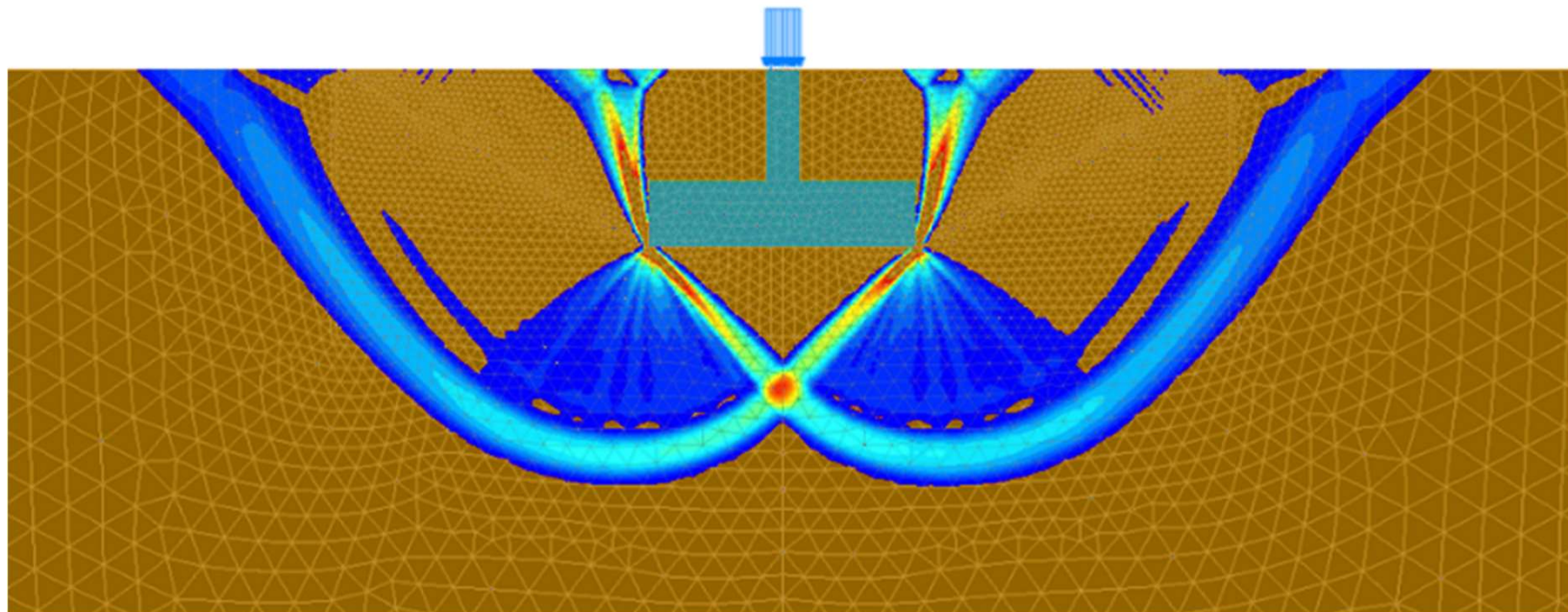


Diseño de fundaciones superficiales



Mecánica de Suelos y Geología
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Índice



virtualuniversity.issmge.org

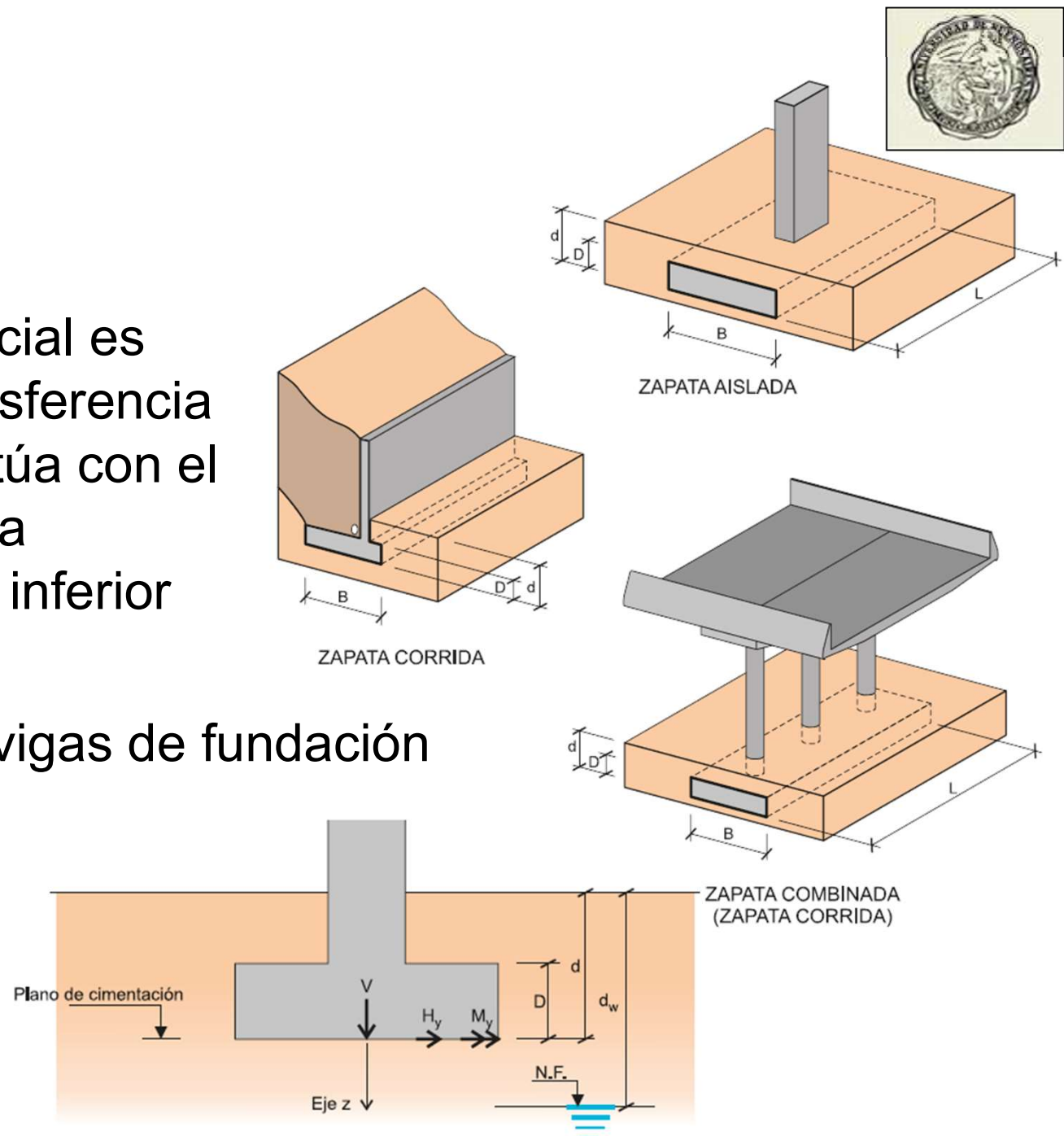
- Estados límite
- Diseño para el estado límite último
- Diseño para el estado límite de servicio
- Incertidumbre de los parámetros geotécnicos
- El erróneo concepto de la presión admisible
- Construyendo CIRSOC 402

The poster is for an ISSMGE webinar. At the top, it says 'International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering'. Below that, the title is 'Basic Geotechnical Engineering Skills. What Can Graduates Do?'. There is a central image of a man (John Atkinson) with a red play button overlay. To the right of the man are three small images: a yellow chicken, a landscape with a road, and a vertical soil sample. Below the images, it says 'ISSMGE J. Burland Honour Lecture, organized by TC 306 on Education'. At the bottom, it says 'Part of ISSMGE's webinar series 20th October 2016 @ 12 noon GMT'. On the left, it says 'Delivered by: John Atkinson, MSc, PhD, FICE, CEng, FGS, CGeol, Emeritus Professor of Soil Mechanics: City, University of London.' On the right, it says 'Questions will be open for submission for two days following the presentation on the ISSMGE'.

Definiciones

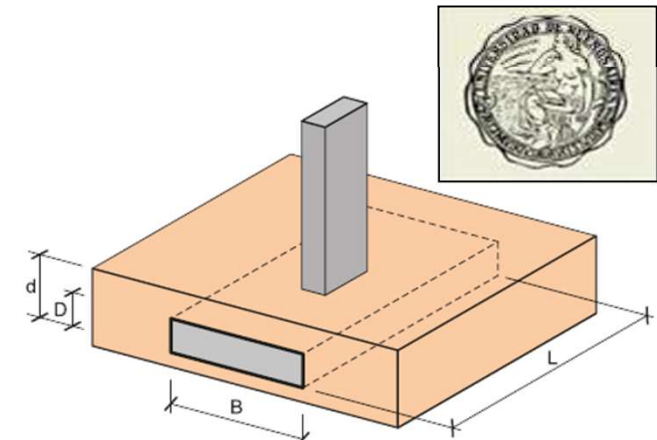
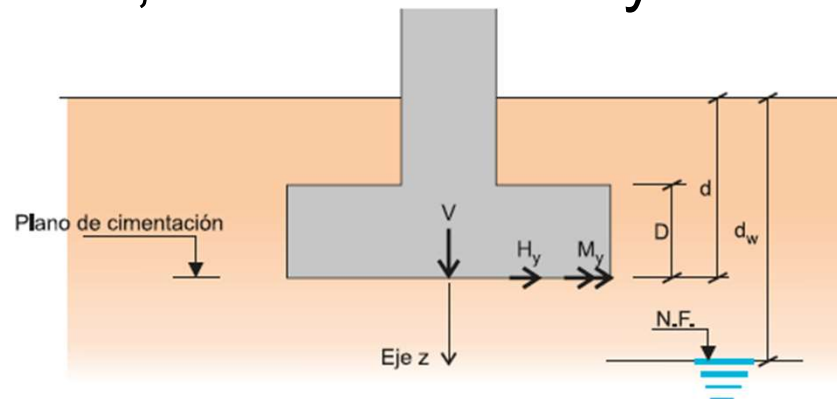
Una fundación superficial es una estructura de transferencia de cargas que interactúa con el terreno a través de una superficie de contacto inferior

- Zapatas aisladas
- Zapatas corridas y vigas de fundación
- Plateas

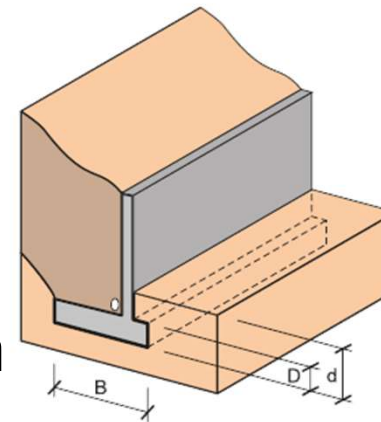


Nomenclatura

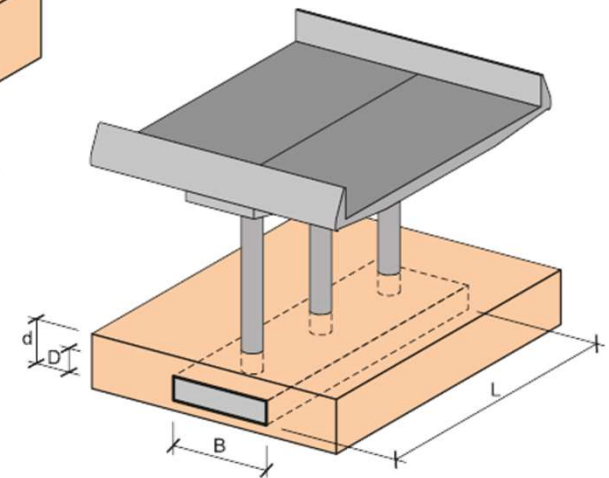
- B : lado menor
- L : lado mayor
- D : altura
- d : profundidad de implantación
- d_w : profundidad de la napa
- V : carga normal al plano de fundación
- H_x, H_y : cargas paralelas, direcciones x e y
- M_x, M_y : momentos, direcciones x e y



ZAPATA AISLADA



ZAPATA CORRIDA

ZAPATA COMBINADA
(ZAPATA CORRIDA)

Estados límite



Estado Límite Último (ULS): combinación de cargas y resistencias en la cual la estructura está a punto de fallar (ejemplo: hundimiento de una zapata)

