



*Jornadas*  
**XX GEOTÉCNICAS**  
**XXIII ESTRUCTURALES**

**Evaluación de la  
Interacción Suelo – Pilote  
Prebarrenado bajo carga  
lateral en suelos licuables  
Caso Real Puente  
Peatonal de Muisne**

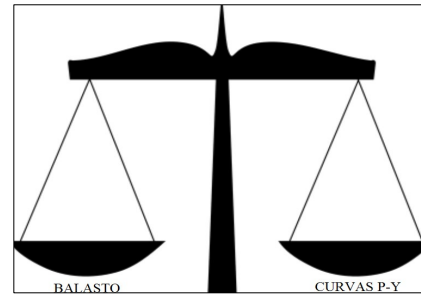
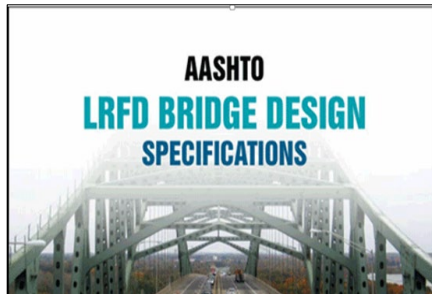
WILSON O. CANDO T.

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL ECUADOR**



# Objetivos

- Licuefacción.
- AASHTO LRFD 2014.
- Coeficiente de balasto VS Curvas p-y.



# Generalidades

Provincia: Esmeraldas

Población: 30.000 habitantes aprox.

Zona sísmica: VI

Amenaza sísmica: MUY ALTA

Dimensiones

Inversión



# Justificación

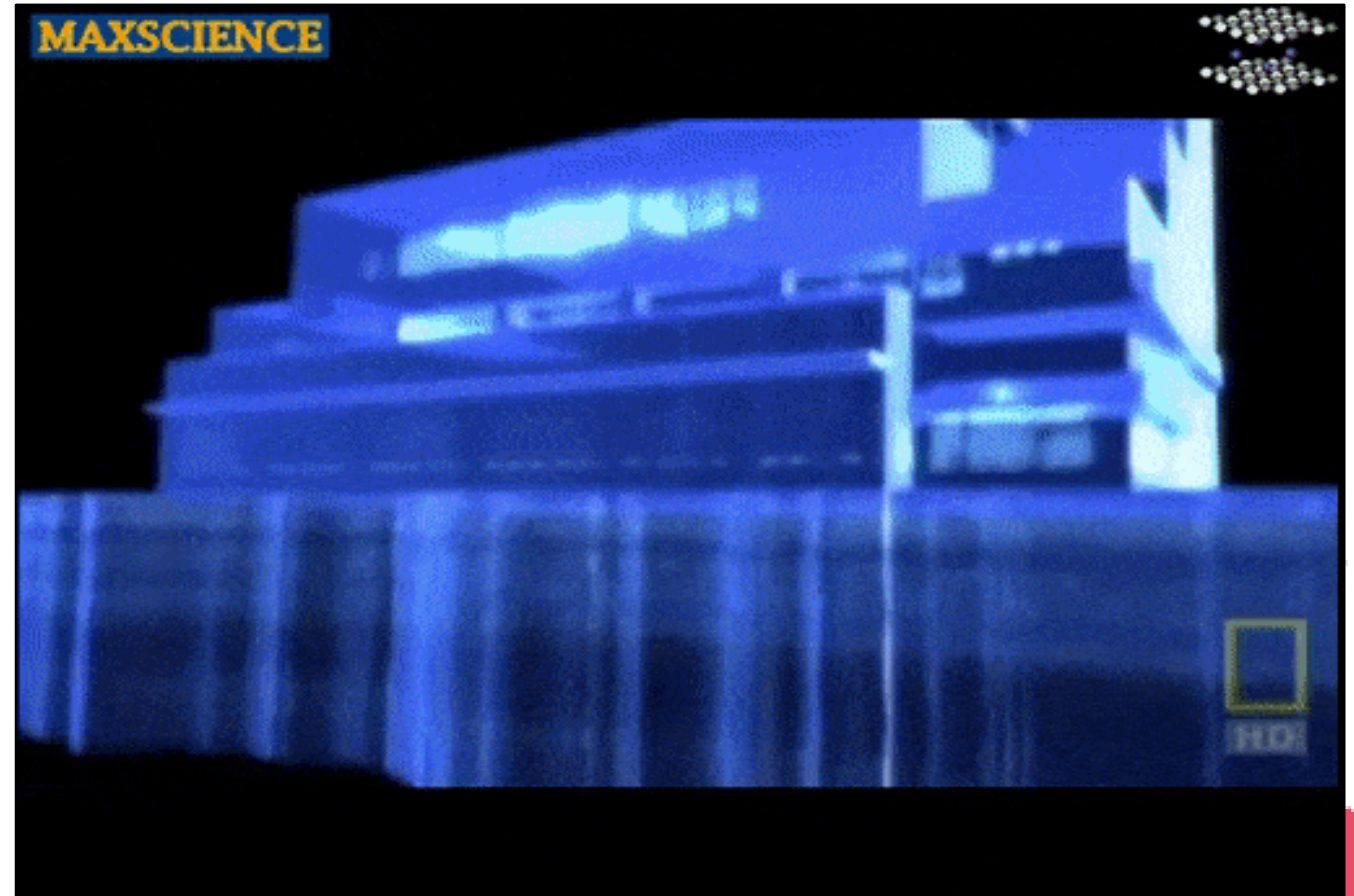
- Integridad estructural.
- Evacuación
- Calidad de vida.
- Turismo



# Licuefacción

## Análisis de la Licuefacción

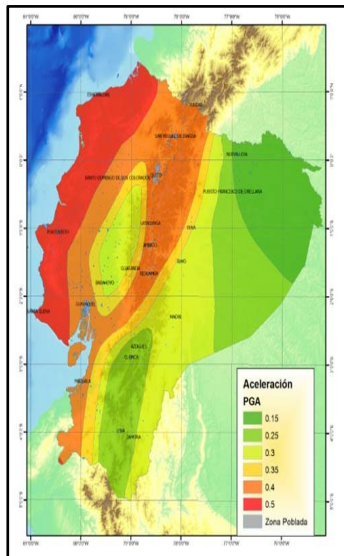
- Suelos friccionantes
- Pérdida de resistencia
- Aumento presión de poros  
(Sismo)



Fuente: National Geographic, 2011

# Licuefacción

## ¿Por qué analizar este fenómeno?



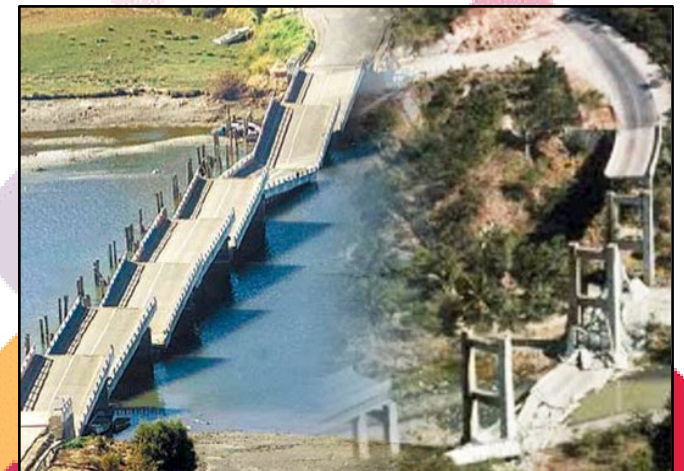
Mexico, 1985



Saitama, Japón



Niigata, Japón 1964



Kobe, Japón

# Licuefacción

## NEC-SE-DS vs AASHTO

NEC



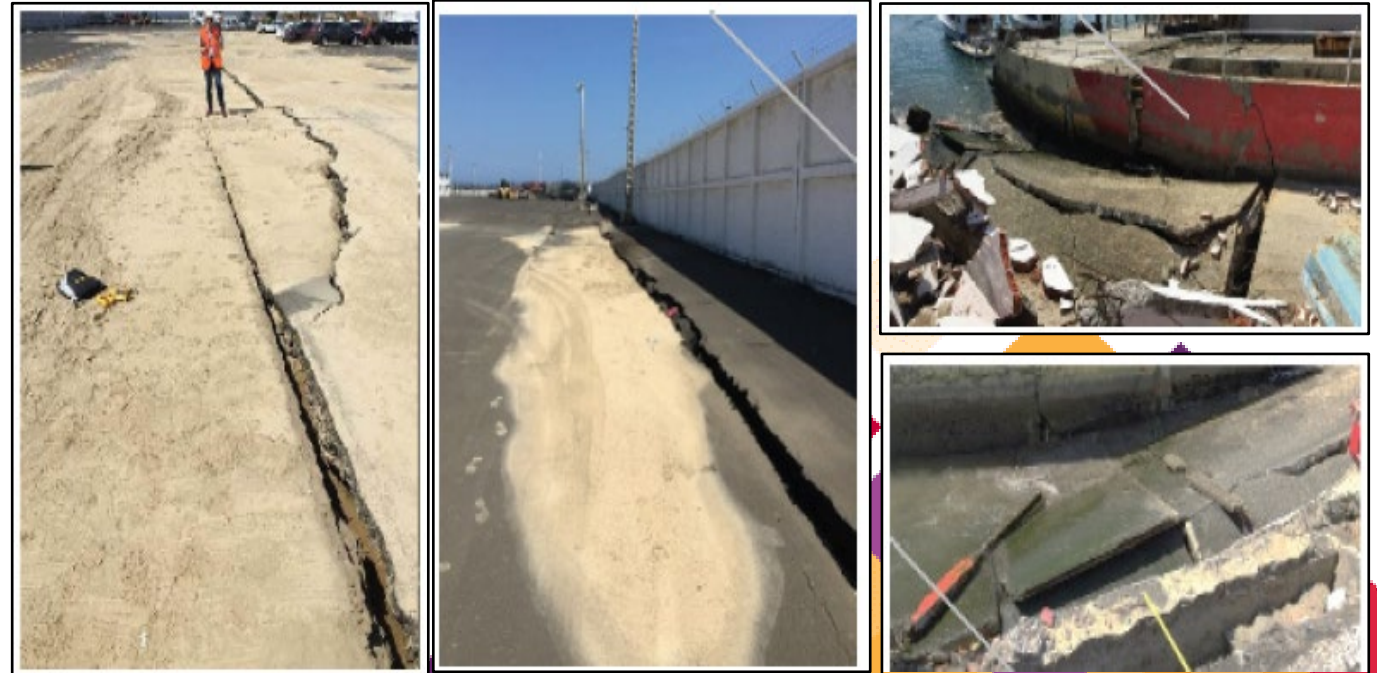
- Bray y Sancio (2006)
- Seed et al. (2003)
- Boulanger e Idriss (2006)

AASHTO



- Youd (2001)

### Efecto de licuefacción en el puerto de Manta



Fuente: EERI Earthquake Reconnaissance Team Report: M7.8 Muisne, Ecuador Earthquake on April 16, 2016

