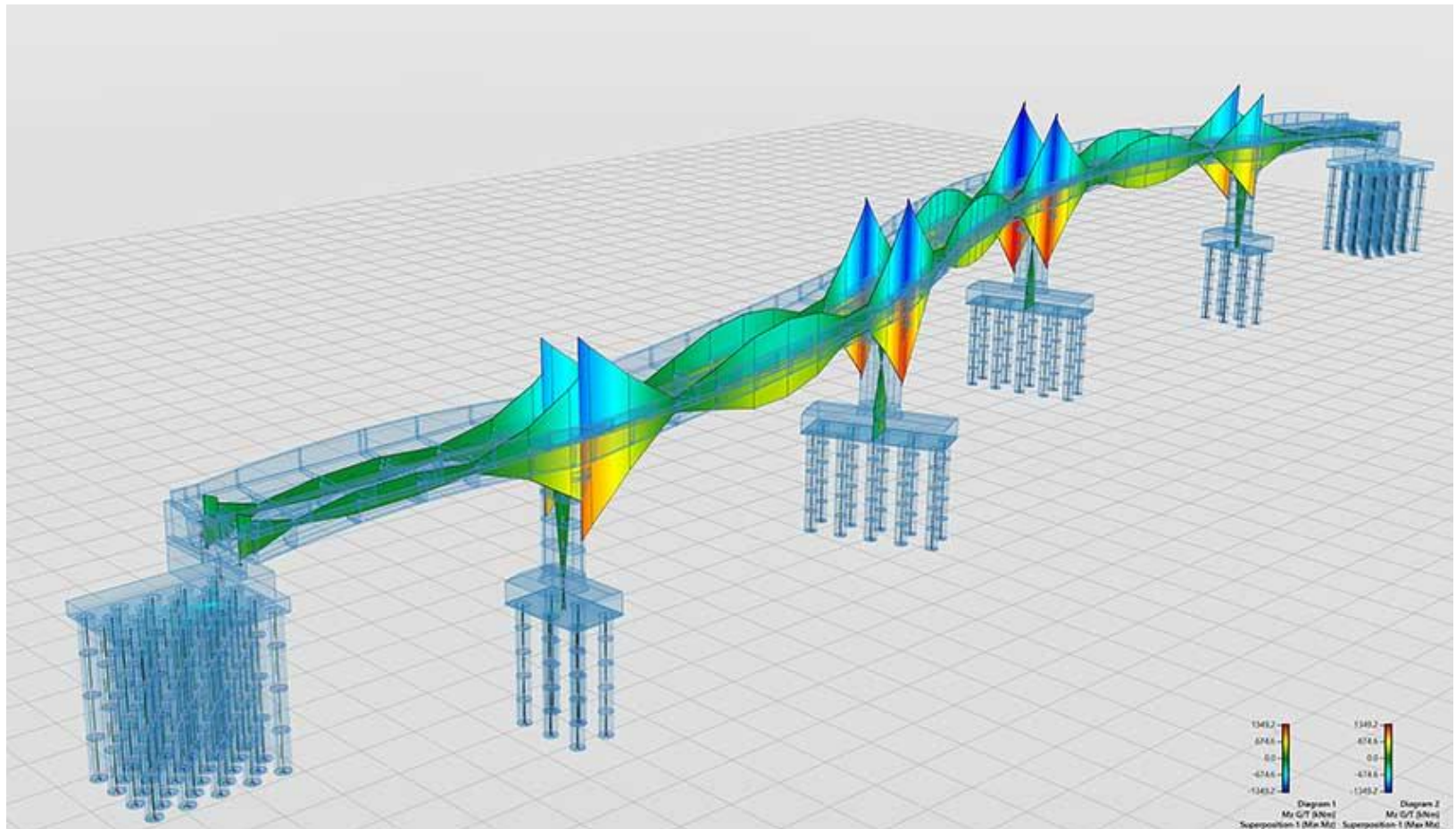
Modelos con Superestructura



Modelos con Superestructura



Modelos con Superestructura





FIN

GRACIAS POR SU ATENCION !!!