

# **CAPACIDAD DE SOPORTE DE FUNDACIONES SUPERFICIALES INSERTADAS EN ARENA**

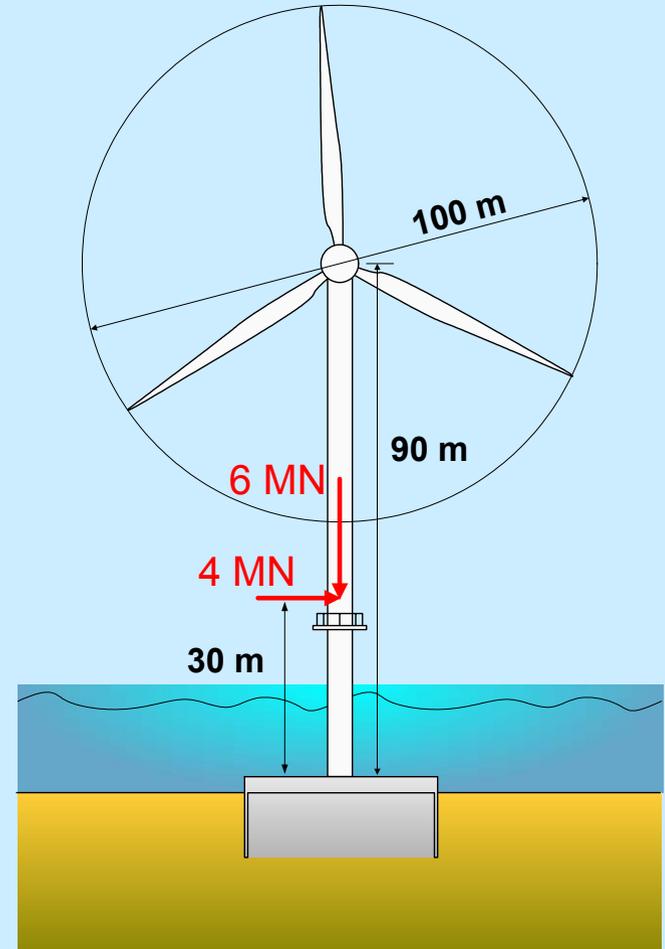
**Felipe Villalobos**

**Universidad Católica de la Santísima Concepción**

# Aplicaciones costa afuera de fundaciones superficiales insertadas



Instalaciones petroleras y de gas



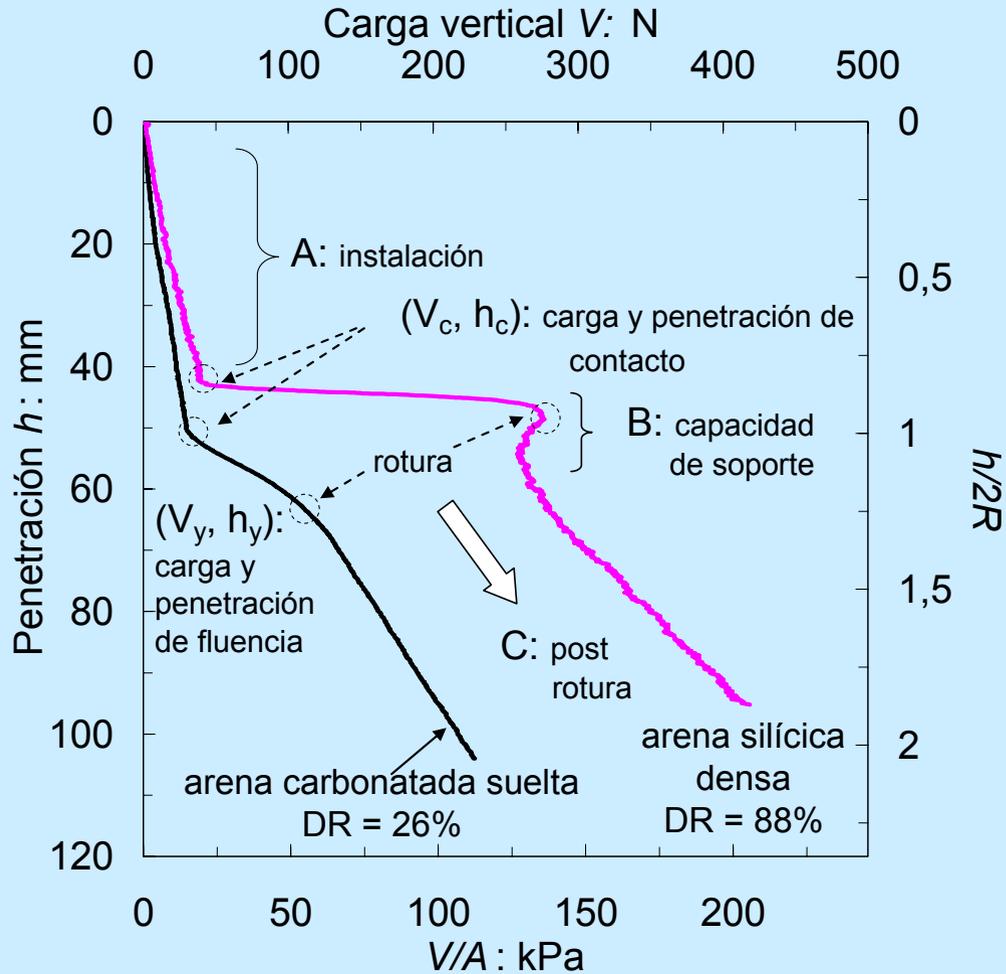
Aerogeneradores en el mar

# ¿Para qué estudiar la capacidad de soporte de fundaciones superficiales?

- Capacidad de soporte última bajo carga vertical
- Capacidad de soporte como una secuencia de etapas de carga
- Formulación de una ley de endurecimiento en teoría de la plasticidad

# Secuencia de carga

## Curvas carga-desplazamiento



# Capacidad de soporte de fundaciones superficiales

- Por más de 80 años se ha buscado una solución rigurosa, sin empiricismo ( $N_\gamma$  y factores) ni efectos de superposición
- Hoy en día existen soluciones rigurosas para zapatas superficiales corridas, circulares y cónicas, pero no todavía para zapatas con *bordes o mantos* insertados
- Se asume un mecanismo de falla general de corte, el cual es válido solo en suelos densos
- En fundaciones con *bordes* insertados las propiedades iniciales del suelo cambian durante la instalación, lo cual dificulta el posterior análisis de capacidad de soporte

# Capacidad de soporte $V_o$ de una fundación con bordes insertados

$$V_o = 2\pi R_e \int_0^h \tau_e dz + (\sigma'_v N_q + \gamma_d R_e N_\gamma) A_e$$

$$2\pi R_e \int_0^h \tau_e dz = 2\pi R_e \gamma_d (K_P \tan \delta')_e h^2$$