# Licuefacción

## Método Bray y Sancio (2006)

Suelo	Índice plástico	Limite liquido	Porcentaje de agua
Licuable	Menor a 12	Menor a 37	Mayor a 0.80
Susceptible a licuefacción	Entre 12 y 20	Entre 37 y 47	Mayor a 0.85

Condición	Licuable	No Licuable
Aguas Subterráneas	Sobre 15m de prof.	Bajo 15m de prof.
N del SPT	Menor a 25 golpes	Mayor a 25 golpes



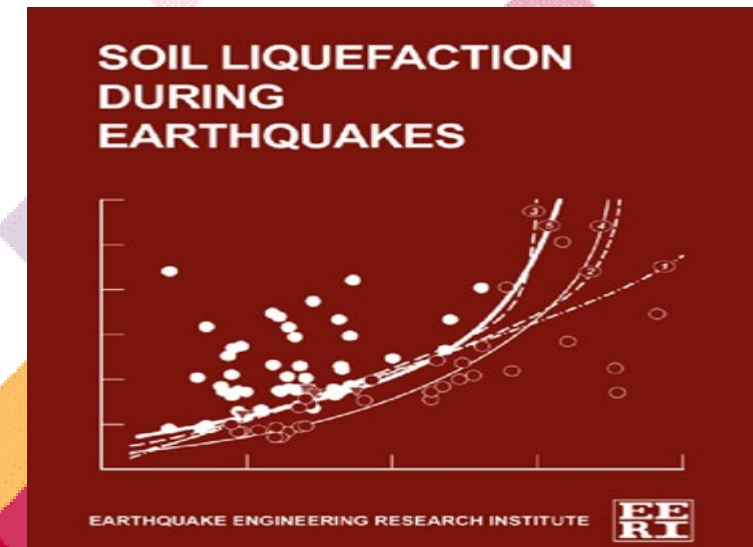
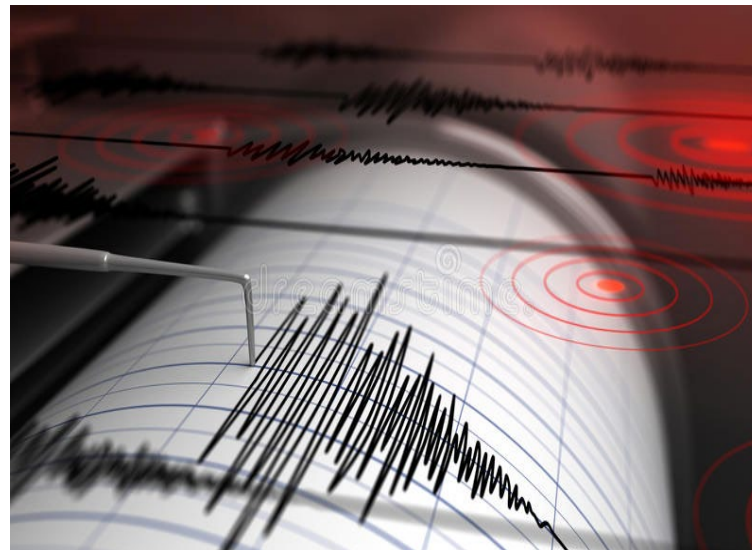


# Licuefacción

## Método YOUNG (2001)

Parámetros iniciales

NEC	ESTADÍSTICA (SISMOS PASADOS)	ENSAYOS DE LABORATORIO / CORRELACIONES	ENSAYOS EN CAMPO
Aceleración máxima esperada en roca	Escala de magnitud de momento (Sismo que se espera)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzo vertical</li> <li>Esfuerzo vertical total</li> <li>Contenido de finos</li> </ul>	N del SPT



# Licuefacción

## Suelos licuables según YOUNG (2001)

### DATOS INICIALES

$a_{max}$ : aceleración máxima esperada en roca,  $M_w$ : escala de magnitud de momento,  $\sigma'_{vo}$ : esfuerzo vertical efectivo,  
 $NSPT$ : número de golpes,  $FC$ : contenido de finos,  $\sigma_{vo}$ : esfuerzo vertical total,  $g$ : gravedad

#### Relación de esfuerzo cíclico (CSR)

$$CSR = \left( \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = 0.65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) rd$$

Donde:

$rd$ : coeficiente de reducción de esfuerzos

$z$ : profundidad

$$rd = \frac{1 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{1 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2}$$

#### Relación de resistencia cíclica (CRR) en base al N-SPT

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S$$

$$(N_1)_{60CS} = \alpha + \beta (N_1)_{60}$$

Para  $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0, \beta = 0$

Para  $5\% < FC < 35\%$ :  $\alpha = e \left( 1.76 - \frac{190}{FC^2} \right), \beta = 0.99 + \left( \frac{FC^{1.5}}{1000} \right)$

Para  $FC > 35\%$ :  $\alpha = 5.0, \beta = 1.2$

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60CS}} + \frac{(N_1)_{60CS}}{135} + \frac{50}{[10(N_1)_{60CS} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

$$FS = \left( \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \right) MSF$$

$$\text{Para } M_w > 7.5, MSF = \frac{10^{2.24}}{(M_w)^{2.56}}$$

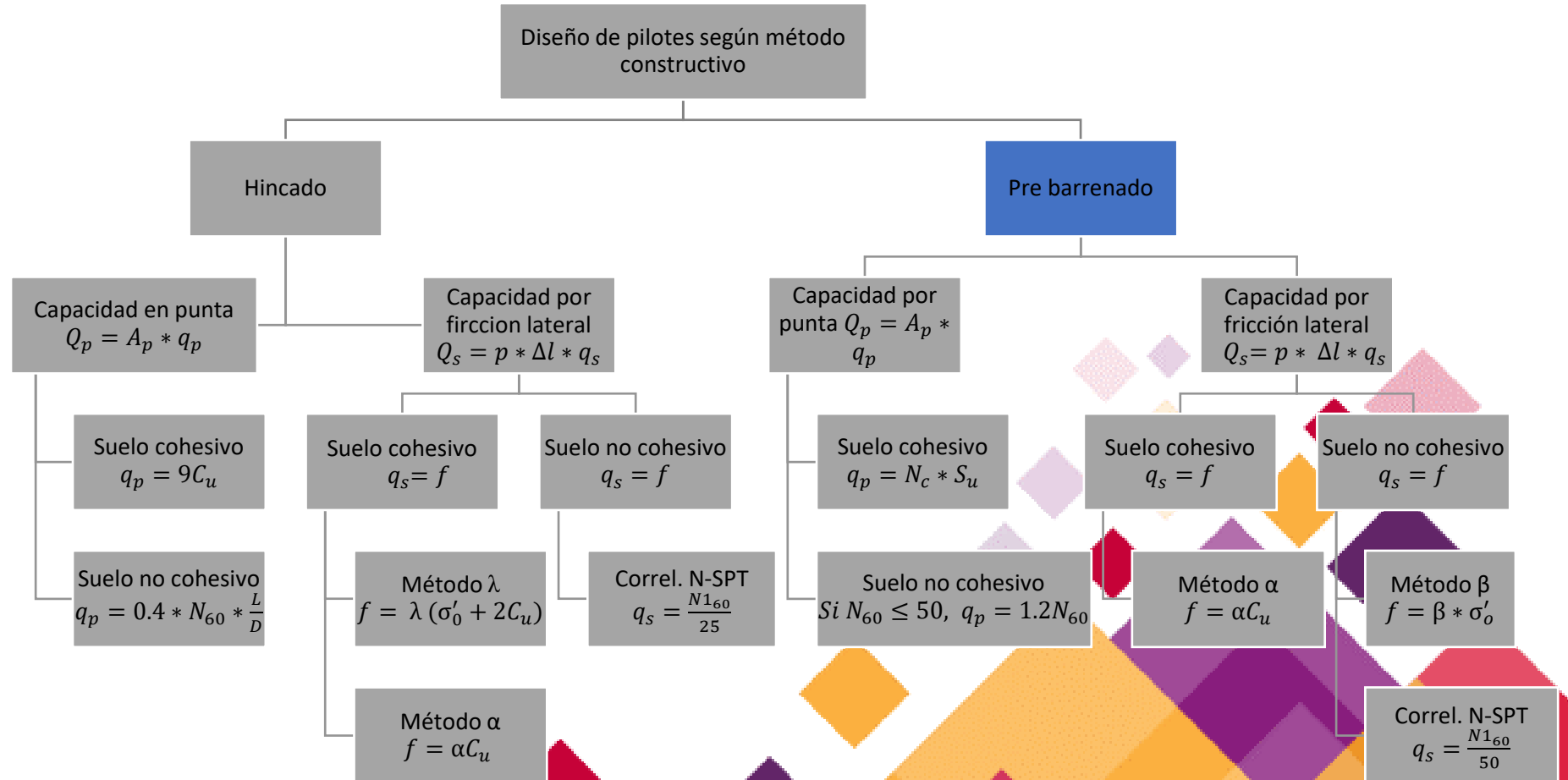
$$\text{Para } M_w < 7.5, MSF = MSF = \left( \frac{M_w}{7.5} \right)^{-2.56}$$

Si el factor de seguridad ( $FS < 1$ ) se considera que el suelo es licuable

Si es mayor a uno ( $FS > 1$ ), el suelo no tiene problemas de licuefacción. Si se cumple las condiciones de

# Diseño

# Diseño de pilotes



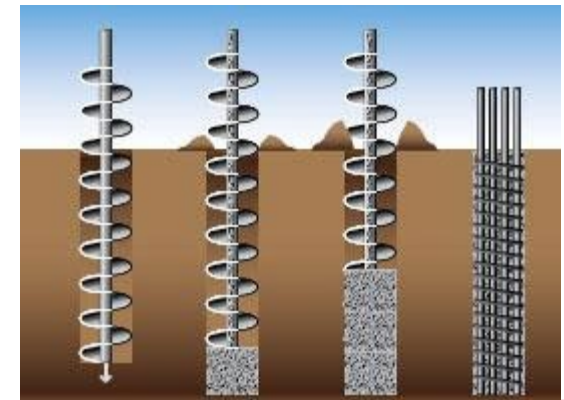
# Diseño

# Factores de Reducción. AASHTO (2014)

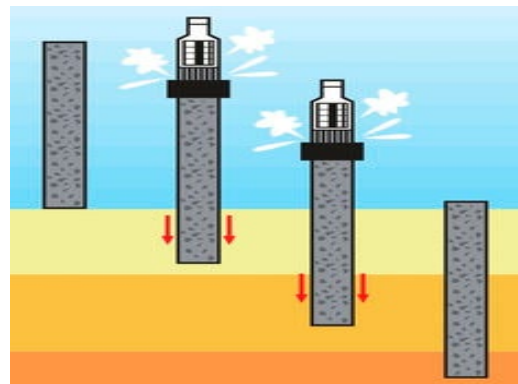
## Método

Condición-Método	Factor de resistencia
Resistencia lateral y en punta: Arcilla y suelos mixtos:	
Método $\alpha$ (Tomlison, 1987; Skempton, 1952)	0.35
Resistencia nominal, $\varphi'_{stat}$ , Método $\lambda$ (vijayvergiya & Focht, 1972)	0.40
Resistencia lateral y en punta: Arenas:	
Método SPT (Meyerhof)	0.30