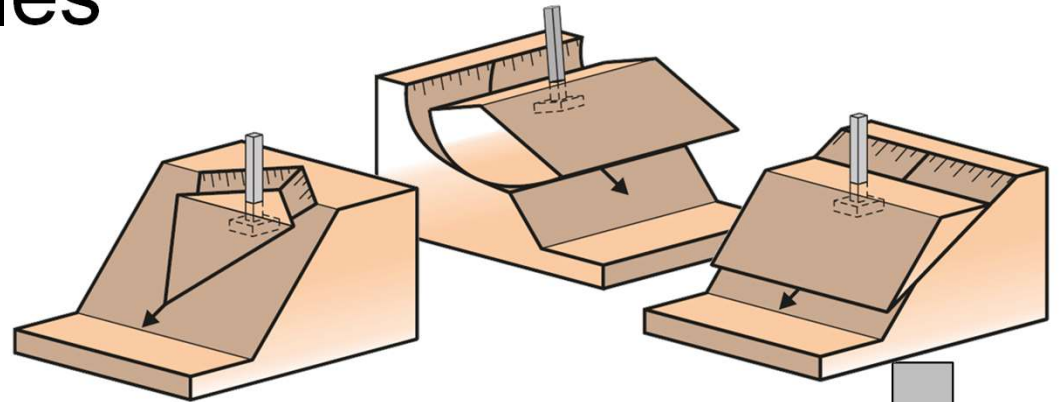
Estado Límite de Servicio (SLS): combinación en la que la estructura sale de servicio, aunque no falle (ejemplo: asentamiento excesivo de una zapata)

Estado Límite Extremo (ELS): combinación que tiene un período de recurrencia mayor a la vida útil de la estructura (ejemplo: asentamiento de una zapata por acción sísmica)

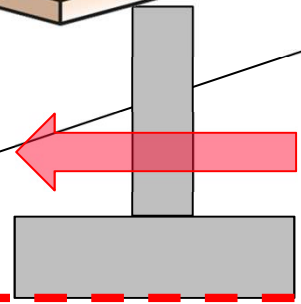
Estados límite *ULS* aplicados a fundaciones superficiales



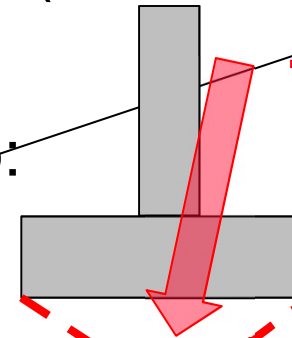
Pérdida de estabilidad global:
la falla no toca la fundación



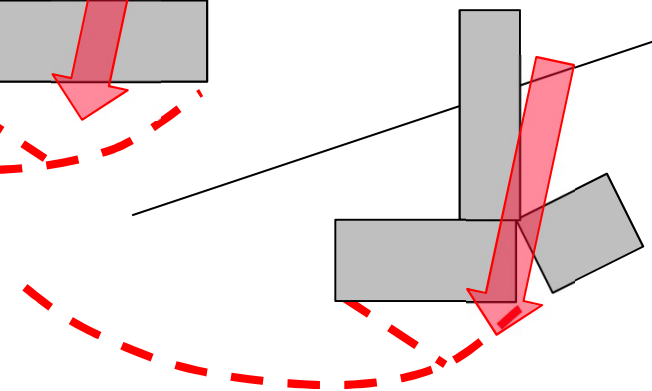
Falla por deslizamiento: el suelo que falla
es el que está en contacto con la zapata (como muros)



Falla por capacidad portante del terreno:
la zapata se hunde pero no se fractura



Falla estructural, o combinada
geotécnica-estructural, o asentamiento
excesivo



Métodos de diseño de fundaciones superficiales



Métodos directos: se verifica cada estado límite en forma independiente

1. *ULS*: asumiendo comportamiento rígido plástico (métodos de equilibrio o estado límite, Vesic o Brinch-Hansen)
2. *SLS*: asumiendo comportamiento elástico (por ej. Schmertmann) y (eventualmente) compresión edométrica

Métodos indirectos: correlaciones con ensayos de campo o laboratorio (por ej. SPT o CPT), “cubren” *ULS* y *SLS* a la vez

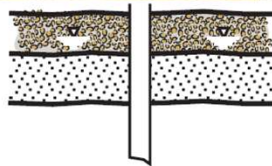
Métodos numéricos: resuelven *ULS* y *SLS* a la vez pero no permiten aislar cada estado límite para su análisis independiente

Métodos experimentales: ensayos de carga, medidas prescriptivas (experiencia), método observacional

El proceso de diseño

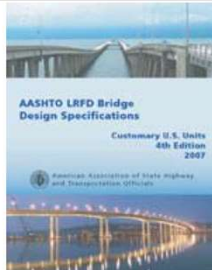


Soil sampling and testing for engineering material parameters



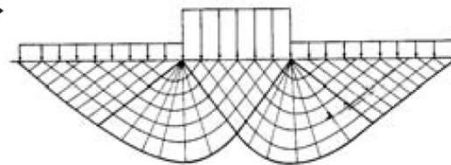
Uncertainty due to site, material and testing variability, and estimation of parameters

Code of practice



Traditional design, although developed over many years and used as a benchmark, has undocumented, unknown uncertainty

Analysis model



Assumed Failure Pattern under Foundations

Uncertainty in the assumptions made in the model development leaves unknown analysis versus actual performance



FOUNDATION DESIGN



Method of Approach

- **LOAD** Use the load uncertainty from the structures (until better research is done)
- **RESISTANCE** Establish the uncertainty of the “complete” foundation resistance (capacity) analysis (including established procedures for parameters) by comparing a design procedure to measured resistance (failure)

Loading



Sources of Uncertainty

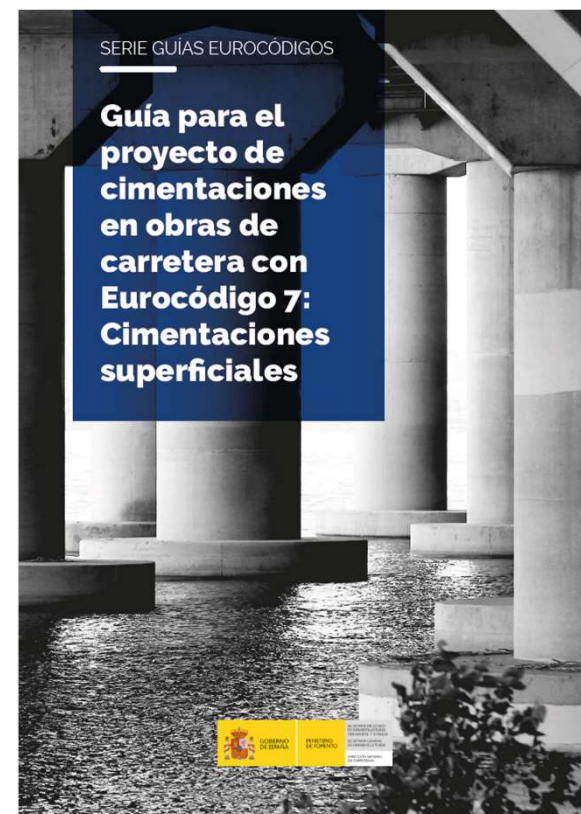
- Material properties and strength parameters
- Resistance model
- Loading

(NCHRP 2010)

Índice



- Estados límite
- Diseño para el estado límite último
- Diseño para el estado límite de servicio
- Incertidumbre de los parámetros geotécnicos
- El erróneo concepto de la presión admisible
- Construyendo CIRSOC 402



Concepto de diseño LRFD de fundaciones superficiales



La carga última nominal minorada R_d debe ser mayor que la carga normal mayorada V_d

$$V_d \leq R_d$$

- De la superestructura bajan combinaciones de carga

Comb.	Peso propio	Sobrecarga	Viento	Sismo	Carga mayorada
1	1.40	0.00	0.00	0.00	N1+H1+...
2	1.20	1.60	0.00	0.00	N2+H2+...
...

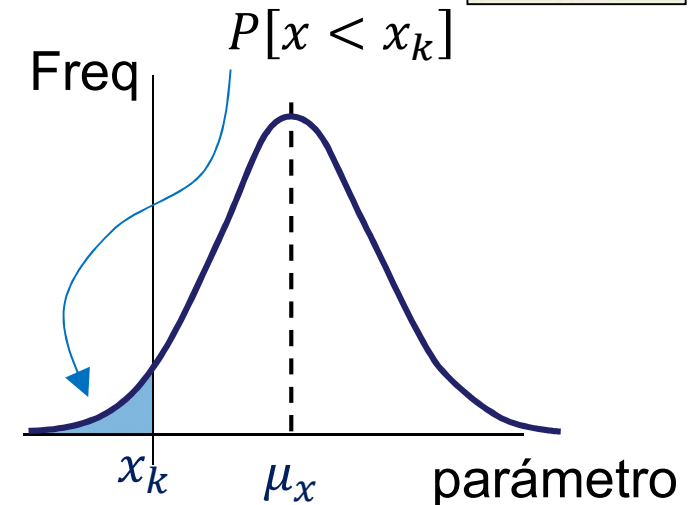
- Cada una de ellas produce una carga normal al plano inferior mayorada V_d
- Las fuerzas horizontales y los momentos no aumentan V_d sino que reducen R_d (s/ fórmula de Brinch-Hansen o Vesic)

Cálculo de la carga última nominal R_k



Método directo: R_k se calcula con la fórmula de Vesic (o Brinch-Hansen)

- Parámetros resistentes de diseño: valor medio μ_k o característico x_k
- Valores nominales para las dimensiones (B, L, D, d)
- Agua freática en el nivel más alto creíble ($\min[d_w]$)
- R_k tiene términos de inclinación (i_*) que dependen de $\{V, H_*\}$ y un área efectiva que depende de $\{V, M_*\}$
 - NCHRP: usa $\{V_k, H_k, M_k\}$ no mayorados
 - EC7 DA/2 (España): usa $\{V_d, H_d, M_d\}$ mayorados
 - EC7 DA/2* (Alemania): usa $\{V_k, H_k, M_k\}$ no mayorados



Cálculo de la carga última de diseño R_d



La carga límite de diseño *ULS* es $R_d = RF \cdot R_k$

R_k se convierte en la carga última minorada R_d mediante un coeficiente de minoración RF que tiene en cuenta

- Incertidumbre en los datos adoptados como determinísticos (dimensiones de zapata, cota de fundación, posición del agua)
- Incertidumbre del modelo de cálculo
 - Por ejemplo, de fórmula de Brinch-Hansen o Vesic
- Confiabilidad objetivo (probabilidad de falla tolerada)
 - Viviendas e industrias: $\beta = 3.00 \rightarrow P_f = 0.135\%$
 - Hospitales: $\beta = 3.25 \rightarrow P_f = 0.058\%$
 - Puentes, infraestructura crítica: $\beta = 3.50 \rightarrow P_f = 0.023\%$



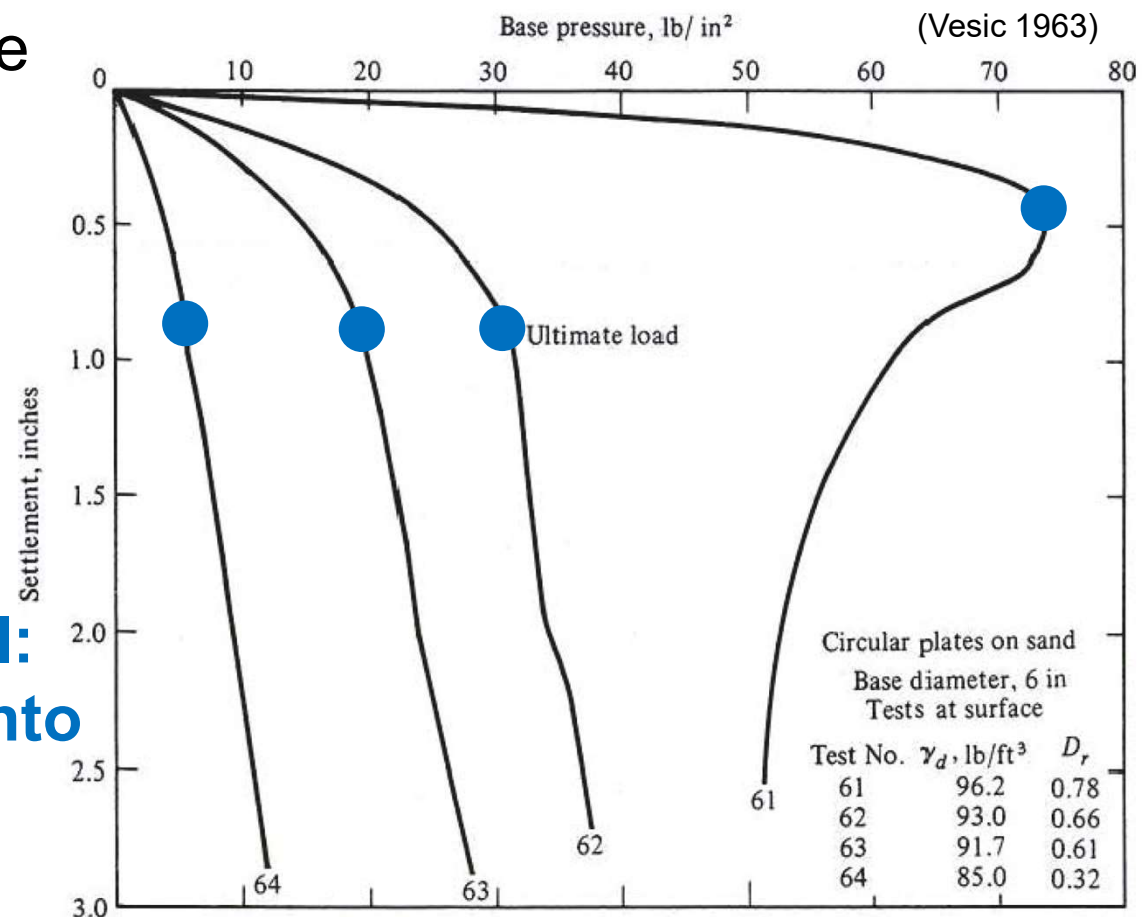
Incertidumbre en la definición de la carga última en los ensayos de carga