$N_q$  (Bolton y Lau 1993) y  $N_\gamma$  (Martin 2005) para zapatas circulares

$$K_P \approx 2 \text{ y } \delta' = 16^\circ \rightarrow (K_P \tan \delta')_e \approx 0.6$$

# Descripción de los ensayos

## Propiedades geotécnicas de las arenas usadas en los ensayos

| Propiedad                                  | Arena Dogs Bay | Arena Leighton Buzzard |
|--|----------------|------------------------|
| Mineralogía                                | carbonatada    | silícica               |
| $D_{10}$ : mm                              | 0.11           | 0.63                   |
| $D_{30}$ : mm                              | 0.18           | 0.70                   |
| $D_{50}$ : mm                              | 0.24           | 0.80                   |
| $D_{60}$ : mm                              | 0.29           | 0.85                   |
| $C_u$                                      | 2.66           | 1.36                   |
| $C_c$                                      | 1.00           | 0.92                   |
| $G_s$                                      | 2.75           | 2.65                   |
| $\gamma_{d \text{ min}}$ : $\text{kN/m}^3$ | 9.52           | 14.65                  |
| $\gamma_{d \text{ max}}$ : $\text{kN/m}^3$ | 13.60          | 17.58                  |
| $e_{\text{min}}$                           | 0.984          | 0.479                  |
| $e_{\text{max}}$                           | 1.834          | 0.774                  |
| $\phi'_{\text{cs}}$ : ( $^\circ$ )         | 40.3           | 33.0                   |