## Tipo de suelo



PREBARRENADO



HINCADO

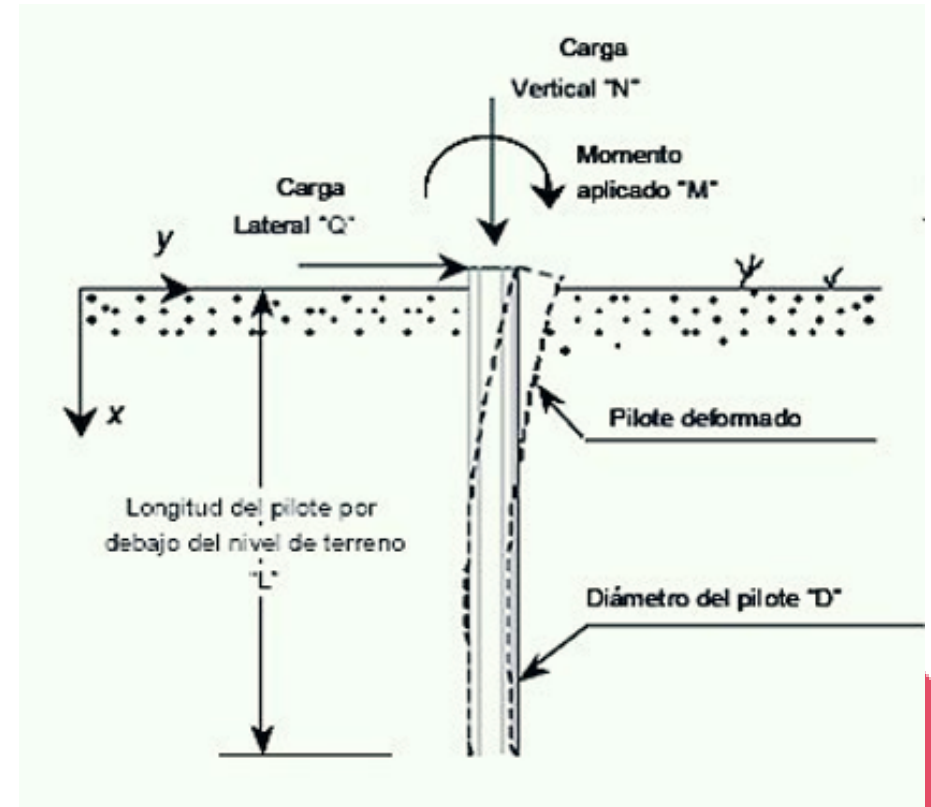
Condición-Método	Factor de resistencia	
Resistencia lateral en arcilla	Método $\alpha$ (Brown, 2010)	0.45
Resistencia nominal, $\varphi'_{stat}$ , Resistencia a la punta en arcilla	(Brown et al, 2010)	0.40
Resistencia lateral en arenas	Método $\beta$ (Brown, 2010)	0.55
Resistencia a la punta en arenas	Método SPT	0.30
Resistencia lateral en roca	Carter y Kulhawy (1988)	0.50
Resistencia a la punta en roca	Asoc. Canadiense de Geotecnia	0.50

# Diseño

## Factores de Reducción según NEC-SE-CM

### Carga Analizada

CONDICIÓN	F.S.I.M. ADMISIBLE
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño pseudo estático	1.5



# Diseño

## Aspectos relevantes para el diseño de pilotes



TURBAS



ACTUALIDAD

# Curvas P-Y

## Curvas

El uso de las curvas p-y para suelos ya tiene más de 70 años de vigencia ya que se ha demostrado que son ideales

Skempton y Terzaghi (1940 - 1950)

Matlock (1970) Arcillas blandas

Reese et al. (1975) Arcilla Rígida con agua

Reese and Welch (1975) Arcillas rígidas sin agua

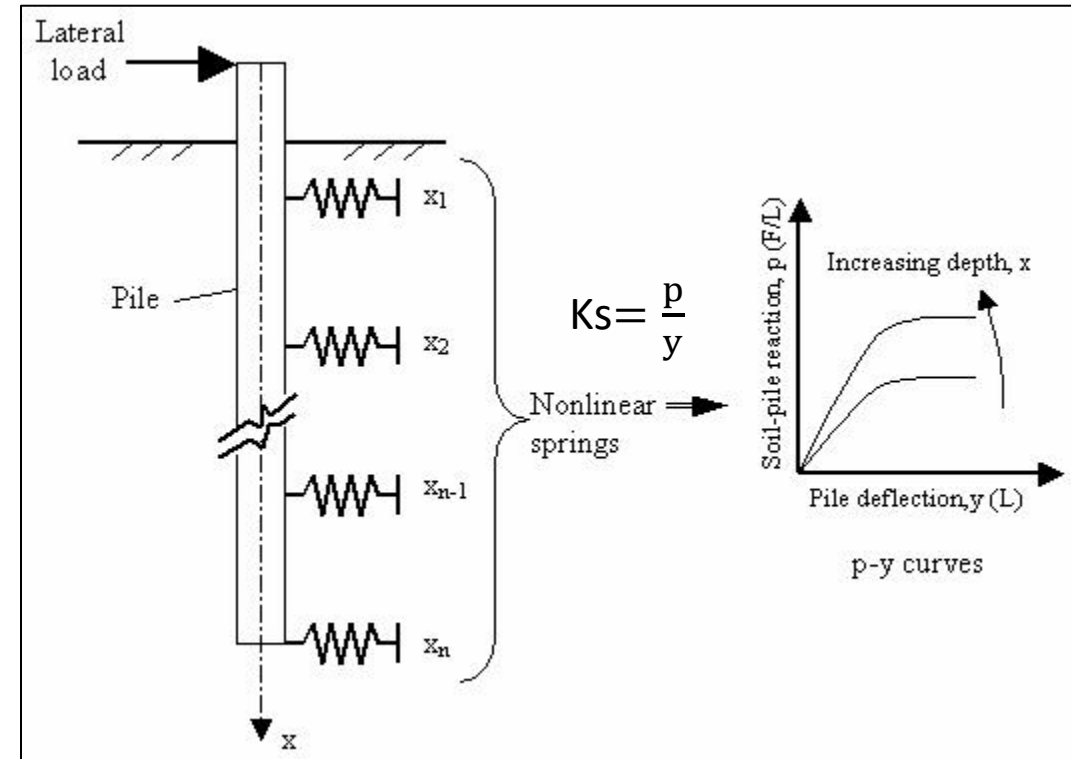
API (1987- presente) Arenas

Reese And Van Impe (2001) Limos

# Curvas P-Y

## ¿Qué es una curva p-y?

La fuerza de reacción del suelo es proporcional a la deflexión del pilote en el punto analizado y son independientes a otras curvas a diferente profundidad.



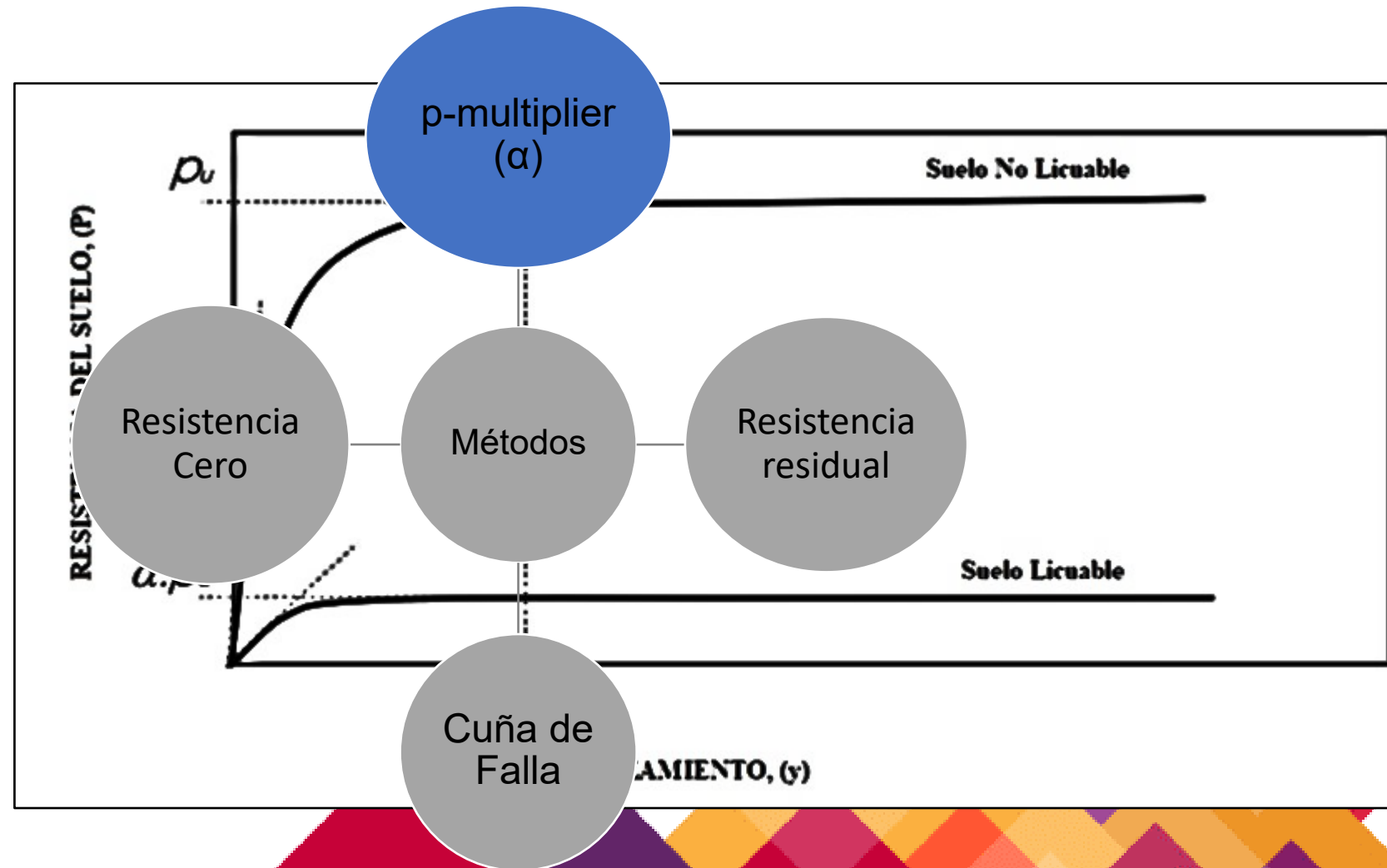
Fuente: Federal Highway Administration.