Las zapatas no muestran una “carga última” bien definida

- A medida que la zapata se entierra, aumenta su “tapada”
- Las zapatas tienden a girar cuando se acercan a su carga última

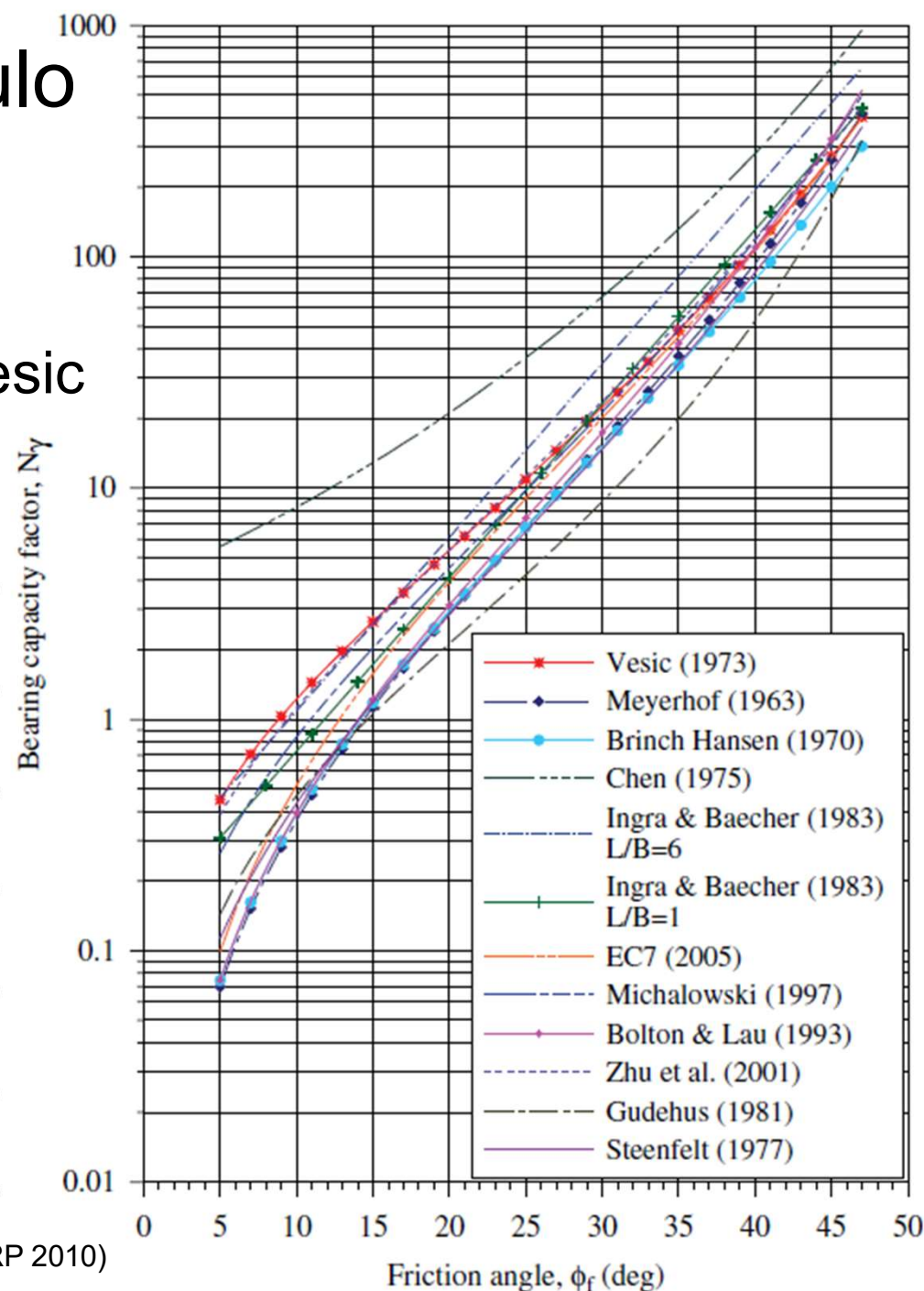
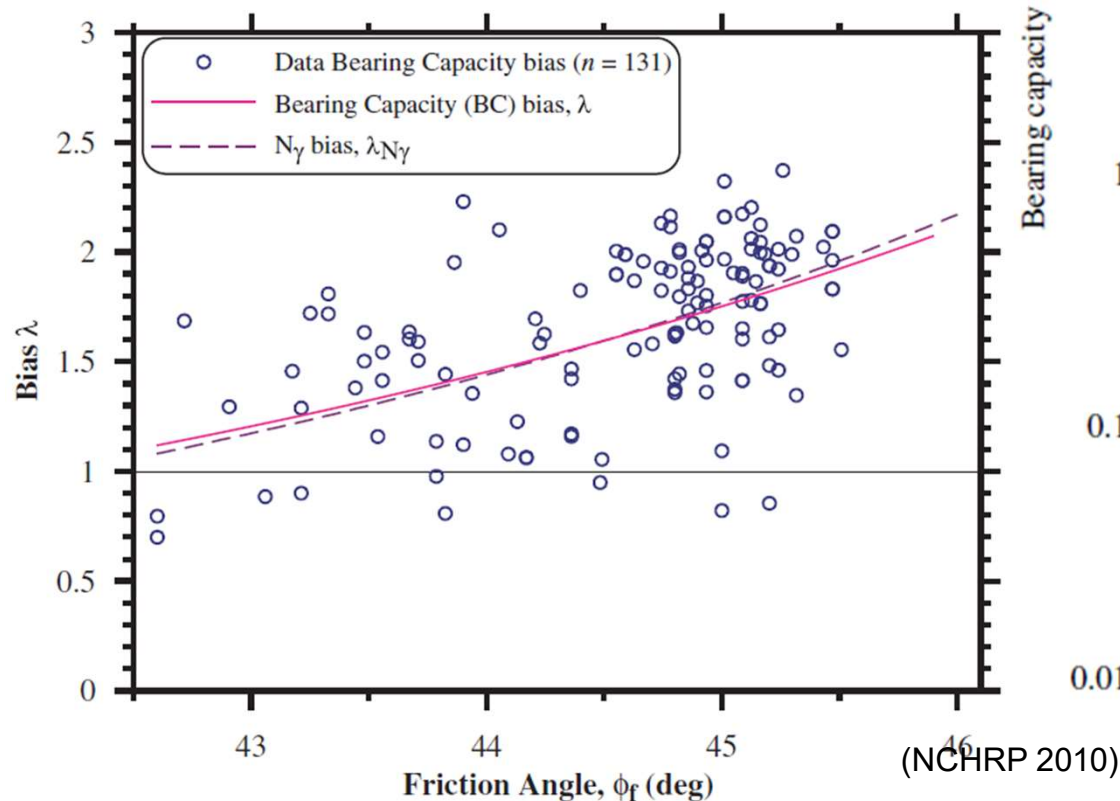
Carga última convencional: la curva carga- asentamiento alcanza pendiente mínima

- Se compara con R_k



Incertidumbre en el cálculo de la carga última: N_γ

El término N_γ de la fórmula de Vesic aporta casi todo el desvío de la fórmula de capacidad de carga