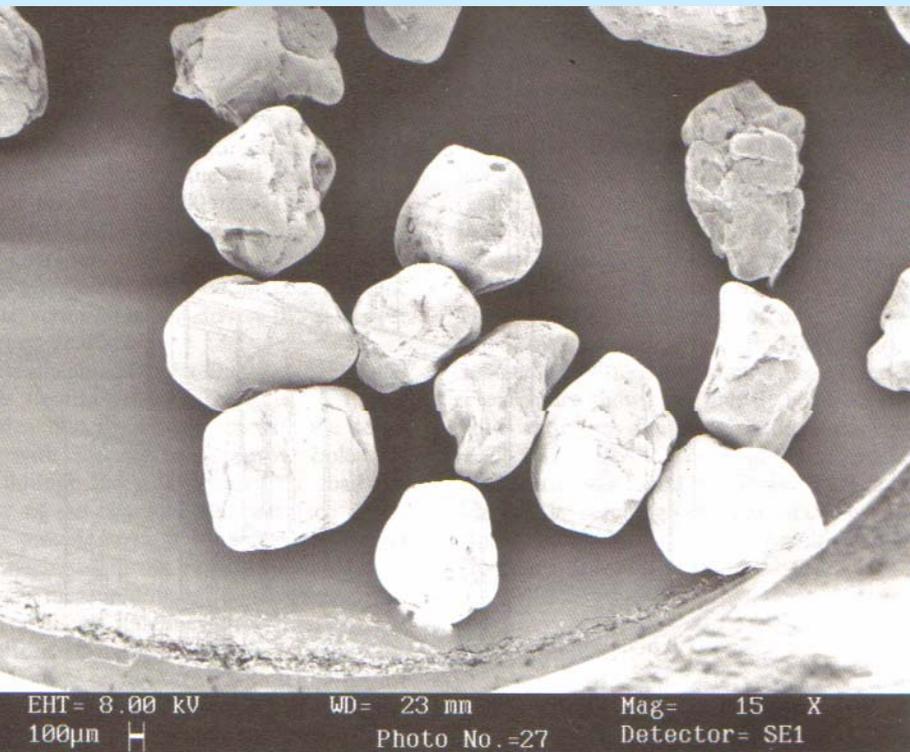


Modelos de zapatas de 50.9 mm de diámetro hechas de tubos de bronce

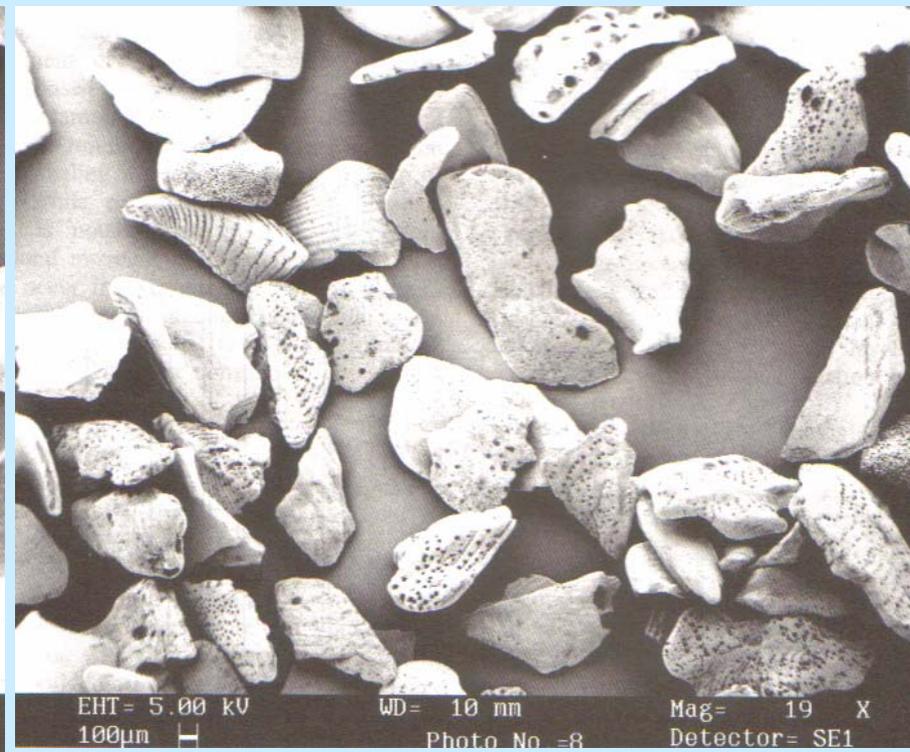
$L$  (mm): 0, 13.3, 26, 38.7, 51, 76.9 y 102.1