# Curvas P-Y

## Reducción de curvas p-y en suelo licuable

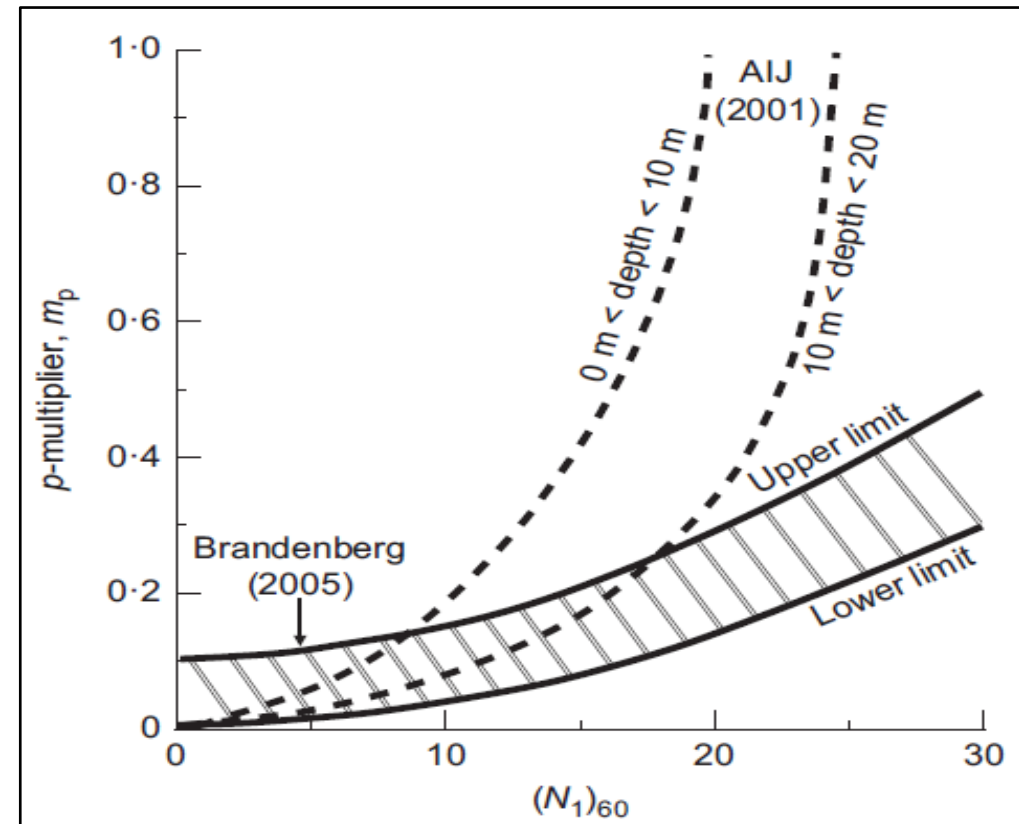
Se considera estratos licuables asumiendo que tiene el mismo comportamiento o tendencia de una curva p-y en suelo no licuable



# Curvas P-Y

## Factor de reducción p-multiplier

El método recomendado por la AASHTO es el aplicado por la norma japonesa (AIJ, 2001) el cual obtiene el multiplicador ( $m_p$ ) en base al número de golpes normalizados del SPT.



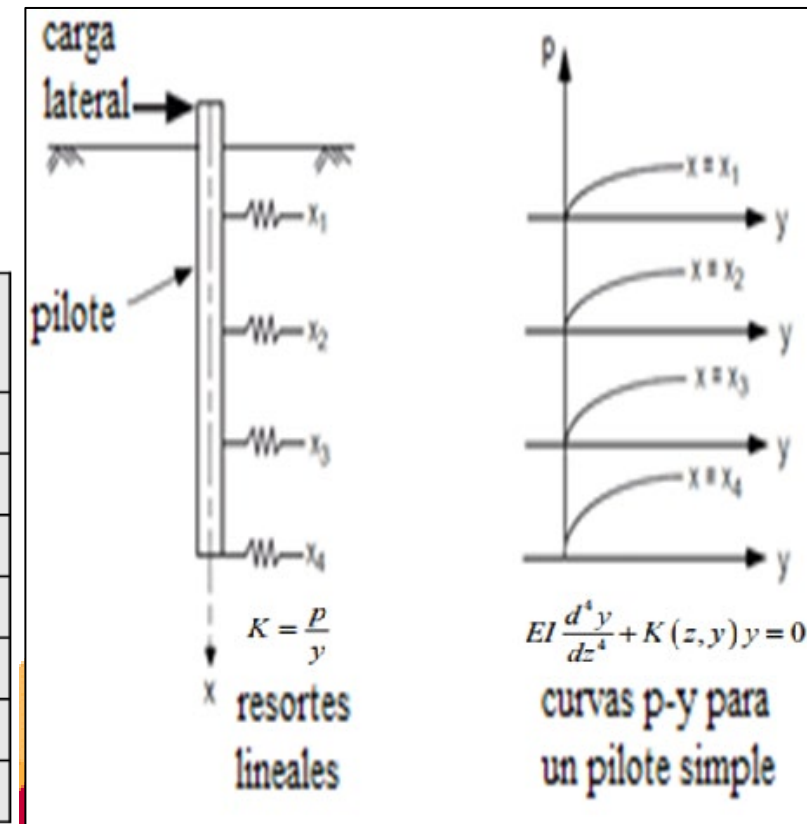
Fuente: AIJ, 2001

# Curvas P-Y

## Comparación entre balasto y curvas P-Y

\*\* El módulo de elástico del suelo aumenta con la presión efectiva de confinamiento

Comparación de métodos	Balasto	Curva P-y
Modelo lineal elástico	✓	✗
Modelo no lineal elástico	✗	✓
Considera licuefacción	✗	✓
Forma de la pila	✗	✓
Método constructivo	✗	✓
Interacción suelo-estructura	✗	✓
Toma en cuenta la profundidad	✓**	✓



# LqLab V1.0

## Licuefacción

Potencial de Licuafacción

Evaluación Preliminar

Bray & Sancio (2006)

Evaluación de Licuafacción

Factor Z

Escala de Magnitud de Momento (Mw)

Ayuda

Factor de Escala de Magnitud del Sismo

Youd (2001)

PERFORACIÓN 1 (ESTRIBO)					
PROFUNDIDAD	TIPO DE SUELO	SUELO CRITICO		BRAY Y SANCIO	YOUD
1.00	SM	ARENA	PILOTE 1	NLQ	NLQ
2.00	ML	LIMO		LQ	LQ
3.00	ML	LIMO		LQ	LQ
4.00	Pt	TURBA		LQ	LQ
5.00	Pt	TURBA		LQ	LQ
6.00	SM	ARENA		NLQ	LQ
7.00	SC	ARENA		NLQ	NLQ
8.00	SC	ARENA		NLQ	NLQ
9.00	SC	ARENA		NLQ	NLQ
10.00	SC	ARENA		NLQ	NLQ
11.00	SC	ARENA		NLQ	LQ
12.00	SC	ARENA		SLQ	LQ
13.00	MH	LIMO		NLQ	LQ
14.00	MH	LIMO		NLQ	LQ
15.00	MH	LIMO		NLQ	NLQ
16.00	MH	LIMO		NLQ	NLQ
17.00	MH	LIMO		NLQ	NLQ
18.00	GC	ARCILLA		SLQ	NLQ
19.00	SM	ARENA		NLQ	NLQ
20.00	SM	ARENA		LQ	NLQ
21.00	MH	LIMO		NLQ	NLQ
22.00	SM	ARENA		NLQ	NLQ
23.00	SM	ARENA		NLQ	NLQ
24.00	SM	ARENA		NLQ	NLQ
25.00	SM	ARENA		NLQ	NLQ
26.00	SC	ARENA		NLQ	NLQ
27.00	SC	ARENA		NLQ	NLQ
28.00	SC	ARENA		NLQ	NLQ
29.00	SC	ARENA		NLQ	NLQ
30.00	MH	LIMO		NLQ	NLQ
31.00	LUTITA				
32.00	LUTITA				
33.00	LUTITA				
34.00	LUTITA				
35.00	LUTITA				
36.00	LUTITA				
37.00	LUTITA				
38.00	LUTITA				
39.00	LUTITA				
40.00	LUTITA				
41.00	LUTITA				
SIMBOLOGÍA	NLQ	SUELO NO LICUABLE			
	LQ	SUELO LICUABLE			
	SLQ	SUCEPTIBLE A LICUEFACCION			

# LqLab V1.0

## Diseño de pilotes

Capacidad de Carga Pilotes

Datos Iniciales | Qp Empotrado en Roca | Qp Carga a Punta en Suelo | Qs carga a Fricción | Grupo de Pilotes

Prediseño de pilote

Carga Sobre el pilote, (kN)

Resistencia del Hórmigón  $f_c$  (Mpa)

Peso del Hórmigón Armado (kN/m<sup>3</sup>)

Diametro Teórico, (m)

Modulo de Elasticidad, (Mpa)

Cantidad de Acero

Cuántía de Acero, %  Acero Longitudinal Teórico, (cm<sup>2</sup>)

Diámetro Acero Comercial, (mm)  Acero Longitudinal Colocado, (cm<sup>2</sup>)

Nº de Varillas

Tipo de Análisis

Considerar empotramiento en Roca

Considerar Carga a Punta en Suelo

Considerar Solo Carga Por Fricción

Siguiente

# LqLab V1.0

## Construcción curvas P-Y

Curva P-Y

Datos del suelo

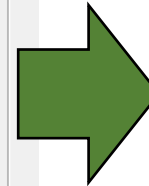
Tipo de suelo	<input type="text"/>	Esfuerzo Efectivo, kN/m <sup>3</sup>	<input type="text"/>
Suelo Crítico	<input type="text"/>	Corte no drenado Su, kN/m <sup>2</sup>	<input type="text"/>
Profundidad, m	<input type="text"/>	Nivel Freático	<input type="text"/>
Licuefacción	<input type="text"/>	Cohesión C, kN/m <sup>2</sup>	<input type="text"/>
N1(60)	<input type="text"/>	Ángulo de Fricción (°)	<input type="text"/>

Iniciar Atrás Siguiente

Curva P-Y sugerida:

Seleccionar Curva: Método Reese & Van Impe (2001) para Limos

Carqar Método



Curva P-Y

Datos del suelo

Tipo de suelo	(SM) arenas limosas	Esfuerzo Efectivo, kN/m <sup>3</sup>	19.25
Suelo Crítico	ARENA	Corte no drenado Su, kN/m <sup>2</sup>	0
Profundidad, m	1	Nivel Freático	No
Licuefacción	No Licuable	Cohesión C, kN/m <sup>2</sup>	0
N1(60)	40.2872531418312	Ángulo de Fricción (°)	36.67576

Iniciar Atrás Siguiente

Curva P-Y sugerida: Método API RP 2A (1987) para arenas.