Incertidumbre en el cálculo de la carga última: N_γ

Lyamin (2006) y Martin (2005) calcularon valores exactos con análisis límite

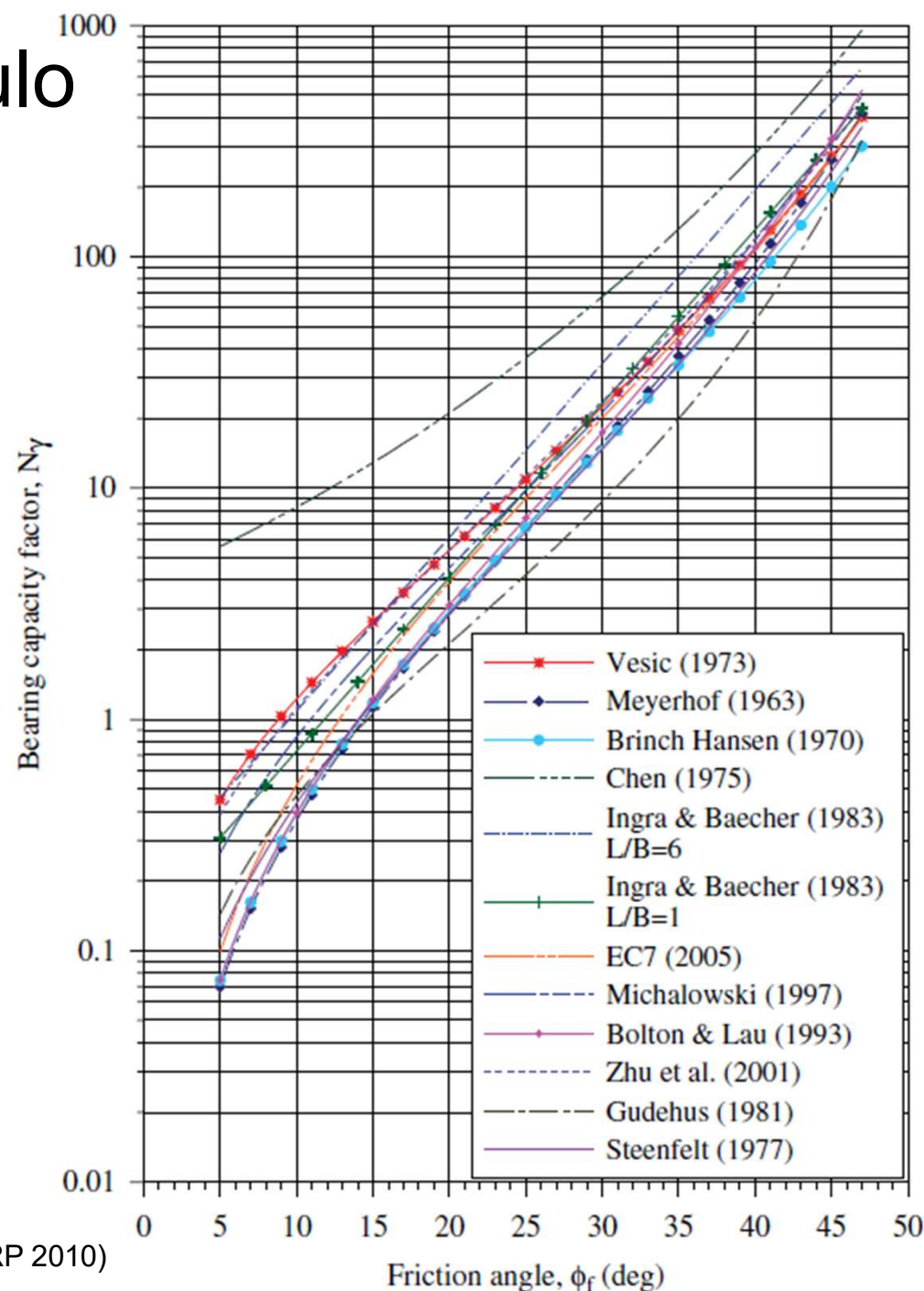
- No hay expresión cerrada

Salgado (2008) ajustó los resultados con la expresión

- $N_\gamma = (N_q - 1) \tan[1.32 \phi]$

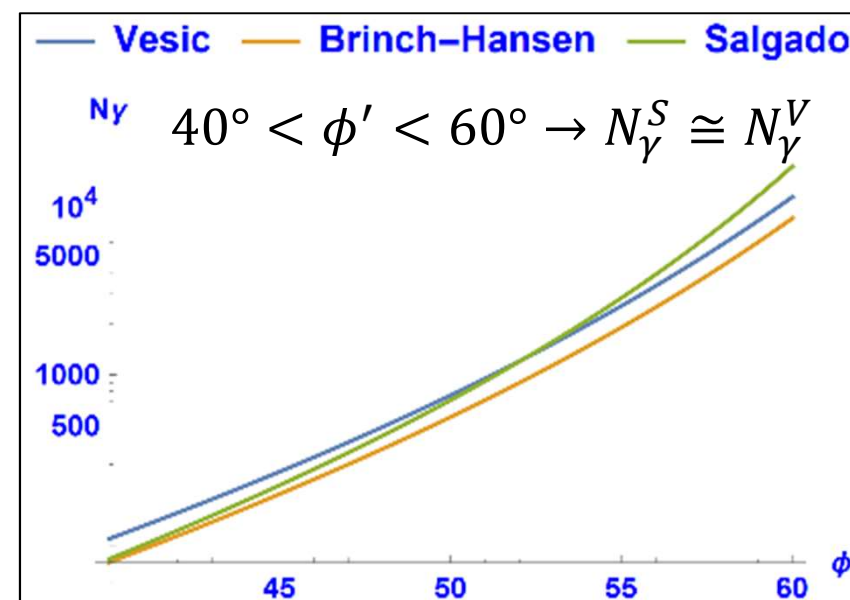
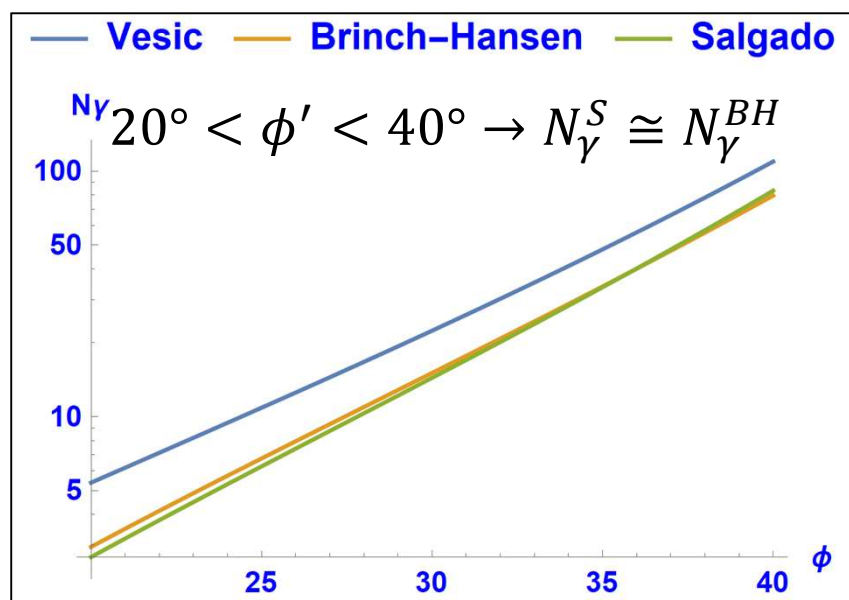
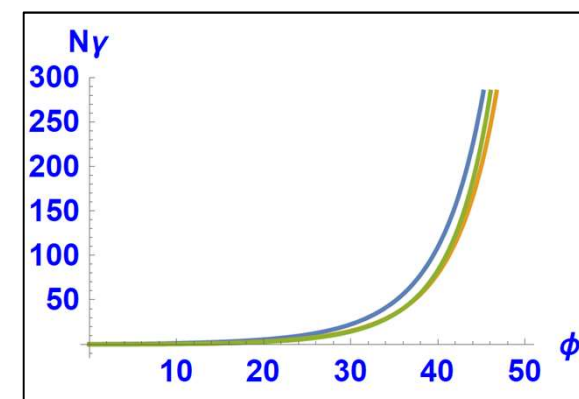
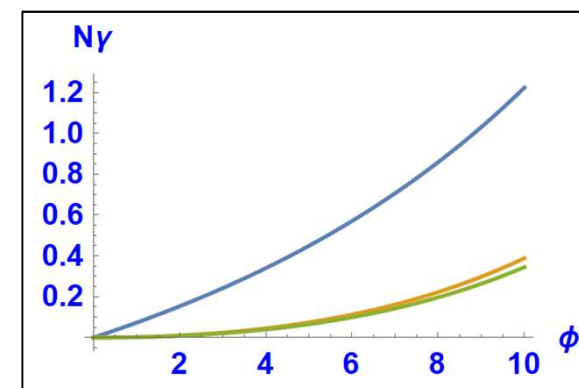
Para comparación

- B-H: $N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan[\phi]$
- Vesic: $N_\gamma = 2.0(N_q + 1) \tan[\phi]$



Comparación entre términos N_γ

- Salgado (2008): $N_\gamma^S = (N_q - 1)\tan[1.32 \phi]$
- Brinch-Hansen: $N_\gamma^{BH} = 1.5(N_q - 1)\tan[\phi]$
- Vesic: $N_\gamma^V = 2.0(N_q + 1)\tan[\phi]$
- $\phi \cong 51^\circ \rightarrow N_\gamma^S = N_\gamma^V$



Factores de resistencia RF de algunas normas para la fórmula de Vesic



Eurocode 7 DA/2 (para todo tipo de estructuras $\beta \cong 3.0|4.0$)

- Parámetros característicos “prudentemente elegidos”
- Factores de carga: $LF_{DL} = 1.35 + LF_{LL} = 1.50$
- Factor de resistencia: $RF = 0.70$

NCHRP (para puentes, $\beta \cong 3.50$)

- Parámetros característicos “medios”
- Factores de carga: $LF_{DL} = 1.50$ o $LF_{DL} = 1.25 + LF_{LL} = 1.75$
- Factor de resistencia: $RF = 0.40|0.80$

CIRSOC (construcciones civiles)

- Factores de carga: $LF_{DL} = 1.40$ o $LF_{DL} = 1.20 + LF_{LL} = 1.60$
- Factores de resistencia: A CIRSOC 402 (en redacción)

RF para Vesic recomendado por NCHRP (puentes)

Son dos tablas grandes
porque

- Rellenos: ϕ medido en laboratorio
- Suelo natural: ϕ medido con SPT ($COV = 20\%$)
- Bias de N_γ produce $RF = f[\phi']$
 - ¿Corrección de Salgado 2008?

Suelos naturales

Soil friction angle ϕ_f	Loading conditions			
	Vertical-centric or -eccentric	Inclined-centric	Inclined-eccentric	
			Positive	Negative
30°–34°	0.40	0.40	0.35	0.65
35°–36°	0.45			0.70
37°–39°	0.50		0.40	
40°–44°	0.55	0.45		
$\geq 45^\circ$	0.65	0.50	0.45	

Notes:

- (1) ϕ_f determined from Standard Penetration Test results.
- (2) Granular material is assumed to extend below the base of the footing at least two (2.0) times the width of the foundation.
- (3) The resistance factors were evaluated for a target reliability (β_T) = 3.0.

Suelos controlados (rellenos)

Soil friction angle ϕ_f	Loading conditions			
	Vertical-centric or -eccentric	Inclined-centric	Inclined-eccentric	
			Positive	Negative
30°–34°	0.50	0.40	0.40	0.70
35°–36°	0.60			
37°–39°	0.70	0.45	0.45	0.75
40°–44°	0.75	0.50	0.50	0.80
$\geq 45^\circ$	0.80	0.55		

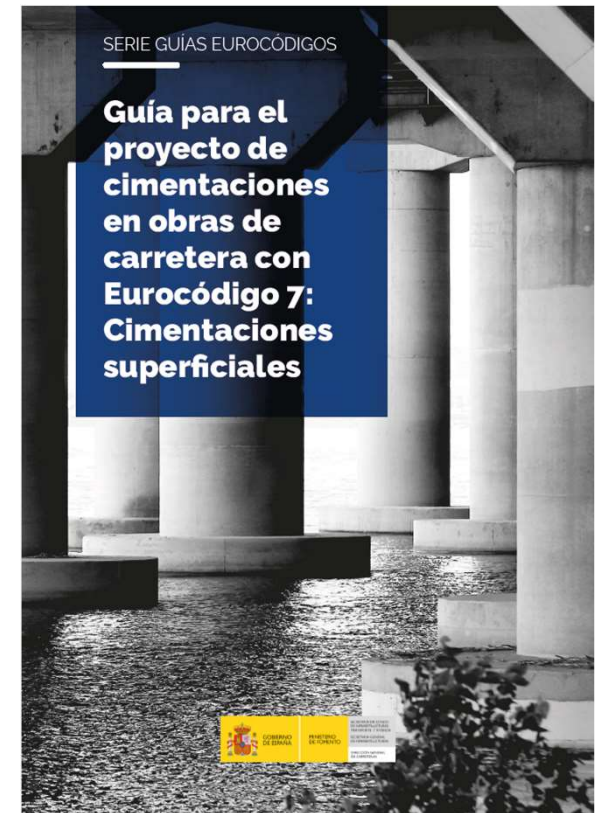
Notes:

- (1) ϕ_f determined by laboratory testing.
- (2) Compacted controlled fill or improved ground are assumed to extend below the base of the footing to a distance of at least two (2.0) times the width of the foundation (B). If the fill is less than 2B thick, but overlays a material equal or better in strength than the fill itself, then the recommendation stands. If not, then the strength of the weaker material within a distance of 2B below the footing prevails.
- (3) The resistance factors were evaluated for a target reliability (β_T) = 3.0.

Índice



- Estados límite
- Diseño para el estado límite último
- **Diseño para el estado límite de servicio**
- Incertidumbre de los parámetros geotécnicos
- El erróneo concepto de la presión admisible
- Construyendo CIRSOC 402



Diseño para el estado límite de servicio *SLS*



El objetivo es que los desplazamientos de la zapata sean compatibles con las limitaciones de la superestructura

- Se calculan con parámetros medios del terreno y acciones sin mayorar
- No hay un “valor correcto”
- Los límites aproximados usuales en Argentina son
 - Asentamiento absoluto: $\delta = 5 \text{ cm}$
 - Asentamiento relativo: $\delta_{1|2} = L/500$ (L distancia e/ zapatas)
- Las normas limitan la excentricidad para limitar el despegue de la zapata respecto del terreno

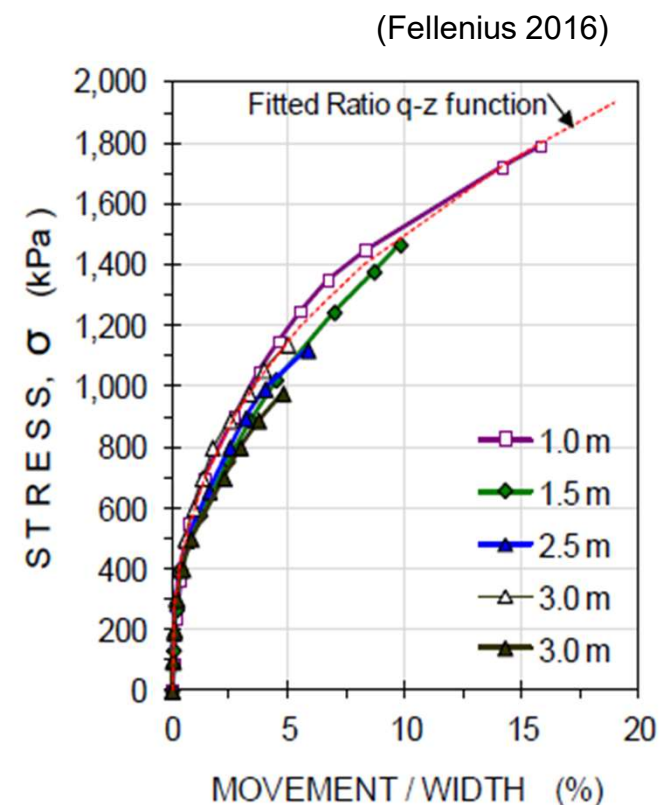
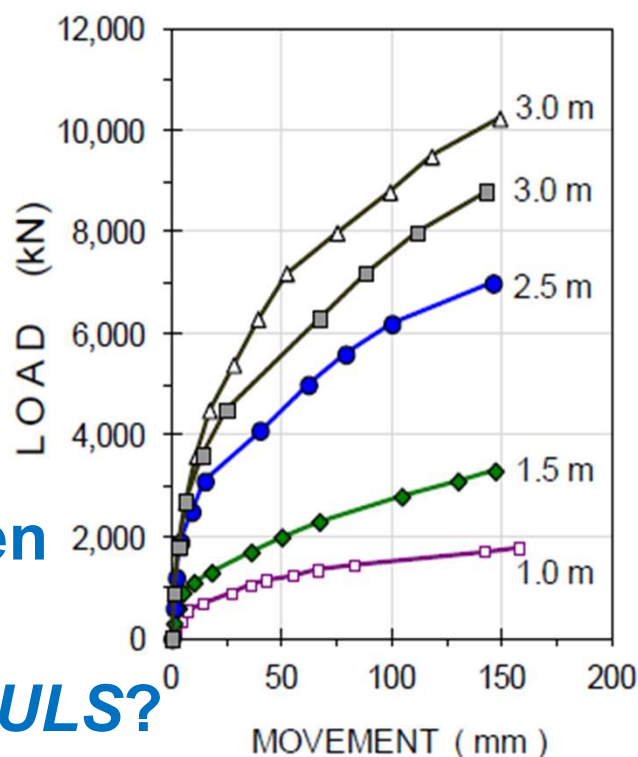
Usen correlación con SPT sólo si quieren ir al recuperatorio



