

EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CAPACIDAD DE SOPORTE BAJO CARGA AXIAL DE PILOTES HINCADOS EN SUELOS COSTA AFUERA VENEZOLANOS, ESTIMADAS MEDIANTE LOS MÉTODOS API RP2A (2002), ICP (2005) Y NGI (2005).



**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
Noviembre, 2010**

**AUTORA: Br. Alesia C. Veracoechea J.
TUTOR ACADÉMICO: Prof. Wagdi Naime.
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Heriberto Echezuría.**

ESQUEMA DE LA PRESENTACION



I) EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
OBJETIVOS
APORTES



II) MARCO TEÓRICO

ENSAYOS CPTU: DESCRIPCIÓN Y ALCANCES
MÉTODO API RP2A 2002
MÉTODO ICP 2005
MÉTOGO NGI 2005

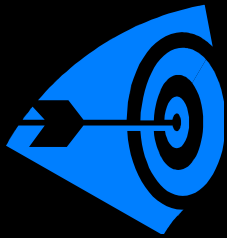


III) MARCO METODOLÓGICO

MÉTODO

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

IV) RESULTADOS Y ANÁLISIS



**PERFILES GEOTÉCNICOS REALES.
DESCRIPCIÓN DE PERFILES HIPOTÉTICOS.
GRÁFICOS DE CAPACIDAD VS. PROFUNDIDAD.
GRÁFICOS DE RANGO NORMALIZADO.**



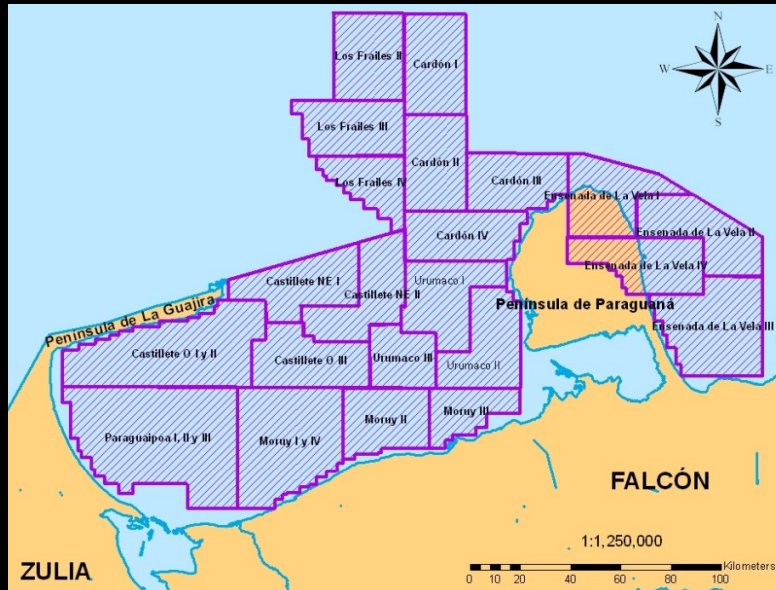
V) CONCLUSIONES RECOMENDACIONES



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



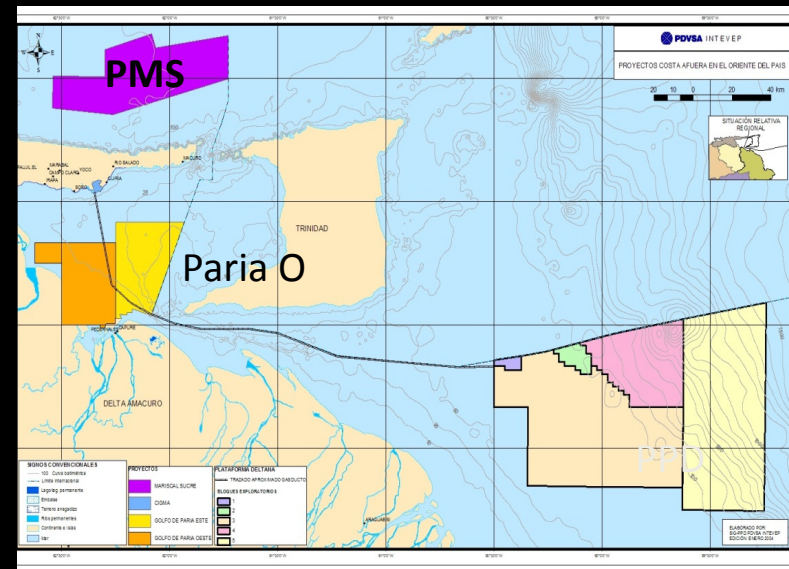
José G Parra (2008)