Seleccionar Curva: Método Reese & Van Impe (2001) para Limos

Carqar Método



# LqLab V1.0

## Construcción curvas P-Y

Metodo API

Curva P-Y

Carga Estática Nivel Freatico

Carga Cíclica Esfuerzo efectivo, kN/m3  N1(60)

Datos Iniciales

Diametro del pilote, cm  A

Ángulo de fricción (°)  C1

Profundidad, (m)  C2

nh, kN/m3  C3

Factor de reducción por Licuefacción

Editar Valores

Limites de la Curva

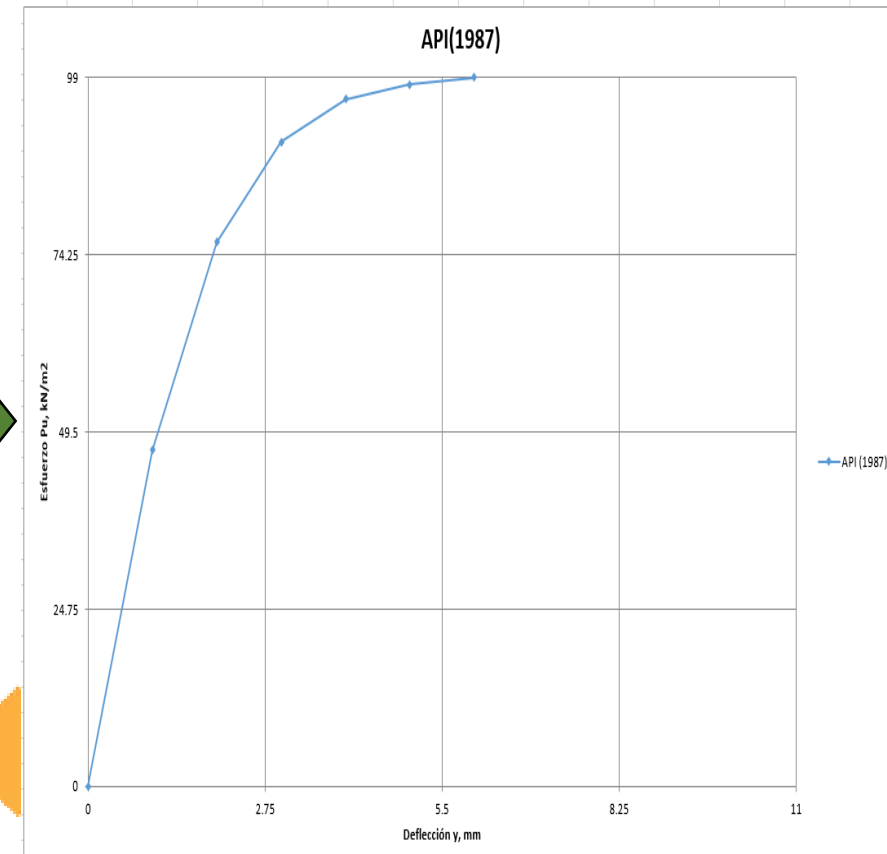
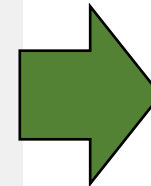
Pus (condicion superficial), kN/m2

Pud (condicion profunda), kN/m2

Pu, kN/m2

APu, kN/m2

(1)  (2)



# Resultados

## Pilote 1 y 2 (estribos)

PROFUNDIDAD	PERFORACIÓN 1 (ESTRIBO)					PERFORACIÓN 2 (ESTRIBO)				
	TIPO DE SUELO	SUELO CRITICO	PILOTE 1	BRAY Y SANCIO	YOUD	TIPO DE SUELO	SUELO CRITICO	PILOTE 2	BRAY Y SANCIO	YOUD
1.00	SM	ARENA			No Info	No Licuable	MH		LIMO	
2.00	ML	LIMO		No Info	Licuable	MH	LIMO		No Info	Licuable
3.00	ML	LIMO		No Info	Licuable	MH	LIMO		No Licuable	Licuable
4.00	Pt	TURBA		No Info	Licuable	SM	ARENA		No Info	Licuable
5.00	Pt	TURBA		No Info	Licuable	SM	ARENA		No Info	Licuable
6.00	SM	ARENA		No Info	Licuable	SM	ARENA		No Info	Licuable
7.00	SC	ARENA		No licuable (Nspt >25)	No Licuable	SM	ARENA		No Info	Licuable
8.00	SC	ARENA		No licuable (Nspt >25)	No Licuable	CL	ARCILLA		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
9.00	SC	ARENA		No licuable (Nspt >25)	No Licuable	SM	ARENA		No Info	Licuable
10.00	SC	ARENA		No licuable (Nspt >25)	No Licuable	SM	ARENA		No Info	Licuable
11.00	SC	ARENA		No licuable (Nspt >25)	Licuable	SM	ARENA		No Info	No Licuable
12.00	SC	ARENA		Suseptible a Licuefaccion	Licuable	SM	ARCILLA		No Info	No Licuable
13.00	MH	LIMO		No Licuable	Licuable	CL	ARCILLA		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
14.00	MH	LIMO		No Licuable	Licuable	CL	ARCILLA		Suseptible a Licuefaccion	Licuable
15.00	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable	CL	ARCILLA		Suseptible a Licuefaccion	No Licuable
16.00	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable
17.00	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable
18.00	GC	ARCILLA		Suseptible a Licuefaccion	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable
19.00	SM	ARENA		No Info	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable
20.00	SM	ARENA		No Info	No Licuable	MH	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
21.00	MH	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable	MH	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
22.00	SM	ARENA		No Info	No Licuable	SM	ARENA		No Info	No Licuable
23.00	SM	ARENA		No Info	No Licuable	SM	ARENA		No Info	No Licuable
24.00	SM	ARENA		No Info	No Licuable	GM	LIMO		No Info	No Licuable
25.00	SM	ARENA		No Info	No Licuable	SM	ARENA		No Info	No Licuable
26.00	SC	ARENA		No licuable(Prof >23m)	No Licuable	SM	ARENA		No Info	No Licuable
27.00	SC	ARENA		No licuable(Prof >23m)	No Licuable	SM	ARENA		No Info	No Licuable
28.00	SC	ARENA		No licuable(Prof >23m)	No Licuable	MH	LIMO		No licuable(Prof >23m)	No Licuable
29.00	SC	ARENA		No licuable(Prof >23m)	No Licuable	SM	ARENA		No Info	No Licuable
30.00	MH	LIMO		No licuable(Prof >23m)	No Licuable	SM	ARENA		No licuable(Prof >23m)	No Licuable
31.00	LUTITA					LUTITA				
32.00	LUTITA					LUTITA				
33.00	LUTITA					LUTITA				
34.00	LUTITA					LUTITA				
35.00	LUTITA					LUTITA				
36.00	LUTITA					LUTITA				
37.00	LUTITA					LUTITA				
38.00	LUTITA					LUTITA				
39.00	LUTITA					LUTITA				
40.00	LUTITA					LUTITA				
41.00	LUTITA					LUTITA				



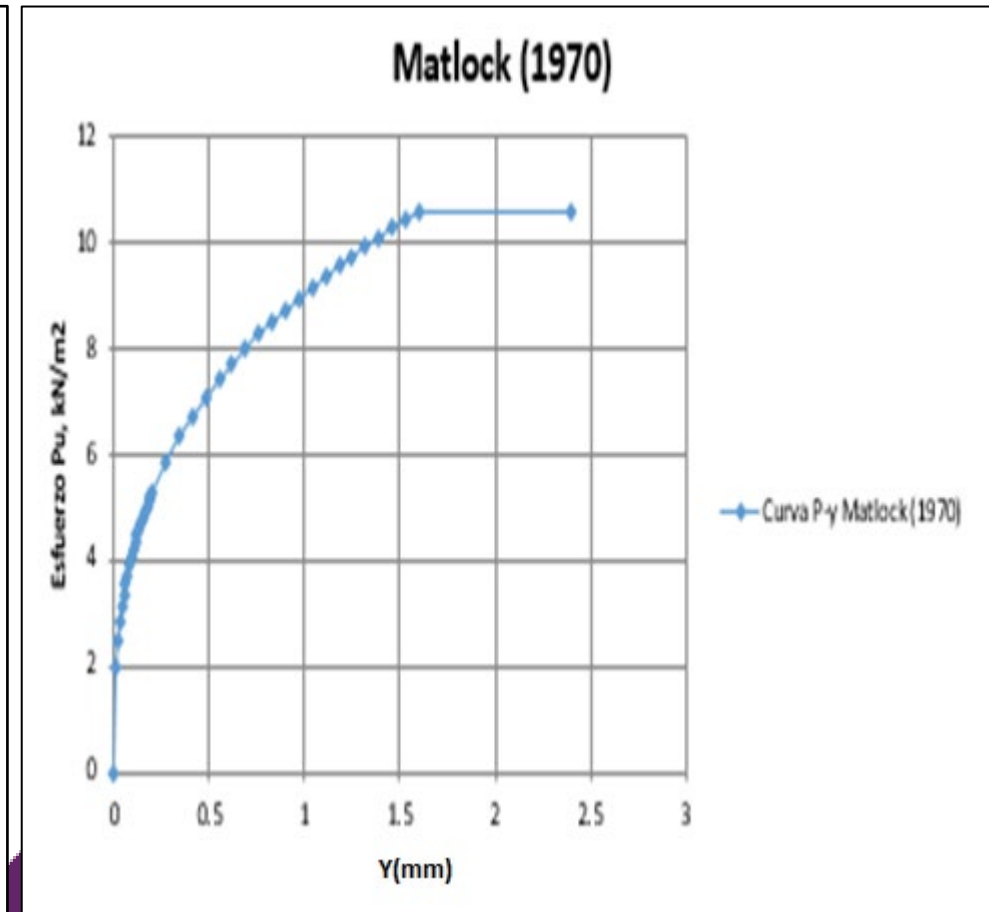
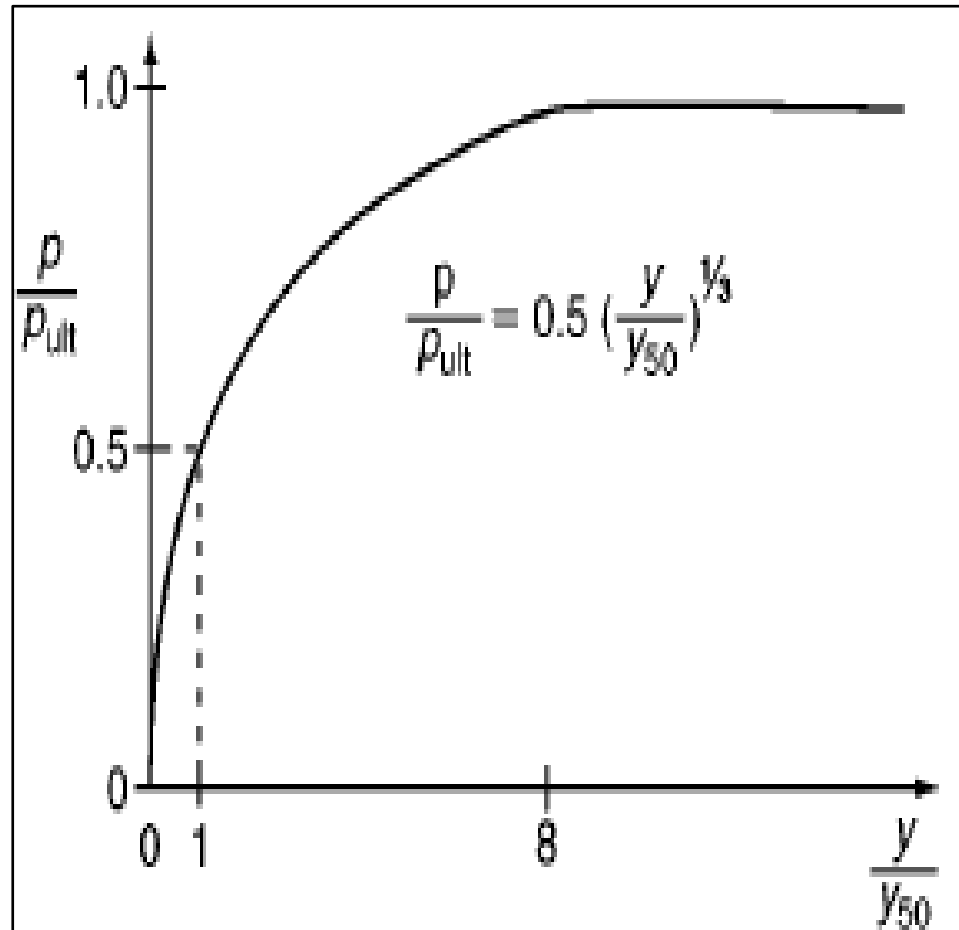
# Resultados