La curva carga-asentamiento de una zapata en servicio

En servicio, el asentamiento de zapatas es cuasi-elástico lineal

- Cargas no mayoradas
- **Método de Schmertmann**
- No-linealidad sólo con asentamientos grandes
- **Excepto zapatas en arcilla no drenada**
- **¿Tiene sentido el ULS?**



Filmina de la clase de Intro Ingeniería (primer año)

El edificio (de atrás) y el silo se construyeron **lentamente sin inconvenientes**

El silo **se cargó** con grano **rápidamente y falló**

El terreno no resistió la carga porque fue rápida, **no hubo tiempo para que el agua escapara de los poros**



La curva carga-asentamiento de una zapata en servicio

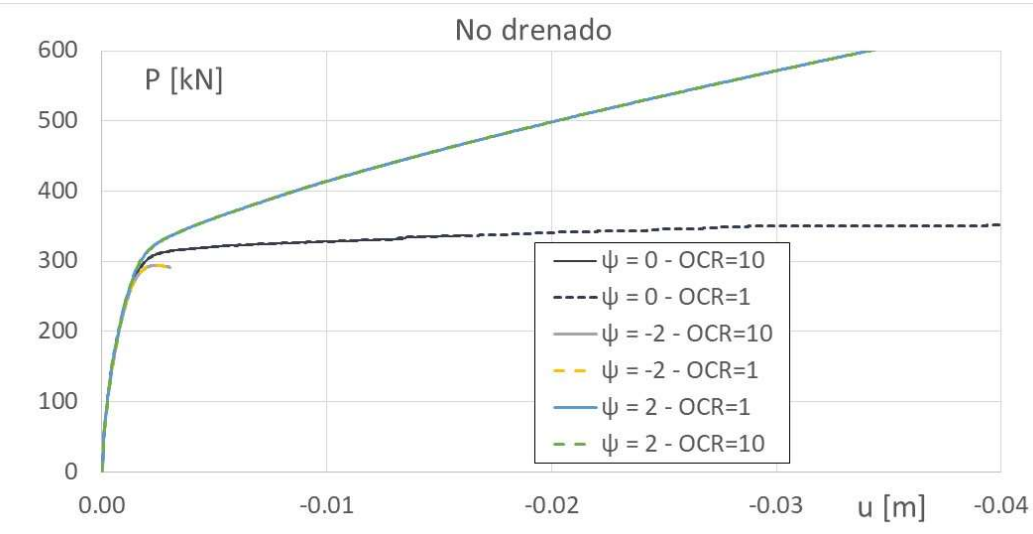
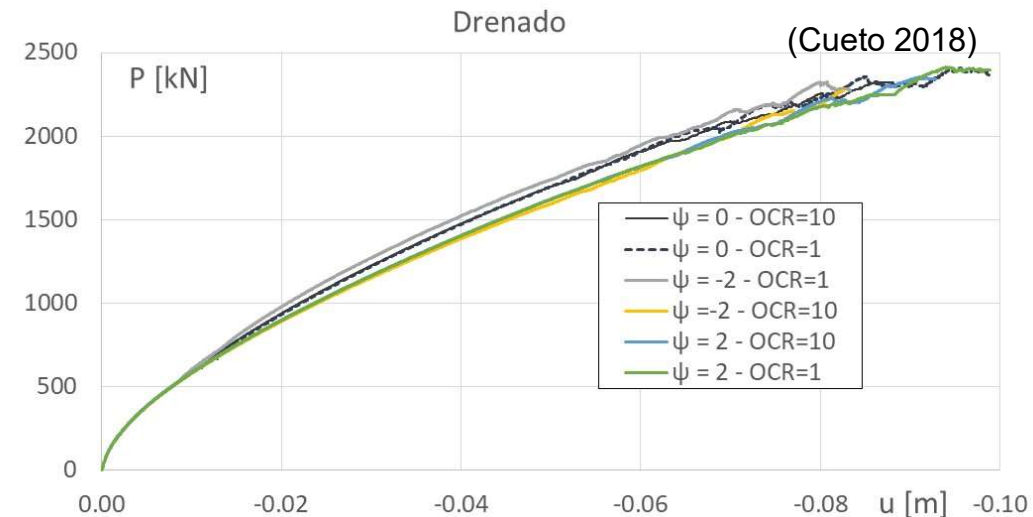
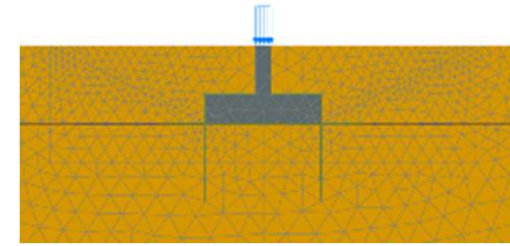
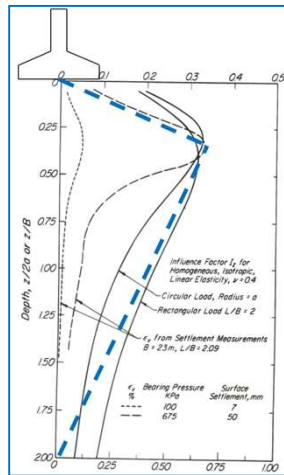
En servicio, el asentamiento de zapatas es cuasi-elástico lineal

- Cargas no mayoradas

- **Método de Schmertmann**

No-linealidad sólo con asentamientos grandes

- **Excepto zapatas en arcilla no drenada**
- **¿Tiene sentido el ULS?**



Asentamientos por compresión inelástica (consolidación)



Los asentamientos por compresión inelástica afectan a toda la estructura, no a cada zapata aisladamente

Métodos aproximados

- Calcule la distribución de tensiones en el terreno por la acción simultánea de todas las cargas permanentes (no mayoradas)
- Haga hipótesis razonables de distribución de cargas de alta probabilidad de ocurrencia y larga duración (por ejemplo líquidos en tanques de almacenamiento)
- Calcule los asentamientos totales y diferenciales en cada punto con la teoría de compresión unidimensional

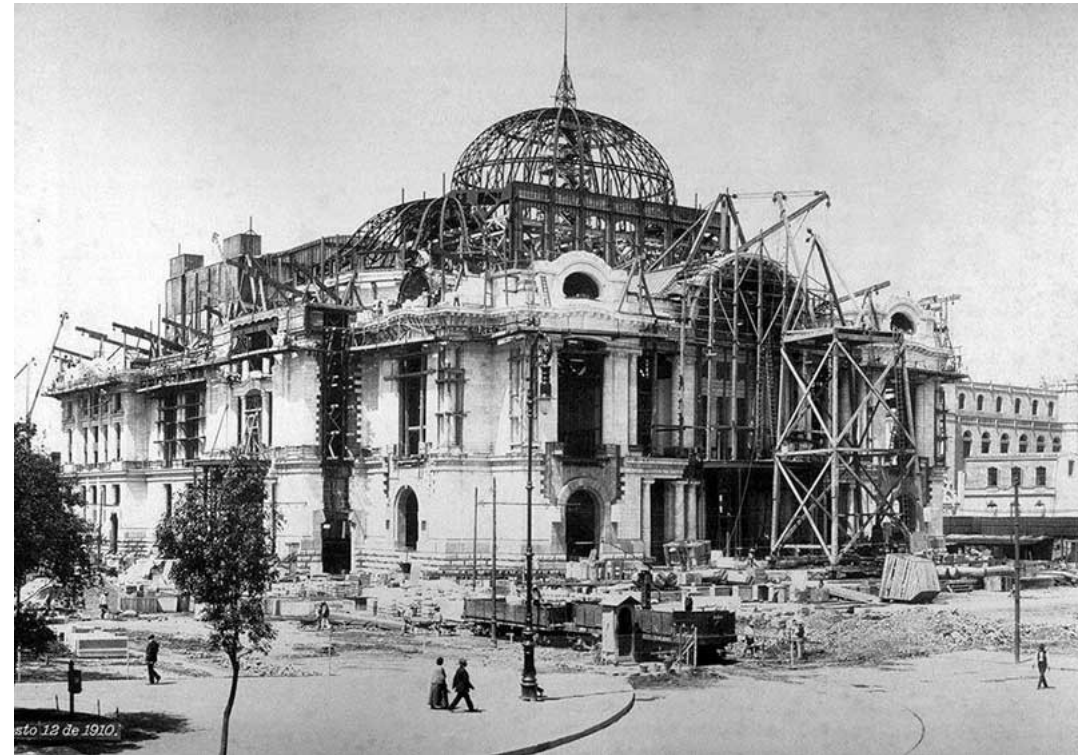
Métodos numéricos (muy apropiados para el S. XXI)

Filmina de la clase de Intro Ingeniería (primer año)

Cuando comenzó la construcción del Palacio de Bellas Artes de México DF, el edificio estaba seis escalones encima de la calle

Solo en 1909: 27cm de asentamiento diferencial entre esquinas

Los seis escalones que subían al edificio, ahora bajan

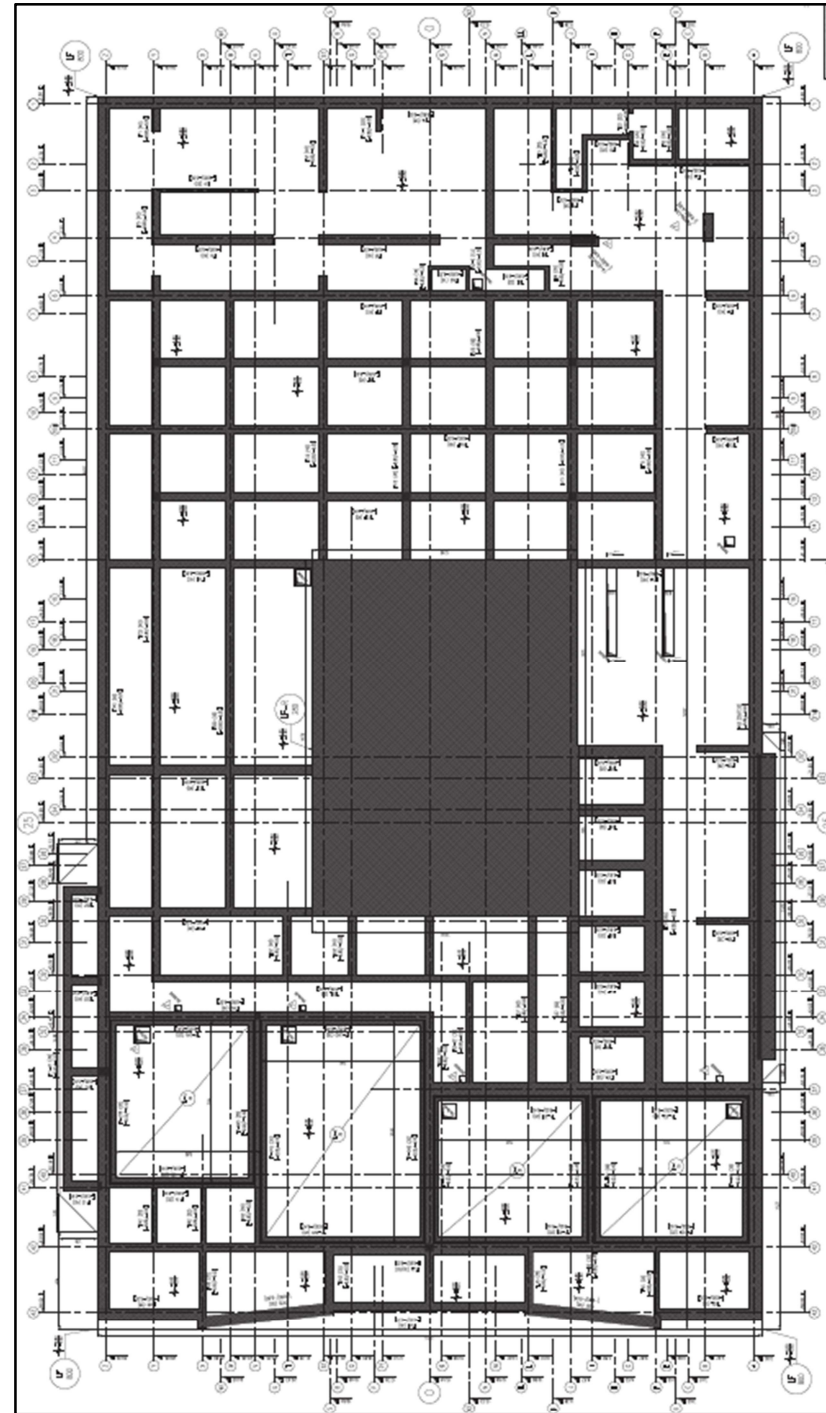


Predicción de comportamiento en servicio

Los modelos numéricos permiten efectuar predicciones ajustadas del comportamiento en servicio

- Secuencia constructiva
- Interacción terreno-estructura
- Compresión primaria y secundaria
- Fluctuación de napa freática
- ...