EXPLORACIÓN DE GAS NATURAL COSTA AFUERA EN VENEZUELA:

- Delta-Caribe Oriental
- Rafael Urdaneta
- Plataforma Deltana
- Proyecto Mariscal Sucre

98 BPC de **Gas Natural No-Asociado**

Venezuela es el 8^{VO} país del mundo con mayores volúmenes de este hidrocarburo



José G Parra (2008)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



José G Parra (2008)

La correcta estimación de la capacidad de soporte de estos pilotes bajo carga axial constituye un problema ingenieril muy complejo y es fundamental para garantizar el buen desempeño estructural de estos elementos.

Se justifica la instalación de plataformas fijas tipo *jacket*, cuyo sistema de fundaciones puede estar constituido por pilotes de acero hincados.



José G Parra (2008)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE SOPORTE BAJO CARGA AXIAL DE PILOTES HINCADOS:



API RP2A-WSD, 2002: Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design.



ICP – 2005: Imperial College Pile Design Methods for Driven Piles in Sands and Clays. Jardine, R. J. y otros.



NGI 2005: Norwegian Geotechnical Institute.

- Bearing Capacity of driven piles in clay, the NGI approach. Karlsrud, K. Clausen, C.J.F y Aas, P.M.
- Bearing Capacity of driven piles in sand, the NGI approach. Karlsrud, K. Clausen, C.J.F y Aas, P.M.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CAPACIDAD ÚLTIMA

$$Q_d = Q_f + Q_p = f A_s + q A_p$$

Q_d : capacidad de soporte última, kN

Q_f : capacidad por fricción o fuste, kN

Q_p : capacidad por punta, kN

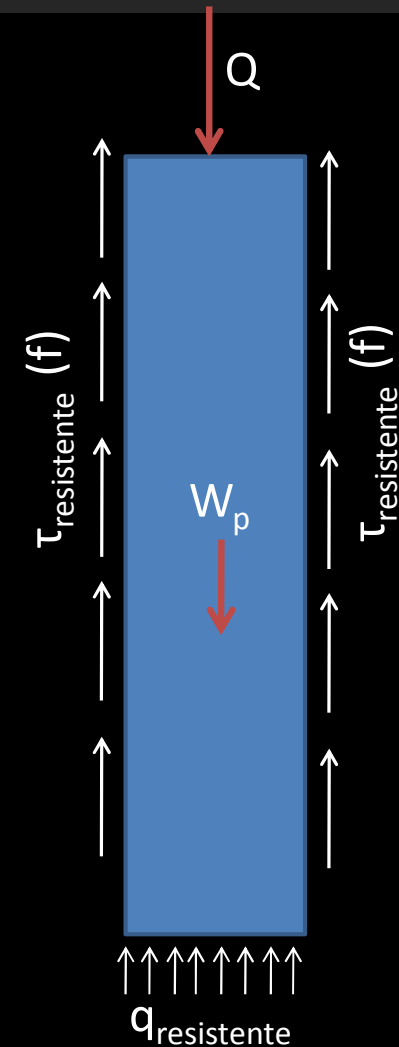
f : esfuerzo friccionante resistente, kPa

q : resistencia de punta, kPa

(capacidad de carga por corte local)

A_s : área superficial, m²

A_p : área transversal, m²



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

MODELOS MATEMÁTICOS
SIMPLIFICADOS

- SUPOSICIONES EMPÍRICAS
- EXPERIENCIAS OBTENIDAS DURANTE EL HINCADO DE PILOTES
- INFORMACIÓN OBTENIDA DE PRUEBAS DE CARGA.

VALIDACIÓN EN BASE A INFORMACIÓN
REPRESENTATIVA DE LAS LOCALIDADES
CERCANAS A ESTOS CENTROS DE INVESTIGACIÓN.