$L/2R$ : 0, 0.26, 0.51, 0.76, 1, 1.51 y 2.01

# Fotos de microscopía de escáner de electrón (Bowman et al. 2001)



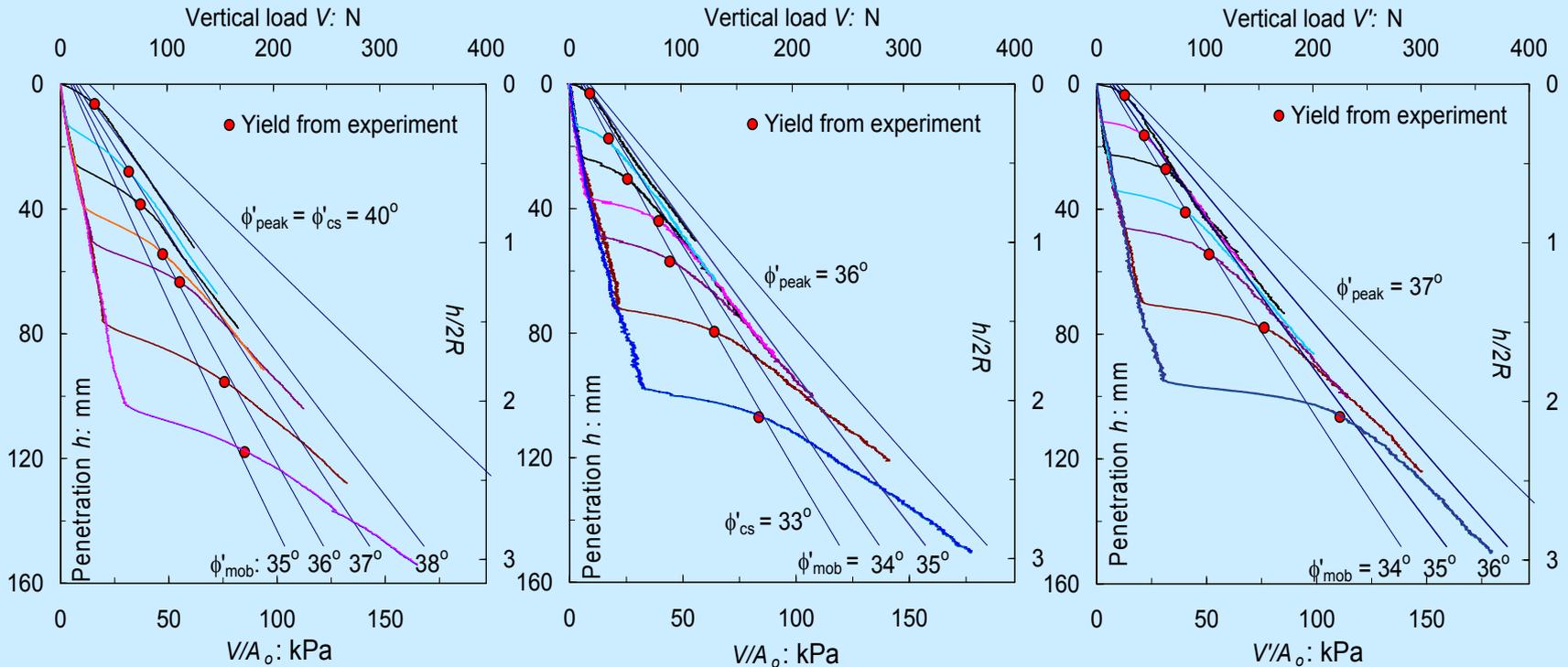
Arena Leighton Buzzard  
(granos semi redondeados)



Arena Dogs Bay (fragmentos de  
moluscos angulares)