Bien empleados, son más confiables que los métodos analíticos: **$RF = 1.0$**

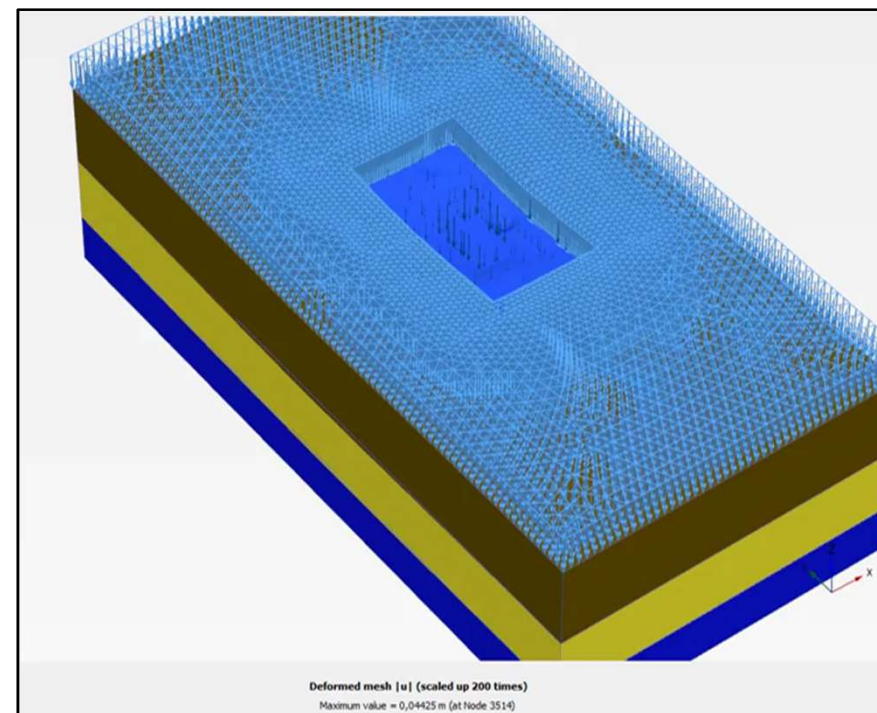
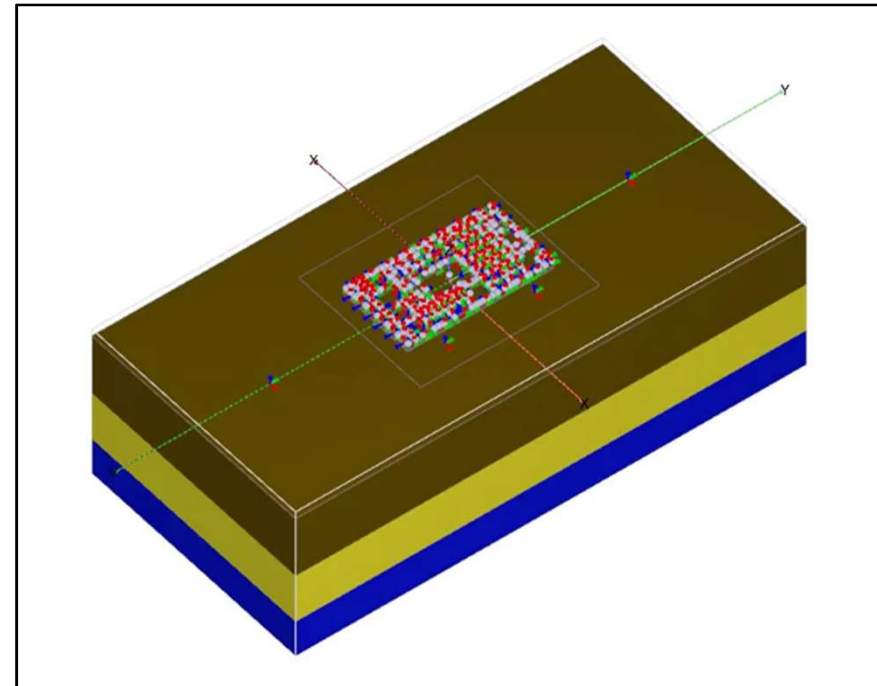


Ejemplo (sofisticado) de diseño con métodos numéricos

Platea de fundación para un reactor atómico experimental

- Requisito de diseño: Asentamiento uniforme de edificios con cargas muy diferentes
- Riesgo geotécnico: **Arcillas** miocénicas (~12 m.a.)
normalmente consolidadas
50 m bajo el plano de fundación

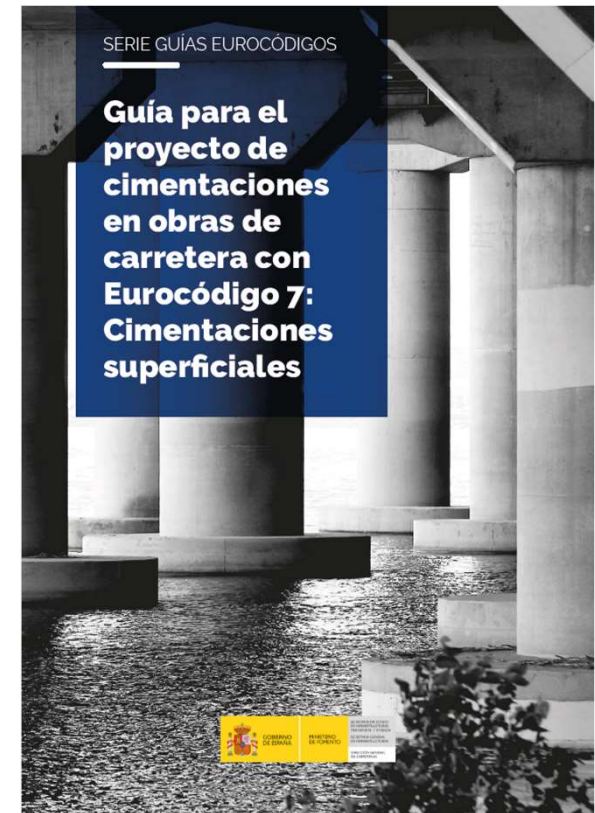
Respuesta: modelo numérico 3D con todas las etapas de construcción



Índice



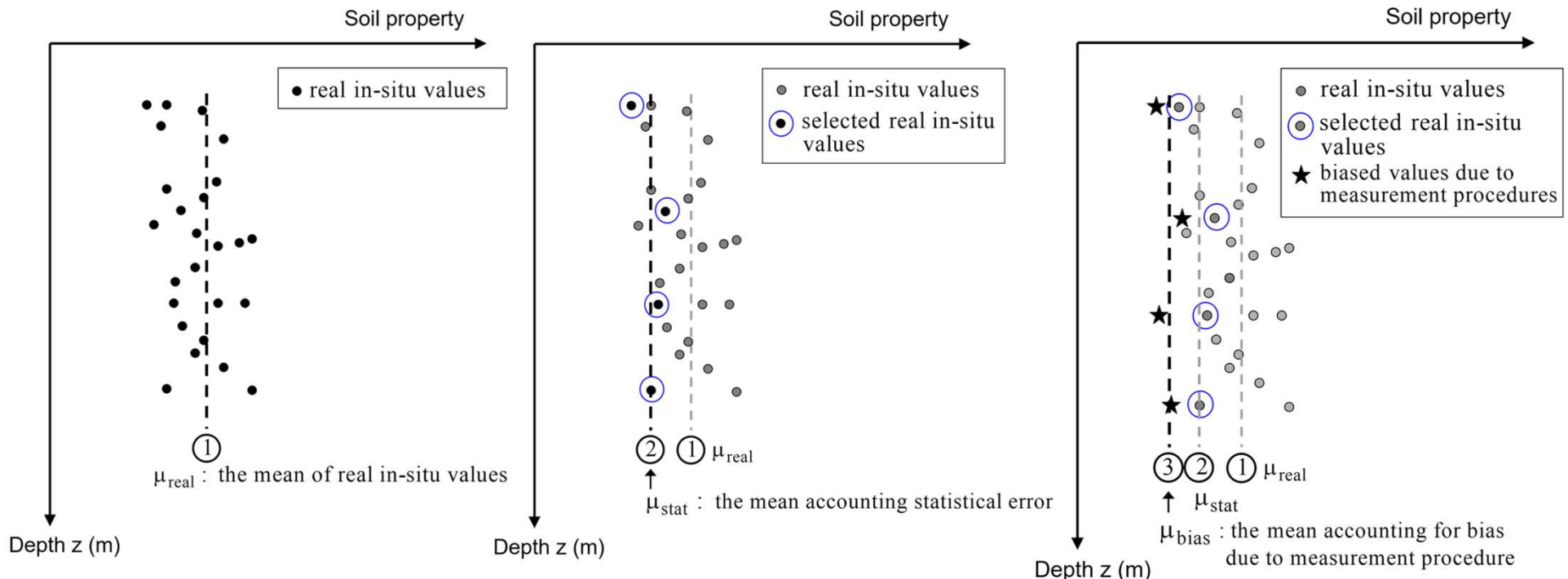
- Estados límite
- Diseño para el estado límite último
- Diseño para el estado límite de servicio
- Incertidumbre de los parámetros geotécnicos
- El erróneo concepto de la presión admisible
- Construyendo CIRSOC 402



Incertidumbre en el proceso de elección de parámetros



- Los suelos tienen propiedades mecánicas variables
- Se toman muy pocas muestras del terreno
- Se cometen (serios) errores durante la toma de muestras



Efecto en cálculo de carga última

Hay desvíos sistemáticos y dispersiones grandes

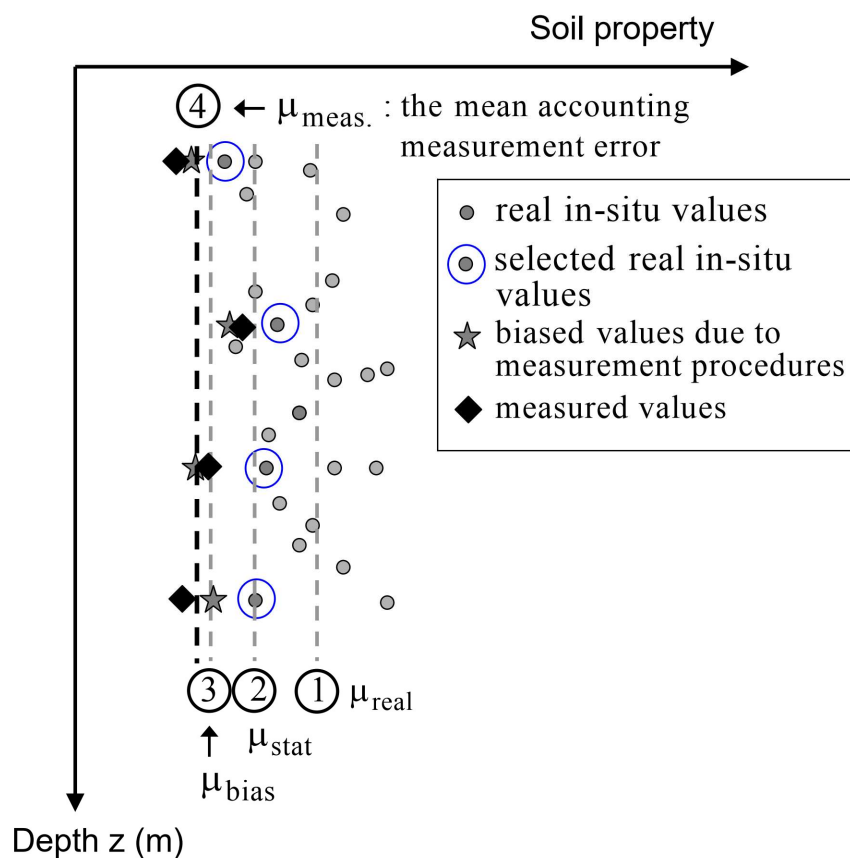


Table 4. PDFs to Describe Uncertainty of Variables Associated with Bearing Capacity Equation for Sands Based on SPT