## Pilotes centrales

PERFORACIÓN 3				PERFORACIÓN 4				PERFORACIÓN 5						
TIPO DE SUELO	SUELO CRITICO		BRAY Y SANCIO	YOUD	TIPO DE SUELO	SUELO CRITICO		BRAY Y SANCIO	YOUD	TIPO DE SUELO	SUELO CRITICO		BRAY Y SANCIO	YOUD
SM	ARENA	PILOTE 3	No Info	Licuable	SM	ARENA	PILOTE 4	Licuable	Licuable	MH	LIMO	PILOTE 5	No Licuable	Licuable
SM	ARENA		No Info	Licuable	Pt	TURBA		Licuable	Licuable	SM	ARENA		No Info	Licuable
SM	ARENA		No Info	Licuable	Pt	TURBA		Licuable	Licuable	SM	ARENA		No Info	Licuable
MH	LIMO		No Licuable	Licuable	Pt	TURBA		Licuable	Licuable	GM	LIMO		No Info	No Licuable
Pt	TURBA		No Info	Licuable	Pt	TURBA		Licuable	Licuable	SM	ARENA		No Info	Licuable
MH	LIMO		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		Licuable	No Licuable	SM	LIMO		No Info	No Licuable
MH	LIMO		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		Licuable	No Licuable	GM	ARENA		No Info	Licuable
MH	LIMO		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		Licuable	No Licuable	SM	LIMO		No Licuable	No Licuable
SM	ARENA		No Info	Licuable	MH	LIMO		Licuable	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	Licuable
MH	LIMO		No Licuable	Licuable	CL	LIMO		Licuable	Licuable	MH	LIMO		No Licuable	Licuable
MH	LIMO		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		Licuable	Licuable	MH	LIMO		No Licuable	Licuable
MH	LIMO		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		Licuable	Licuable	MH	LIMO		No Licuable	Licuable
MH	LIMO		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		Licuable	No licuable (Nspt >25)	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable
SM	ARENA		No Info	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable	MH	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
GM	LIMO		No Info	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable	MH	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
SM	ARENA		No Info	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable	MH	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
CL	ARCILLA		No Licuable	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	No licuable (Nspt >25)	MH	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
SM	ARENA		No Info	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	CL	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
MH	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	Pt	TURBA		No Info	No Licuable
SM	ARENA		No Info	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	Pt	TURBA		No Info	No Licuable
MH	LIMO		No Licuable	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		No Licuable	No Licuable
Pt	TURBA		No Info	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	Licuable	Pt	TURBA		No Info	No Licuable
SM	ARENA		No Info	No Licuable	MH	LIMO		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		No Info	No Licuable
SM	ARENA		No Info	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	CL	ARCILLA		No licuable(Prof >23m)	No Licuable
MH	LIMO		No Info	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		No Info	No Licuable
Pt	TURBA		No Info	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		No licuable(Prof >23m)	No Licuable
MH	LIMO		No Info	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	Pt	TURBA		No Info	No Licuable
MH	LIMO		No Info	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	MH	LIMO		No licuable (Nspt >25)	No Licuable
MH	LIMO		No licuable(Prof >23m)	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	Pt	TURBA		No Info	No Licuable
MH	LIMO		No licuable(Prof >23m)	No Licuable	Pt	TURBA		No Licuable	Licuable	Pt	TURBA		No Info	No Licuable
MH	LIMO	No licuable(Prof >23m)	No Licuable	Pt	TURBA	No Licuable	Licuable	MH	LIMO	No licuable(Prof >23m)	No Licuable			
Pt	TURBA	No Info	No Licuable	Pt	TURBA	No Licuable	Licuable	MH	LIMO	No licuable(Prof >23m)	No Licuable			
MH	LIMO	No Info	No Licuable	Pt	TURBA	No Licuable	Licuable	MH	LIMO	No licuable(Prof >23m)	No Licuable			
MH	LIMO	No Info	No Licuable	Pt	TURBA	No Licuable	Licuable	MH	LIMO	No licuable(Prof >23m)	No Licuable			
Pt	TURBA	No Info	No Licuable	Pt	TURBA	No Licuable	Licuable	MH	LIMO	No licuable (Nspt >25)	No Licuable			
MH	LIMO	No licuable(Prof >23m)	No Licuable	LUTITA		No Licuable	No licuable(Prof >23m)	MH	LIMO	No licuable (Nspt >25)	No Licuable			
MH	LIMO	No licuable (Nspt >25)	No Licuable	LUTITA		No Licuable	No licuable (Nspt >25)	MH	LIMO	No licuable (Nspt >25)	No Licuable			
MH	LIMO	No licuable (Nspt >25)	No Licuable	LUTITA		No Licuable	No licuable (Nspt >25)	LUTITA	LIMO	No licuable (Nspt >25)	No Licuable			
CL	ARCILLA	No licuable (Nspt >25)	No Licuable	LUTITA		No Licuable	No licuable (Nspt >25)	LUTITA	LIMO	No licuable (Nspt >25)	No Licuable			
MH	LIMO	No licuable (Nspt >25)	No Licuable	LUTITA		No Licuable	No licuable (Nspt >25)	LUTITA	LIMO	No licuable (Nspt >25)	No Licuable			
LUTITA				LUTITA				LUTITA						

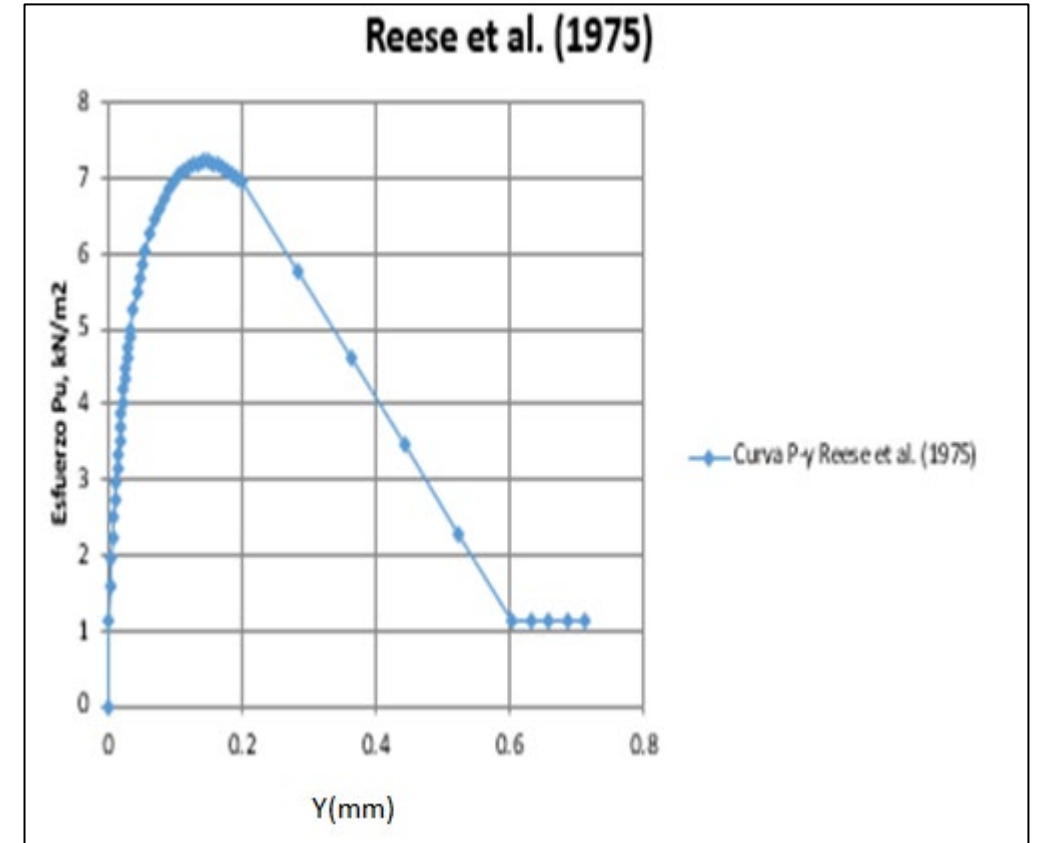
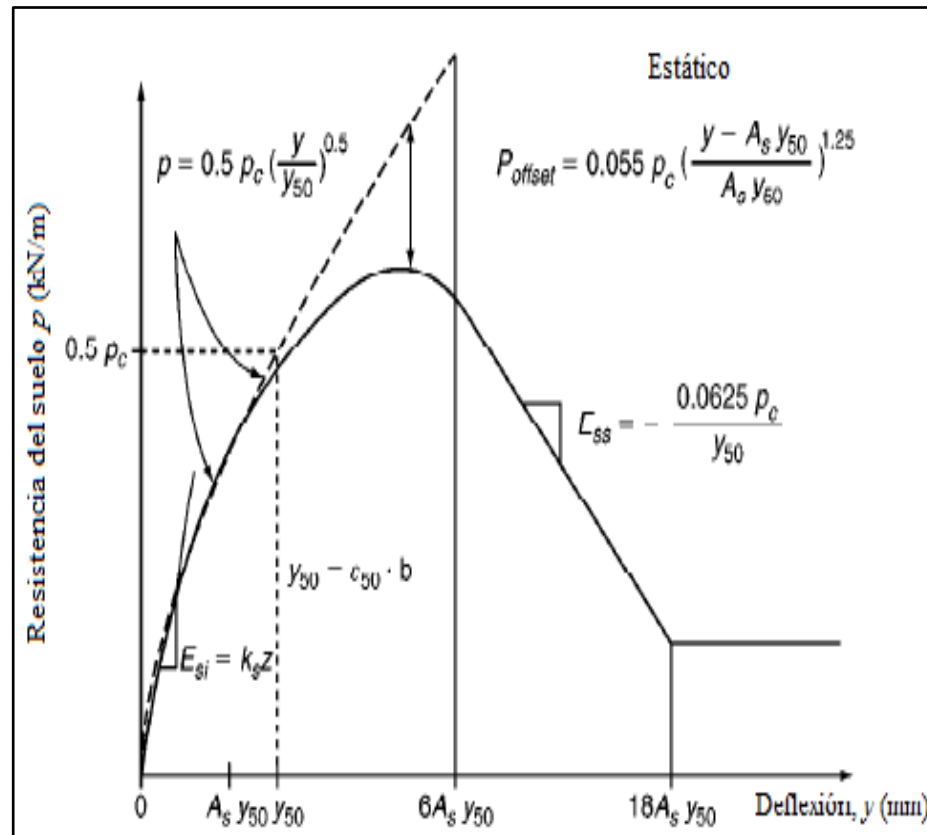
# Resultados