¿Cuán diferentes son las estimaciones de cada método cuando se analizan perfiles de suelos costa afuera venezolanos?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la variación de los resultados de las capacidades de carga estimadas por los métodos del Instituto Americano de Petróleo (API), Instituto Noruego de Geotecnia (NGI) y del *Imperial College London* (ICP), en suelos costa afuera del Golfo de Venezuela, Estado Falcón, Venezuela.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. **Facilitar** el entendimiento y uso de los distintos métodos comúnmente empleados en la estimación de la capacidad de carga de pilotes de acero hincados.
2. **Investigar** condiciones esperadas y disponibles de suelos costa afuera en Venezuela en las zonas de potencial explotación de hidrocarburos.
3. **Elaborar** hojas de cálculo simultáneo de la capacidad de carga de un pilote utilizando los tres (03) métodos estudiados.
4. **Identificar** el rango de la variación de las estimaciones de capacidad de carga arrojadas por los métodos estudiados.

APORTES

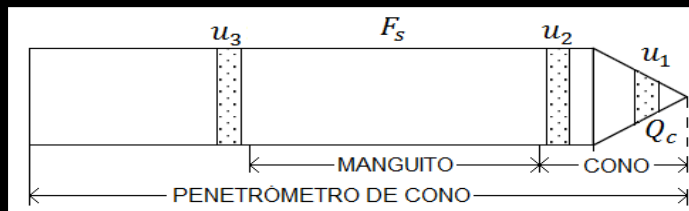


MARCO TEÓRICO

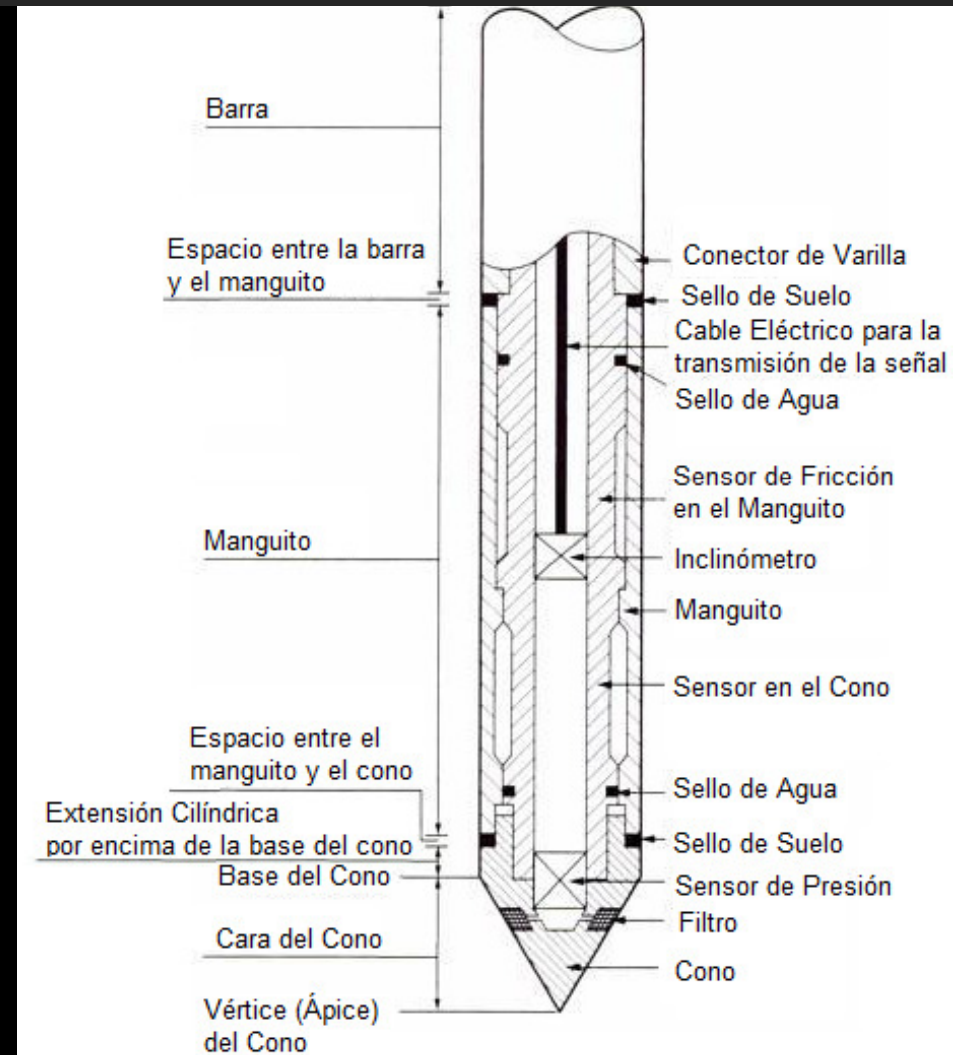


DESCRIPCIÓN DEL PIEZOCONO

El equipo de prueba de referencia consiste de un cono de 60° con área transversal de 10 cm^2 y un manguito de área superficial de 150 cm^2 ubicado por encima del cono.



Los piezoconos a los que se adicionan filtros, miden la presión de agua en los poros, en 2 o 3 puntos.



SISTEMAS DE EMPUJE

EMPUJE EN TIERRA



Camión Fugro Típico de CPT en tierra
Lunne, 1997



Tráiler para CPT en Tierra
Lunne, 1997



jackup en aguas someras del Golfo de Paria
José G Parra, 2008



Buque Geotécnico **Native Spirit**