Variable	PDF type	Bias factor	Distribution parameters
q_c	Normal	1.07	$\sigma_{q_c}=0.14q_c$
D_R (%)	Normal	1.10	$\sigma_{DR}=12\%$
ϕ_p (strip footings)	Normal	1.03	$\sigma_{\phi_p}=0.12\phi_p$
ϕ_p (rectangular footings)	Normal	1.02	$\sigma_{\phi_p}=0.10\phi_p$
$N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$ (strip footings)	Lognormal	1.62	$\sigma_{N_{\gamma}s_{\gamma}d_{\gamma}}=0.85 N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$
$N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$ (square footings)	Lognormal	1.46	$\sigma_{N_{\gamma}s_{\gamma}d_{\gamma}}=0.71 N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$
$N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$ (rectangular footings)	Lognormal	1.46	$\sigma_{N_{\gamma}s_{\gamma}d_{\gamma}}=0.71 N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$

Table 2. PDFs to Describe the Uncertainty of Variables Associated with the Bearing Capacity Equation for Sands Based on the CPT

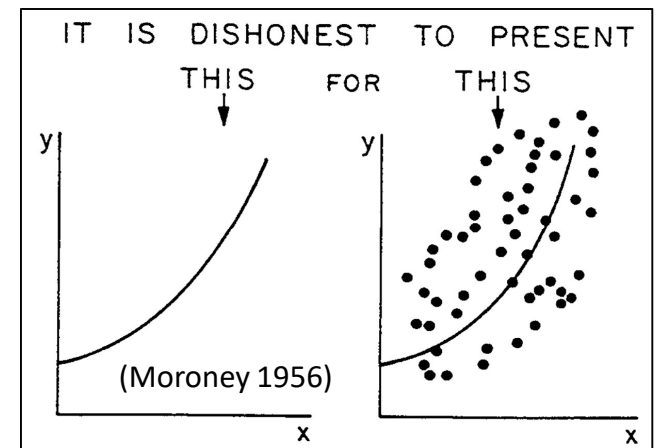
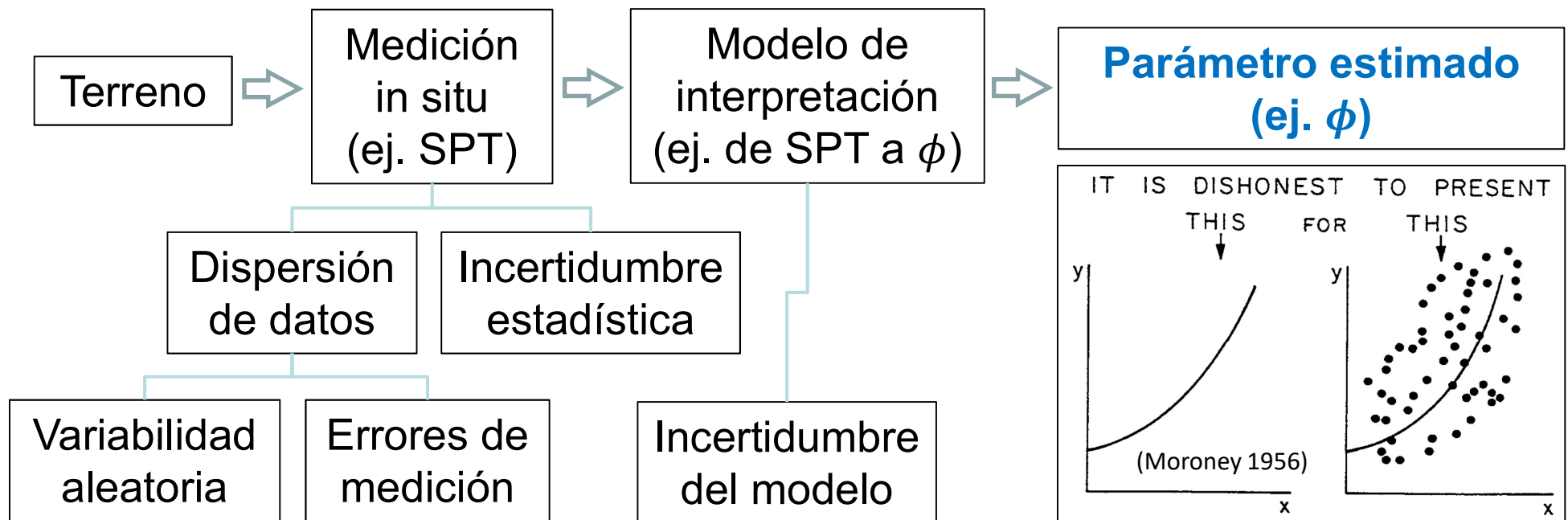
Variable	PDF type	Bias factor	Distribution parameters
q_c	Normal	1.07	$\sigma_{q_c}=0.08q_c$
D_R (%)	Normal	1.10	$\sigma_{DR}=11\%$
ϕ_p (strip footings)	Normal	1.03	$\sigma_{\phi_p}=0.10\phi_p$
ϕ_p (rectangular footings)	Normal	1.02	$\sigma_{\phi_p}=0.07\phi_p$
$N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$ (strip footings)	Lognormal	1.50	$\sigma_{N_{\gamma}s_{\gamma}d_{\gamma}}=0.70 N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$
$N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$ (square footings)	Lognormal	1.40	$\sigma_{N_{\gamma}s_{\gamma}d_{\gamma}}=0.57 N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$
$N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$ (rectangular footings)	Lognormal	1.40	$\sigma_{N_{\gamma}s_{\gamma}d_{\gamma}}=0.57 N_{\gamma}s_{\gamma}^* d_{\gamma}^*$

Los parámetros del terreno



- No existen “parámetros del terreno”
- Si existen “parámetros de entrada” en modelos del terreno

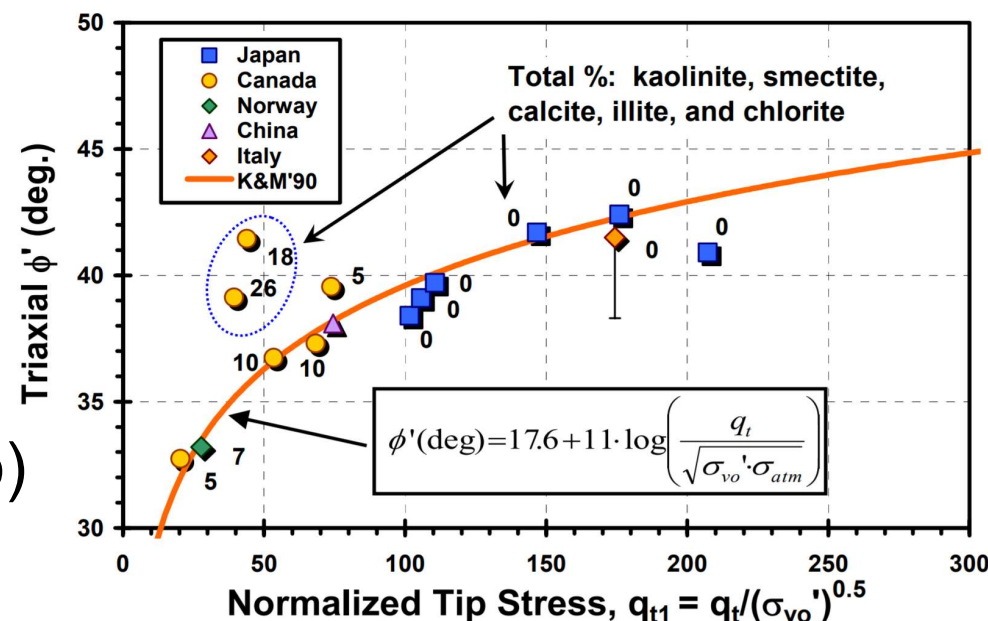
**El tipo de campaña (tanto como el terreno)
determina la incertidumbre del resultado**



- Epistémica

- Correlación con SPT tiene alta dispersión
- Correlación con CPT tiene dispersión (más) moderada

- El suelo tiene alta variabilidad
- El ensayo SPT (en sí mismo) tiene alta dispersión



Dispersión de resultados (ensayos in situ)



Ensayo (terreno)		Terreno	COV	Escala [m]
Resistencia al corte no drenado				
- Correlación con CPT	s_u	C	30 40	
- Correlación con SPT	s_u	C	40 60	
Ángulo de fricción interna				
- Correlación con CPT	ϕ'	S	10 15	
- Correlación con SPT	ϕ'	S	15 20	
Resist. a penet. SPT	N	C, S	25 50	2.4 (v)
Resist. de punta CPT	q_t	C	<20	0.3 (v) 45 (h)
Densidad relativa c/SPT	D_r	S	50 70	

Dispersión de resultados (laboratorio)



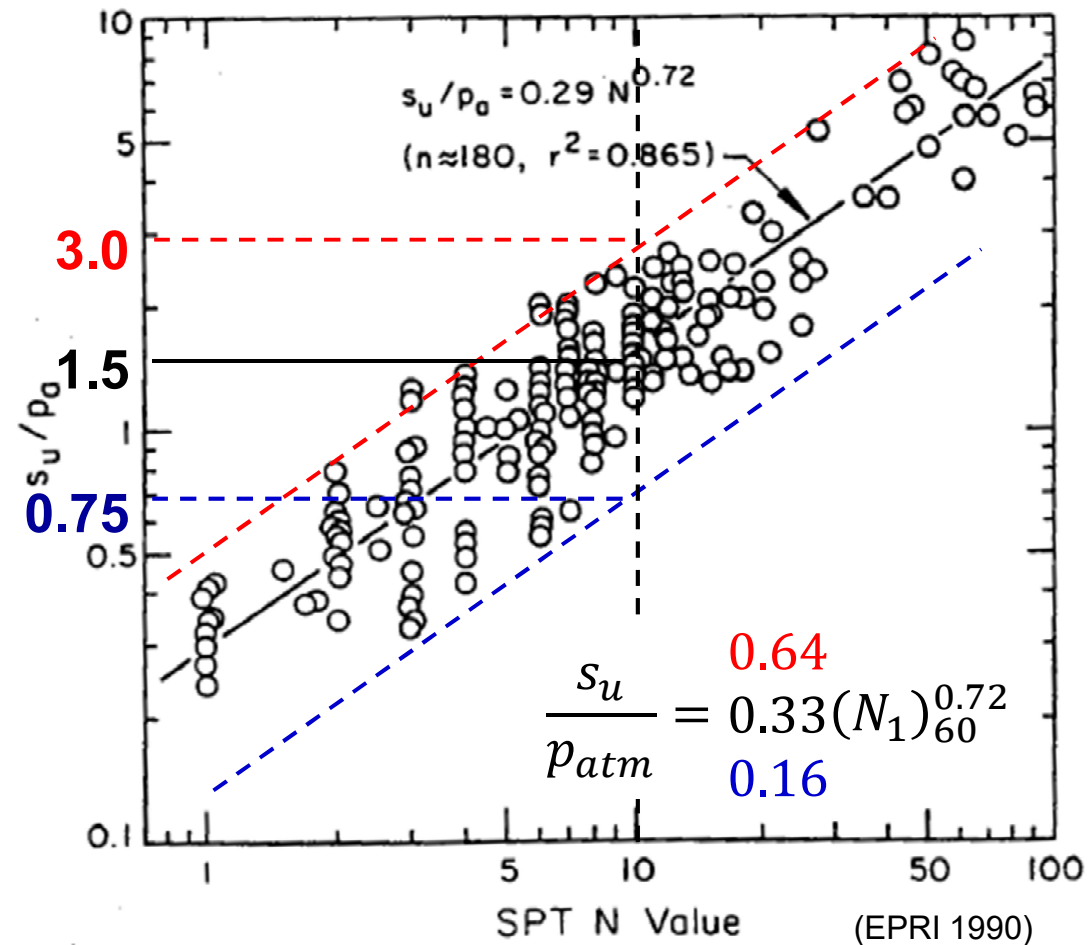
Ensayo (laboratorio)		Terreno	COV	Escala [m]
Humedad natural	ω_n	C, M	8 30	5.7 (v) 170 (h)
Límites Atterberg	ω_L	C, M	6 30	5.2 (v)
Pesos unitarios	γ, γ_d	C, M	<10	1.6 (v)
Densidad relativa	D_r	S	10 40	
Resistencia al corte no drenado				
- Compresión simple	s_u	C	20 55	2.5 (v) 50 (h)
- Triaxial no drenado	s_u	C	10 35	
- TX cons. no drenado	s_u	C	20 45	
Ángulo de fricción (TX)	ϕ'	C, M, S	5 10	