**Arcillas blandas**



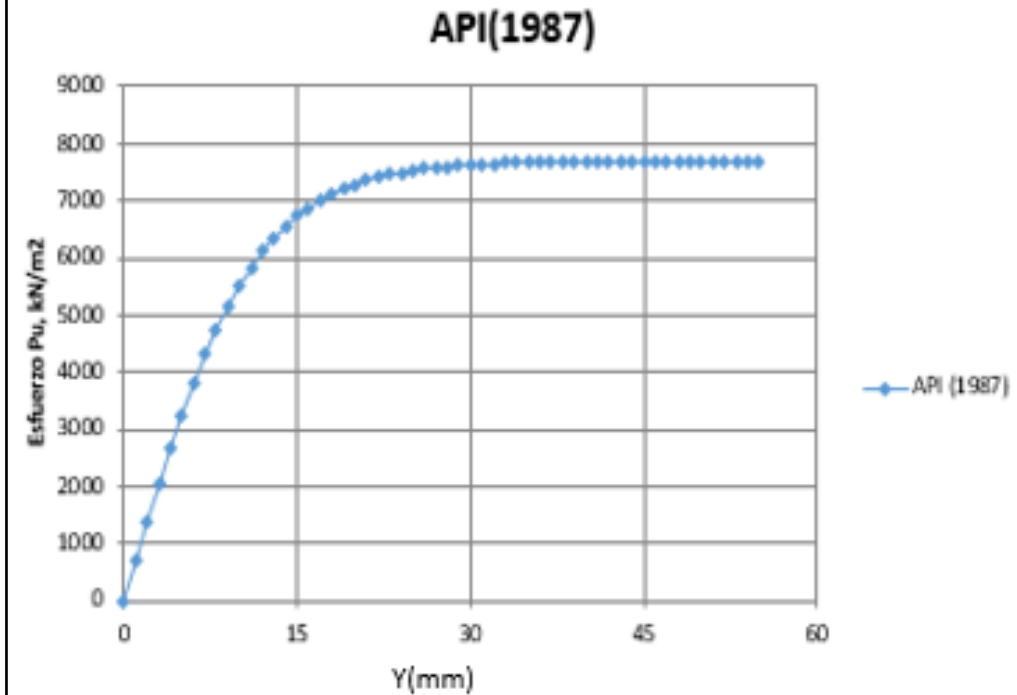
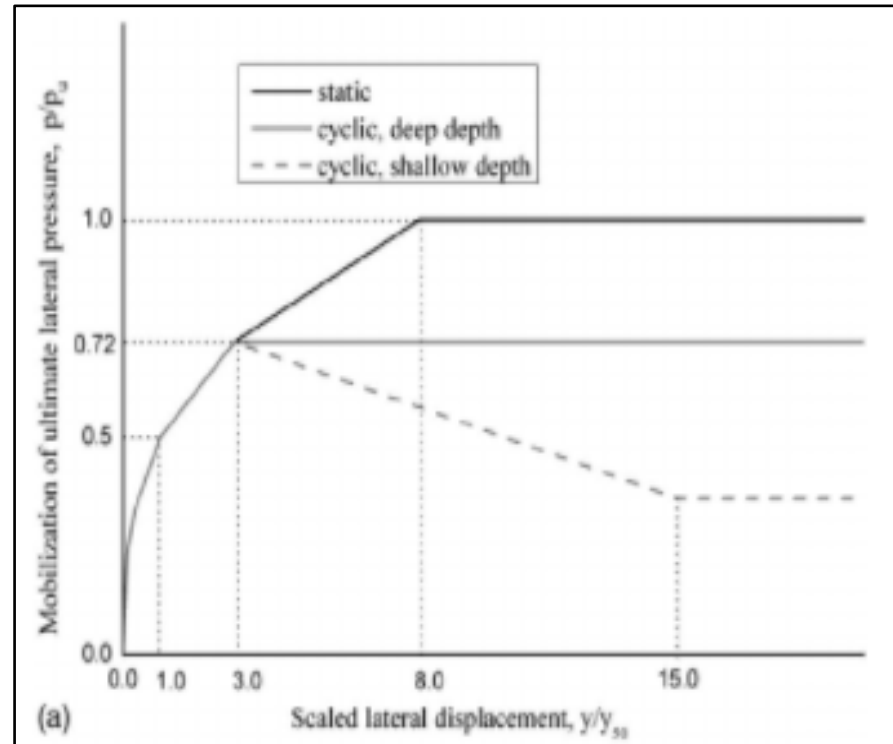
# Resultados

**Arcillas  
 rígidas**  
 con presencia  
 de agua



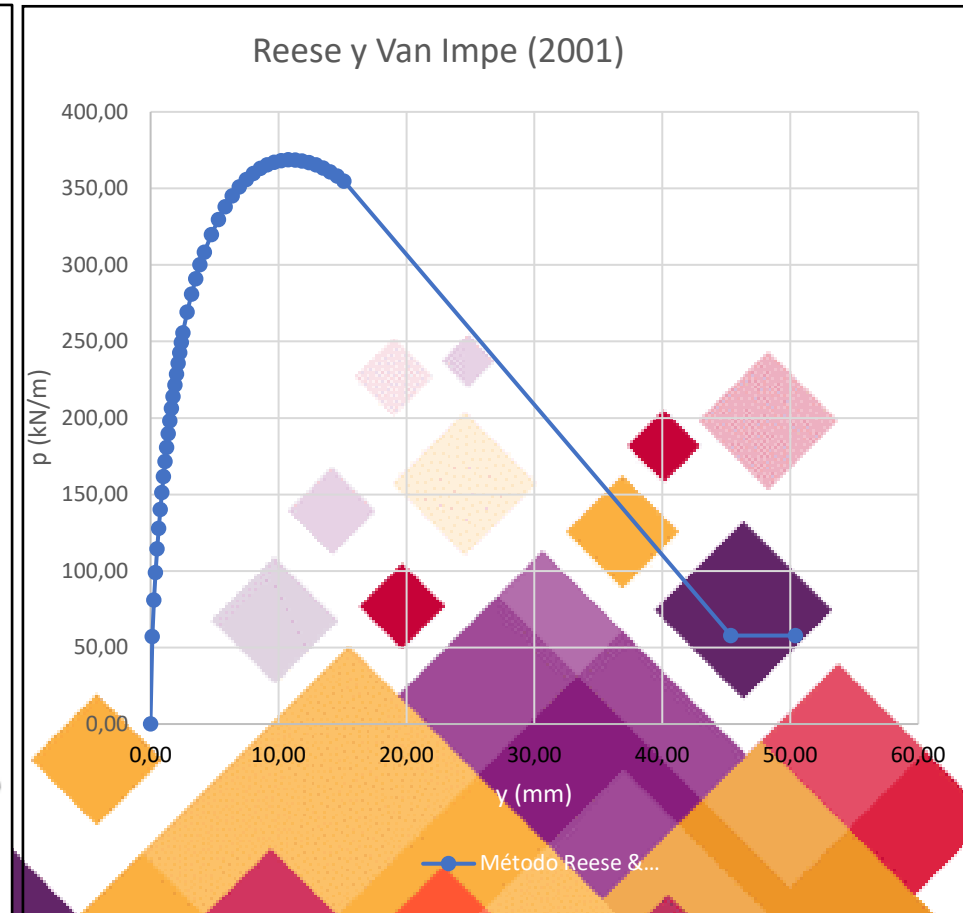
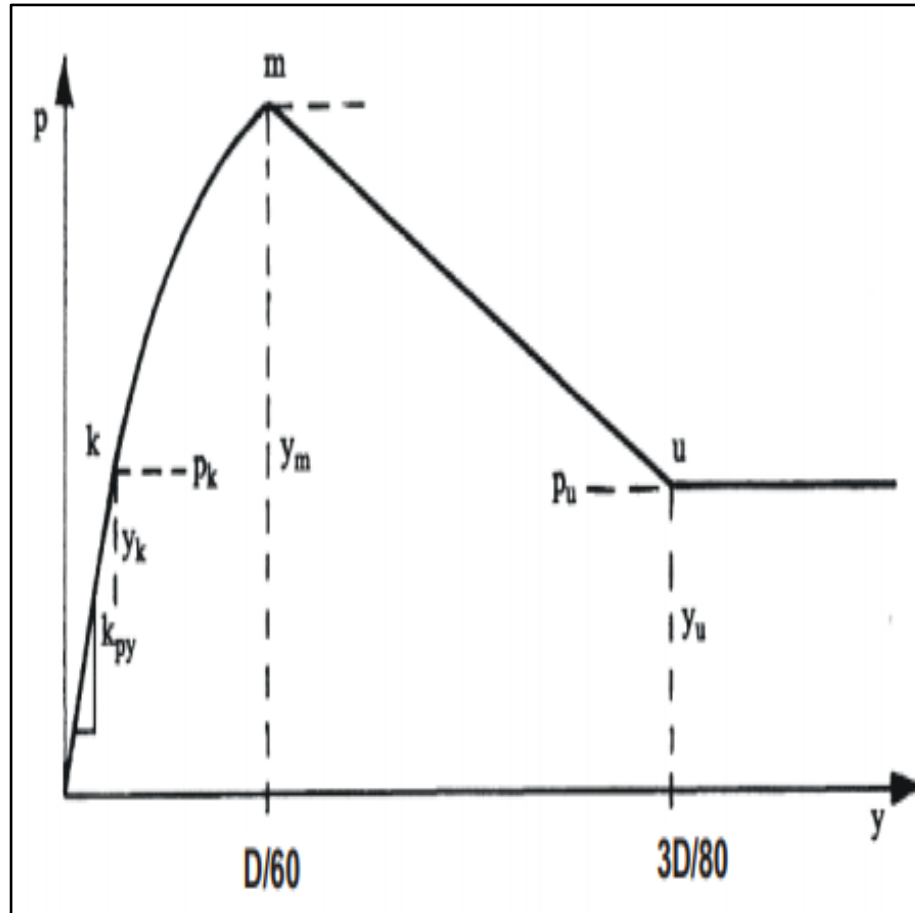
# Resultados