# Resultados de los ensayos

## ARENA SUELTA



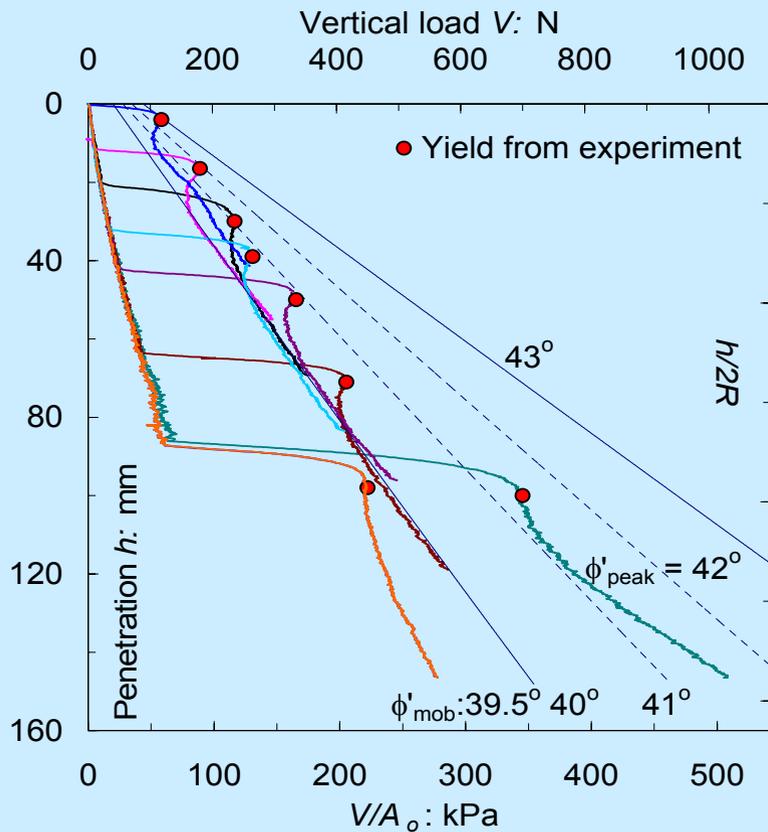
a) Dogs Bay  
DR = 26%

b) Leighton Buzzard  
DR = 40%

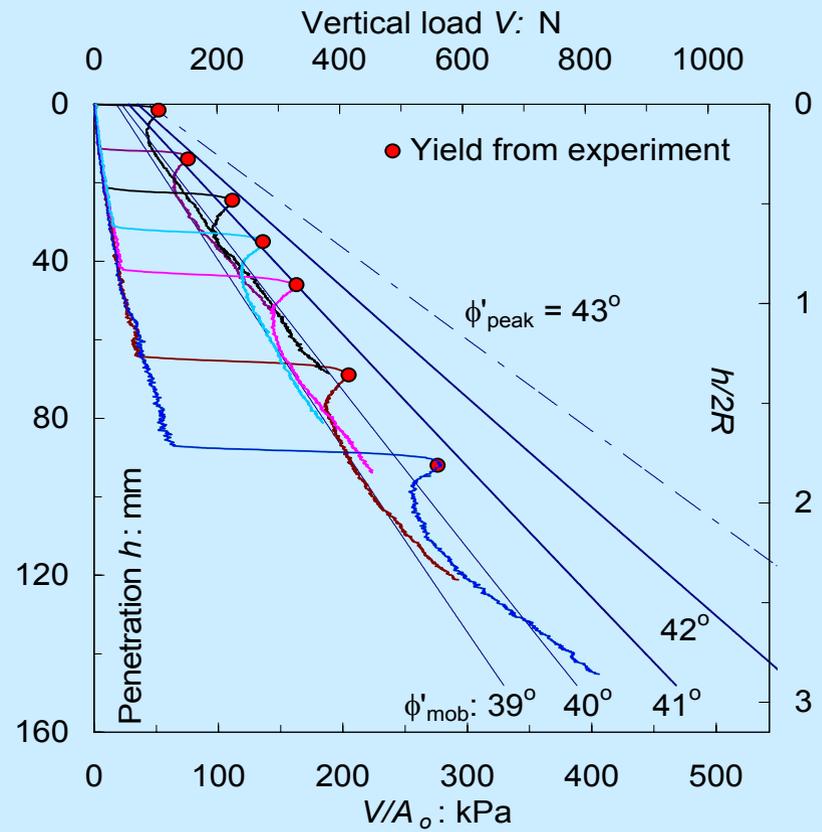
c) Leighton Buzzard  
DR = 47%

# Resultados de los ensayos

## ARENA DENSA

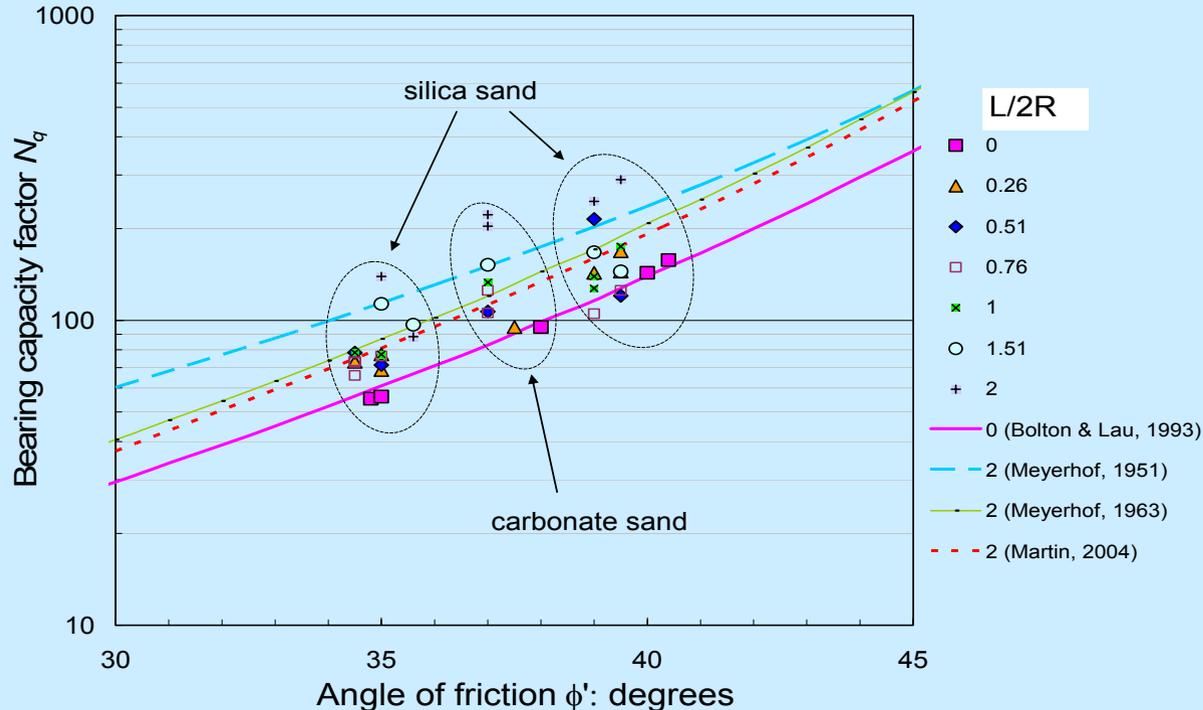


a) Leighton Buzzard  
DR = 83%



b) Leighton Buzzard  
DR = 88%

# $N_q$ para zapatas circulares

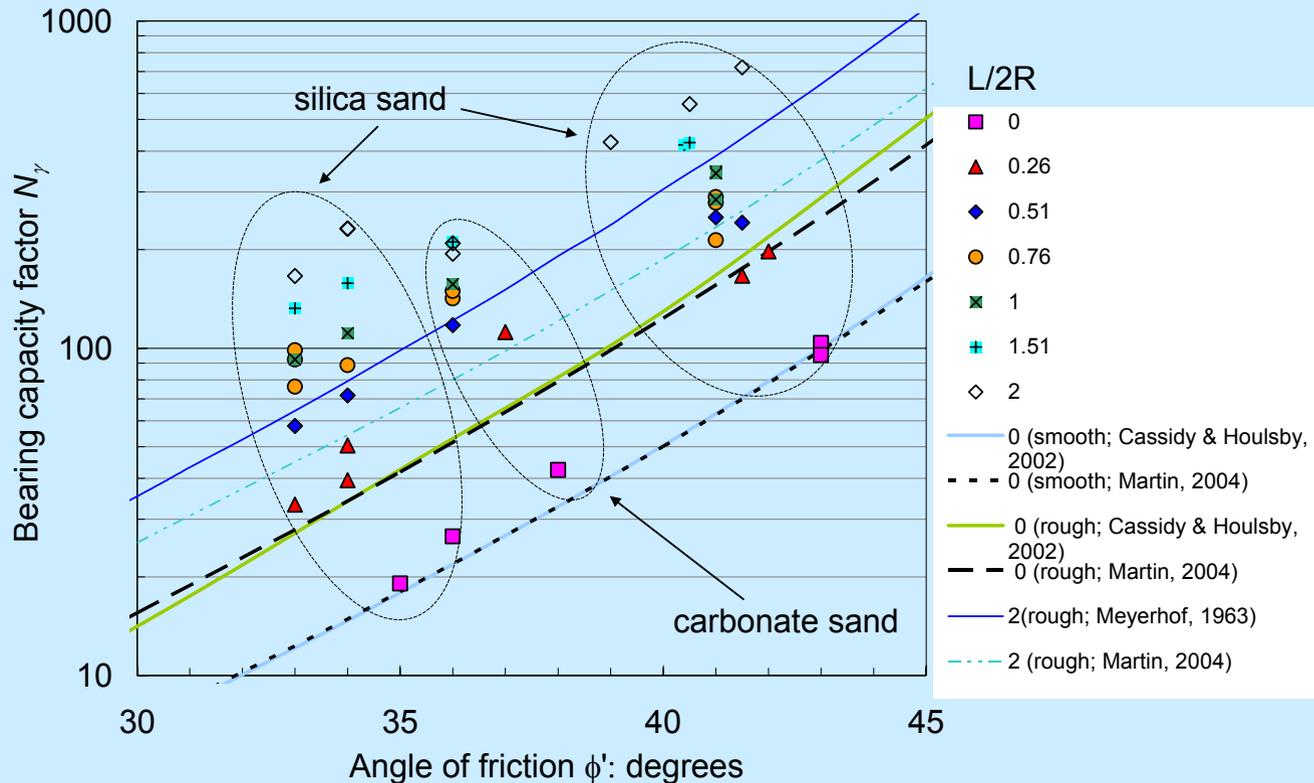


Valores experimentales comparados con valores teóricos

$$N_q = \frac{1}{\gamma_d \pi R^2} \frac{\Delta V'}{\Delta w}$$

La reducción de  $N_q$  debido a la fricción en las paredes de la zapata es despreciable