Determinación de s_u : no use el SPT



$$s_{u,80\%} = \mu_{s_u} - 0.84 \cdot \sigma_{s_u}$$

- $\mu = 100 \text{ kPa}$
- **SPT** ($COV = 50\%$)
 - $\sigma = 50 \text{ kPa}$
 - $s_{u,80\%} \cong \mathbf{60 \text{ kPa}}$
- **CPT** ($COV = 35\%$)
 - $\sigma = 35 \text{ kPa}$
 - $s_{u,80\%} \cong \mathbf{70 \text{ kPa}}$
- **Triaxial UU** ($COV = 22\%$)
 - $\sigma = 35 \text{ kPa}$
 - $s_{u,80\%} \cong \mathbf{80 \text{ kPa}}$



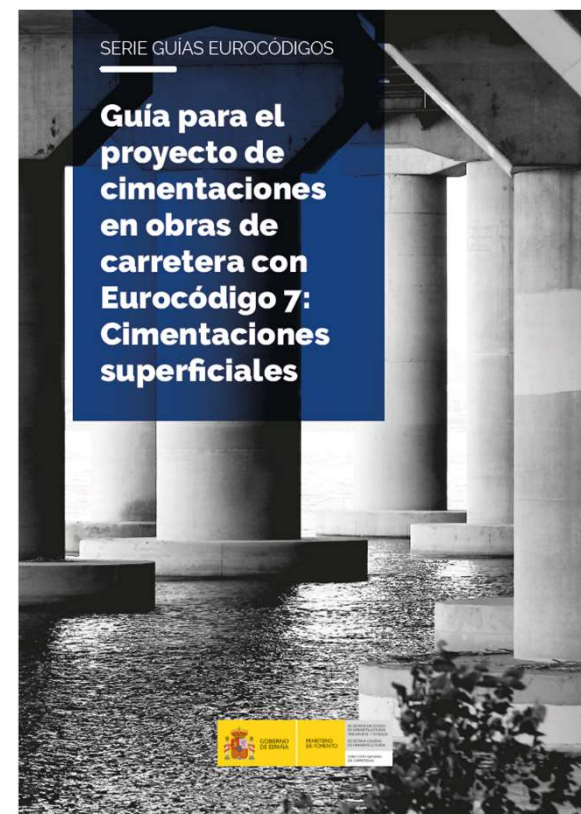
**Las correlaciones entre SPT
y s_u deberían ser evitadas**

(AASHTO 2017)

Índice



- Estados límite
- Diseño para el estado límite último
- Diseño para el estado límite de servicio
- Incertidumbre de los parámetros geotécnicos
- El erróneo concepto de la presión admisible
- Construyendo CIRSOC 402



El **erróneo** concepto de la “presión admisible”



La carga máxima de servicio de una zapata debe ser aquella que asegure que todos los estados límite de diseño tengan una seguridad adecuada

La carga máxima depende del tamaño de la zapata

Para pequeñas zapatas sometidas a cargas verticales en suelos duros, usualmente se adopta una presión de contacto baja para que el asentamiento sea pequeño (que el dueño no lo note)

Esa presión de contacto se usa luego para calcular el tamaño de todas las zapatas de un mismo edificio



El **erróneo** concepto de la “presión admisible”

La carga máxima depende del tamaño de la zapata

- **Entonces: es incorrecto usar la misma presión de contacto para zapatas de diferentes tamaños**
- Pero es práctico, y se usa en el 99% de los casos

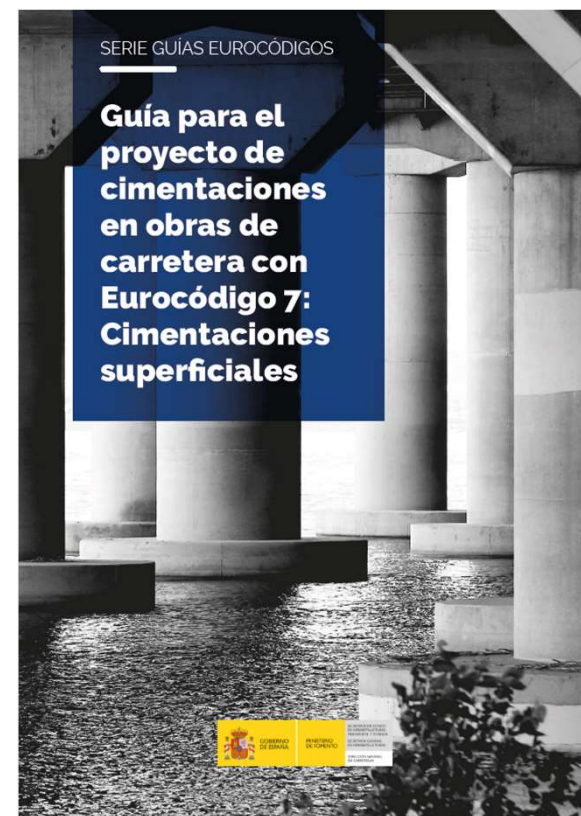
Entonces, para elegir una “presión admisible”

- Se verifican los estados límites para la zapata más cargada
- Se divide la carga máxima por el área: p_{adm}
- Se usa esa p_{adm} para calcular el área de las demás zapatas y que El Supremo os pille confesados, porque
 - No todas van a tener la misma probabilidad de falla
 - No todas van a tener el mismo asentamiento

Índice



- Estados límite
- Diseño para el estado límite último
- Diseño para el estado límite de servicio
- Incertidumbre de los parámetros geotécnicos
- El erróneo concepto de la presión admisible
- Construyendo CIRSOC 402 (una opinión personal de Sfriso)



El paradigma de CIRSOC 402



CIRSOC 402 se basa en el análisis probabilístico de fundaciones con la técnica LRFD y con una fiabilidad objetivo $\beta = 3.0$

- Paradigma válido por décadas
- No tiene que ajustarse por cambios tecnológicos
- Reglamento de 40 páginas (AASHTO: 170 páginas)
- $\beta = 3.0$ para edificios, un valor mayor para infraestructura crítica

Ingredientes básicos

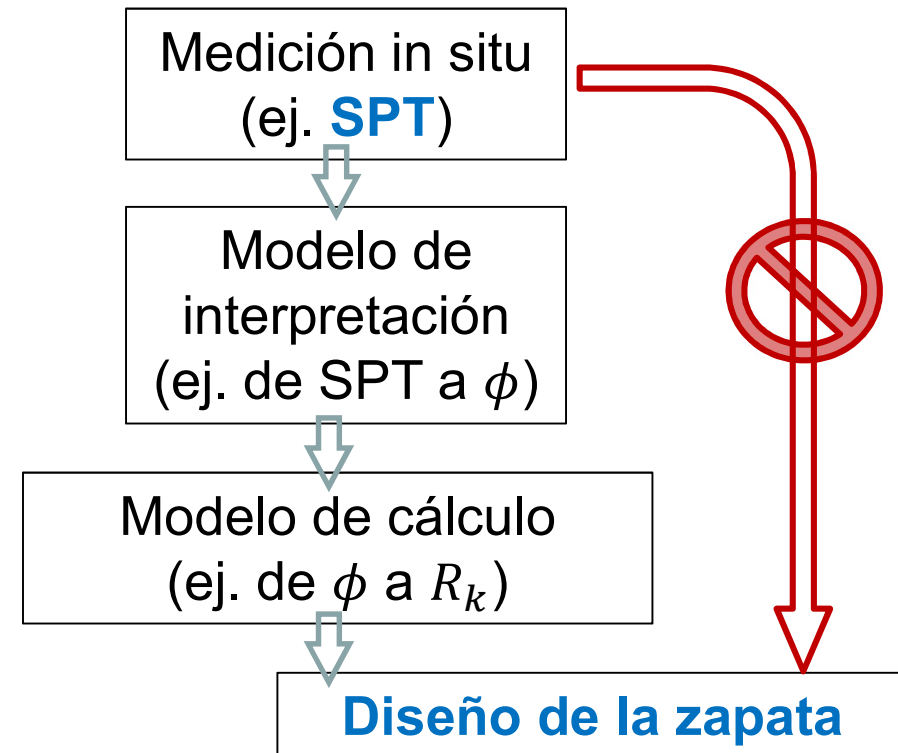


- Primer capítulo: un diseño que incluya un análisis de confiabilidad completo y pruebe que $\beta \geq 3.0$ puede apartarse del resto de las prescripciones del reglamento
- Resto del reglamento (LRFD)
 - *ULS*: $V_d \leq R_d$ con cargas mayoradas y resistencias minoradas compatible con otros reglamentos CIRSOC
 - *SLS*: asentamientos que acepte la superestructura con cargas no mayoradas
 - Se permite informar “presión admisible” como estado *SLS*

Ingredientes básicos



- Sólo métodos directos y métodos numéricos
 - Por ejemplo, no se admiten correlaciones $p_{adm} - SPT$



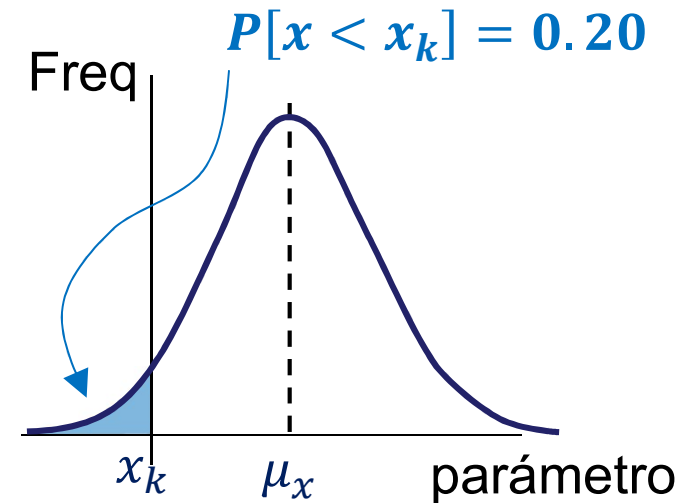
A design method is more robust if it has some basis in the underlying mechanics of the process (Randolph & Gourvenec - 2011)

Cálculo de la carga última nominal R_k



R_k se calcula con la fórmula de Vesic con el término N_γ modificado

- $N_\gamma = (N_q - 1) \tan[1.32 \phi]$ (Salgado 2008)
 - Para eliminar el bias de N_γ
- Parámetros resistentes de diseño: valor característico x_{80} con 80% de probabilidad de excedencia
 - Para reducir incertidumbre de ensayos in situ | laboratorio
- Valores nominales para las dimensiones (B, L, D, d)
- Agua freática en el nivel más alto creíble ($\min[d_w]$)
- Términos de inclinación (i_*) y área efectiva calculados con $\{V_k, H_k, M_k\}$ no mayorados





Cálculo de RF

Estamos (recién) empezando el proceso de calibración de RF

- Parámetros característicos x_{80} : elimina distinción entre suelos naturales y rellenos, RF va a ser similar al de los rellenos
- Con el cambio de N_γ de Vesic por el de Martin-Lyamin-Salgado, se elimina la dependencia $RF[\phi']$
 - $\phi \cong 51^\circ \rightarrow N_\gamma^S = N_\gamma^V$
- **Queremos un único valor de RF para cada β objetivo**

Nota: el “método directo” es muy discutido (y por gente muy seria)

Rellenos	Soil friction angle ϕ_f	Loading conditions			
		Vertical-centric or -eccentric	Inclined-centric	Inclined-eccentric	
				Positive	Negative
	30°–34°	0.50	0.40	0.40	0.70
	35°–36°	0.60			
	37°–39°	0.70	0.45	0.45	0.75
	40°–44°	0.75	0.50	0.50	0.80
	$\geq 45^\circ$	0.80	0.55		

Bibliografía



NCHRP REPORT 651

LRFD Design and Construction
of Shallow Foundations
for Highway Bridge Structures

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD
OF THE NATIONAL ACADEMIES

NATIONAL
COOPERATIVE
HIGHWAY
RESEARCH
PROGRAM