## Arenas



# Resultados

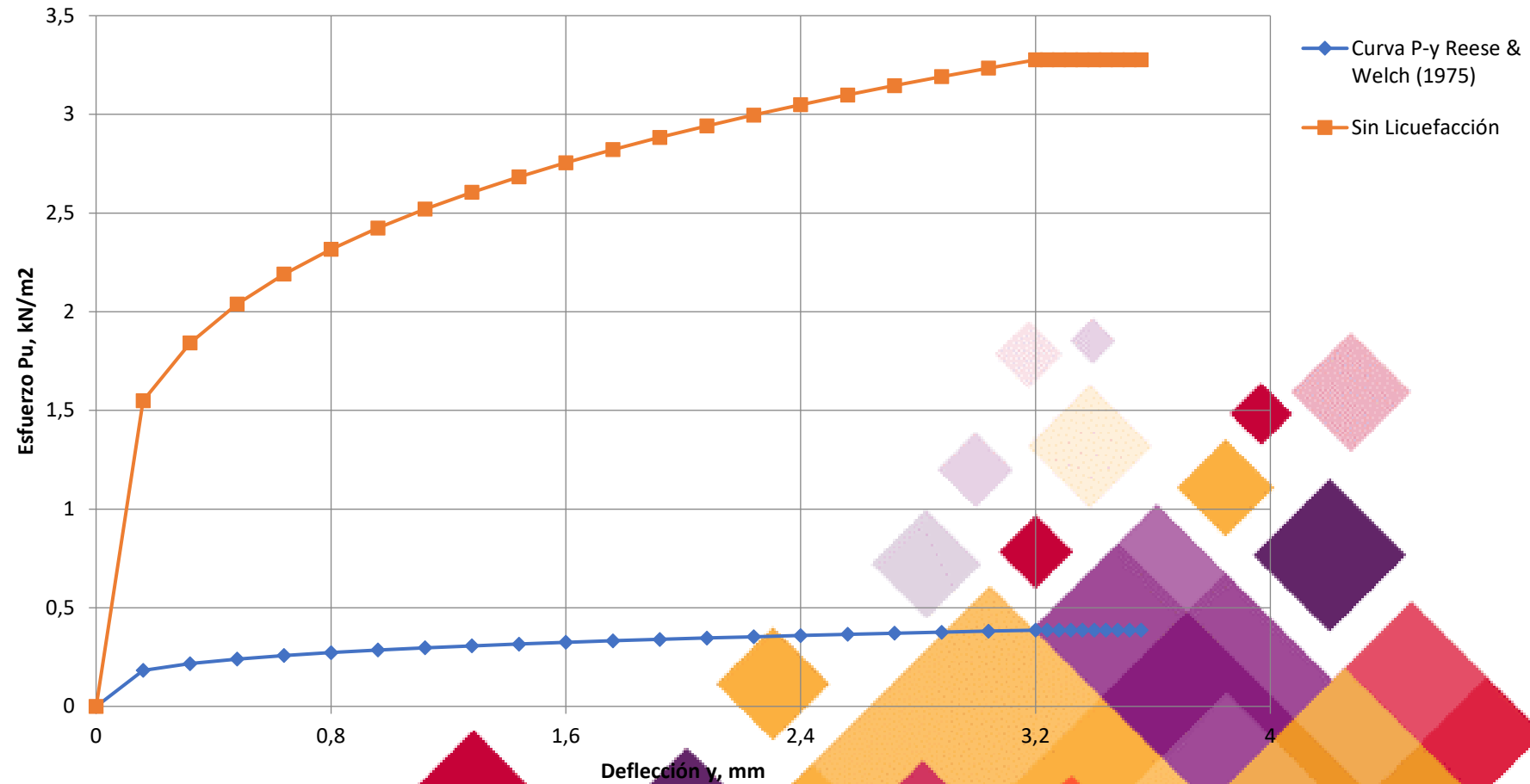
## Limos



# Resultados

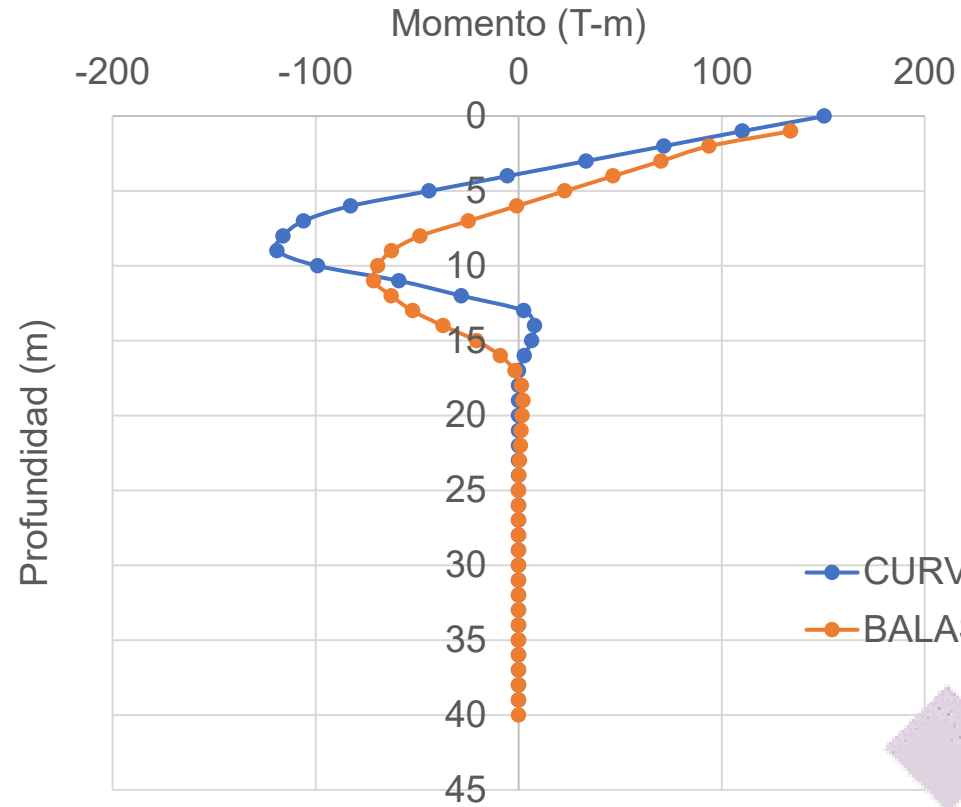
## Curva Licuefacción

Reese & Welch (1975)



# Resultados

## Momento (T-m)



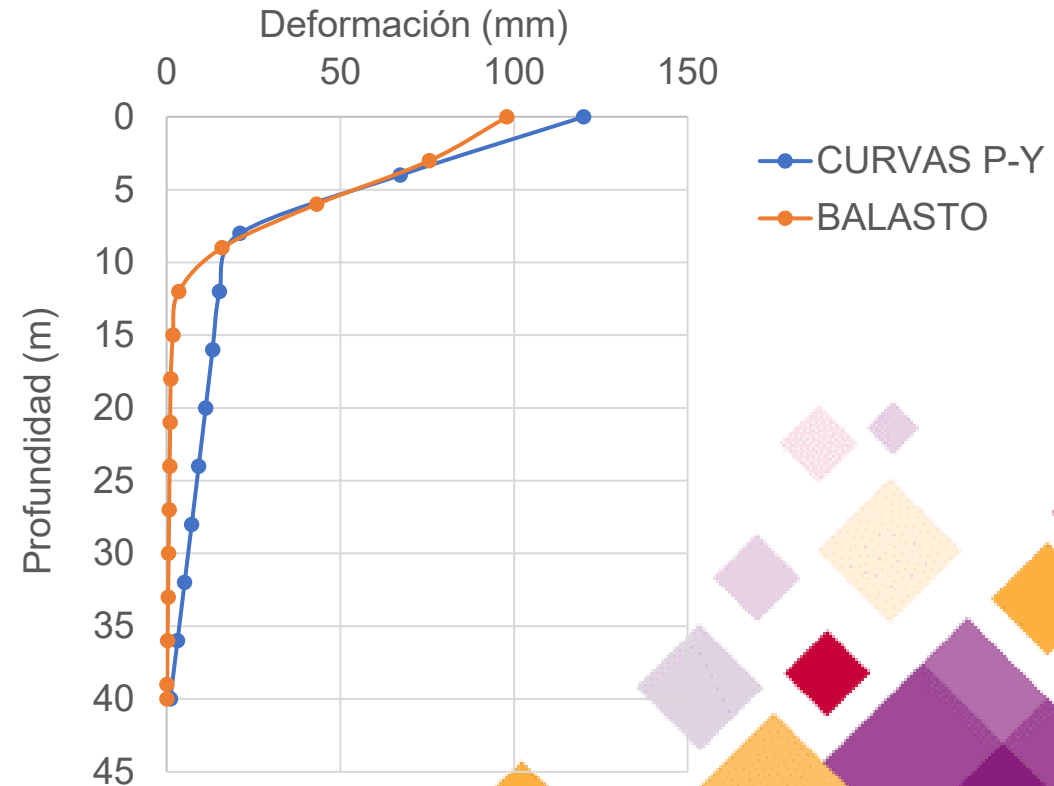
	Curvas p-y	Balasto	Diferencia
Momento Máximo	151 T-m	134 T-m	11%

# Resultados

## Deformación (mm)

- Desplazamiento permitido  $\leq 22\%$  (API)

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

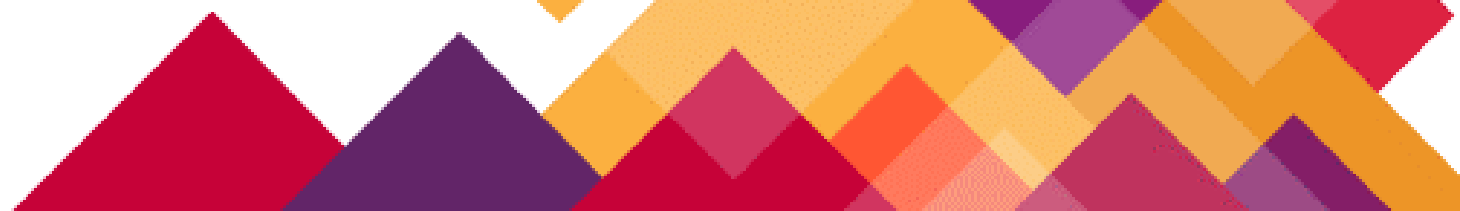


	Curvas p-y	Balasto	Diferencia
Deformación Máxima	120mm	98mm	18%
Desplazamiento relativo	30%	21.9%	



# Conclusiones

## Conclusiones y recomendaciones





# GRACIAS

"Como las capas de suelo que se entrelazan, nuestras investigaciones y esfuerzos se unen para sostener el futuro de la ingeniería. En cada carga lateral, encontramos la carga de la responsabilidad de un mundo mejor, impulsándonos a construir sobre terrenos sólidos y sueños elevados."