José G Parra, 2008

EMPUJE EN AGUA

CONFIABILIDAD DE LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE SUELO

Rangos de Confiabilidad de los Parámetros del Suelo												
Tipo de Suelo	D_r	Ψ	K_o	OCR	S_c	S_u	ϕ'	E, G^*	M	G_o^*	k	c_h
Arenas	2-3	2-3	5	5			2-3	2-3	2-3	2-3	3	3-4
Arcillas			2	1	2	1-2	4	2-4	2-3	2-4	2-3	2-3

Aplicabilidad Percibida para derivar parámetros de suelo a partir del CPTU (Robertson, 2010)

Leyenda:

1 = Alta

2 = Alta a Moderada

3 = Moderada

4 = Moderada a Baja

5 = Baja

Espacio en Blanco = No Tiene Aplicabilidad

* = aumenta si es un Ensayo SCPT

D_r : densidad relativa

Ψ : parámetro de estado o relación de resistencia

E, G : módulos de Young y de corte

G_o : módulo de corte para pequeñas deformaciones

OCR : relación de pre-consolidación

S_u : resistencia al corte no drenada

c_h : coeficiente de consolidación

ϕ' : ángulo de fricción interna efectivo

K_o : relación de esfuerzos en sitio

M : compresibilidad

S_c : sensibilidad

k : permeabilidad

MÉTODO API RP2A 2002

PARÁMETROS DE CÁLCULO:

MÉTODO API RP2A (2002)	
ARCILLAS	ARENAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Unitario Total (γ_s) ▪ Presión de agua intersticial (u) ▪ Resistencia al corte no drenada (S_u) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Unitario Total (γ_s) ▪ Presión de agua intersticial (u) ▪ Coeficiente de presión lateral efectiva del suelo (K) ▪ Ángulo de fricción entre el suelo y las paredes del pilote (δ) ▪ Factor adimensional de capacidad de soporte (N_q)

Parámetros de Cálculo para Arenas y Arcillas [Elaboración Propia]

MÉTODO API RP2A 2002 (ARCILLAS)

RESISTENCIA FRICCIONANTE:

$$f = \alpha S_u$$

Si $\psi \leq 1$:

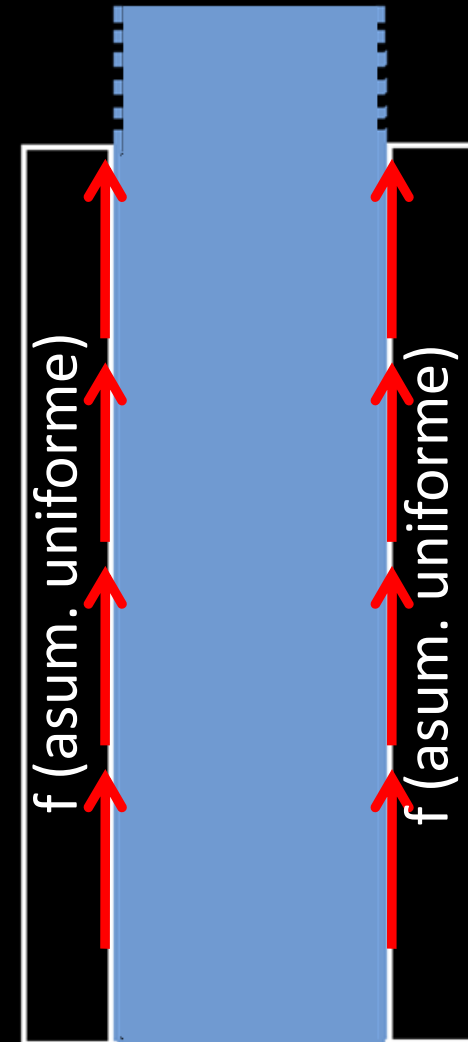
$$\alpha = 0,5 \psi^{-0,5}$$

Si $\psi > 1$:

$$\alpha = 0,5 \psi^{-0,25}$$

Donde:

$$\psi = S_u / \sigma'_v$$

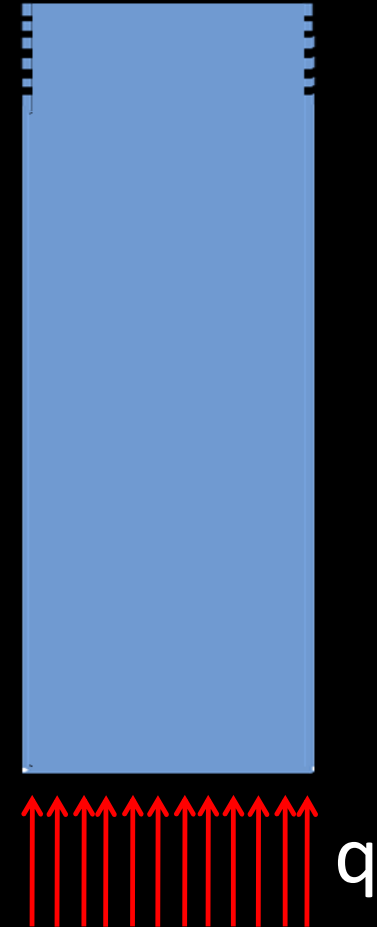
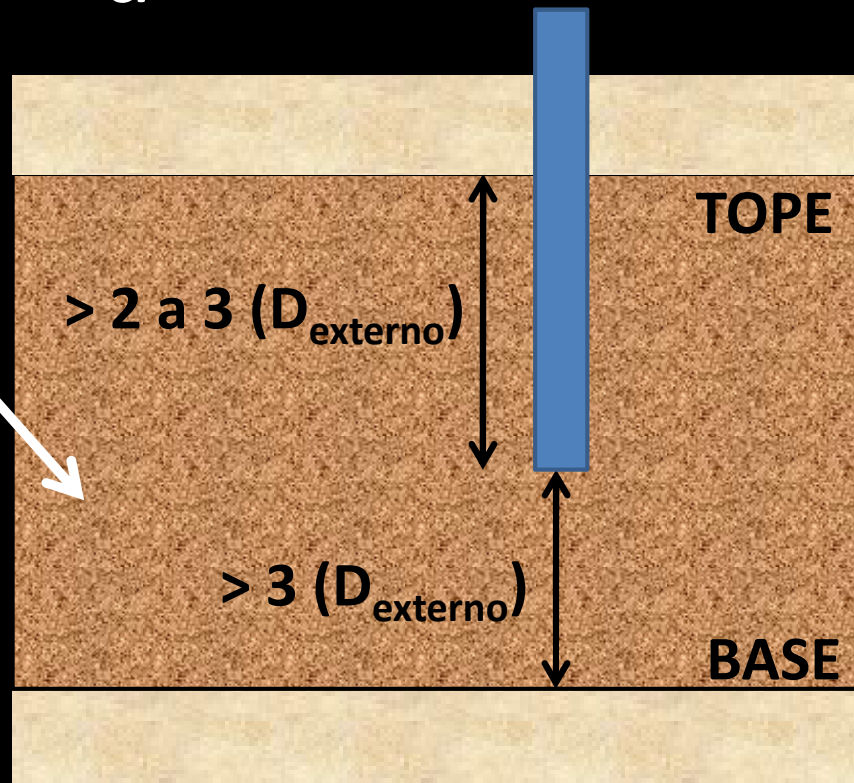