# $N_\gamma$ para zapatas circulares



Valores experimentales comparados con valores teóricos

$$N_\gamma = \frac{V_y - F}{\gamma_d \pi R^2}$$

# Conclusiones

- La capacidad de soporte aumenta con el largo  $L$  de la zapata
- Se encontró que la capacidad de soporte debe calcularse con el valor del ángulo de fricción movilizado, el uso de  $\phi'_{peak}$  induce a sobrestimaciones de la capacidad de soporte
- En la arena carbonatada suelta no se llegó al estado crítico,  $\phi'_{mov} < \phi'_{peak}$  (falla por punzonamiento)
- En la arena silícica suelta se llegó al estado crítico,  $\phi'_{mov} = \phi'_{cs}$  (falla de corte local)
- En la arena silícica densa la dilatación controló la respuesta de la fundación. La formación de un tapón de arena al interior de la zapata redujo  $\phi'_{mov}$  por debajo de  $\phi'_{peak}$  (falla de corte general)

# Conclusiones

- Valores experimentales de  $N_q$  fueron obtenidos durante la respuesta en endurecimiento después de la rotura
- $N_q$  aumenta con  $L$  (sobrecarga).  $N_q$  teórico estima bien los valores experimentales solo para  $L/2R = 0$ , para  $L/2R = 2$  ellos son subestimados
- $N_\gamma$  concuerda con los valores experimentales para  $L/2R = 0$  y base lisa
- Para  $L/2R > 0$   $N_g$  aumenta considerablemente debido al contacto rugoso suelo-suelo bajo zapata

[www.civil.ucsc.cl](http://www.civil.ucsc.cl)

[avillalobos@ucsc.cl](mailto:avillalobos@ucsc.cl)