METODO API RP2A 2002 - ARCILLAS

RESISTENCIA DE PUNTA:

$$q = 9 S_u$$

Estrato Competente



MÉTODO API RP2A 2002 (ARENAS)

RESISTENCIA FRICCIONANTE:

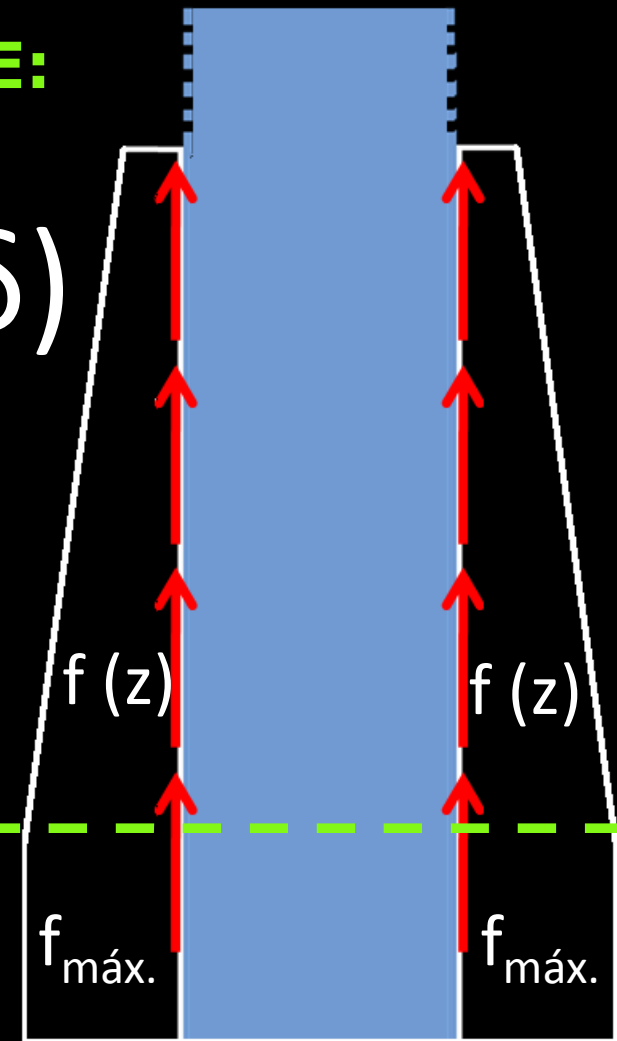
$$f = K \sigma'_v \tan (\delta)$$

Punta Abierta
o Sin Tapón:
 $K = 0,80$

Punta Cerrada
o Con Tapón:
 $K = 1,00$

Donde:
 $\delta = \phi - 5^\circ$

$f_{\text{calculado}} > f_{\text{máximo (Tabla)}}$

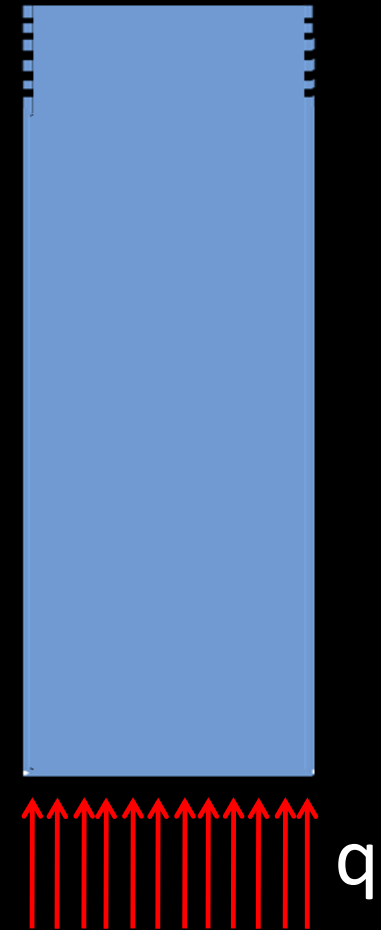


MÉTODO API RP2A 2002 (ARENAS)

RESISTENCIA DE PUNTA:

$$q = \sigma'_v N_q$$

Factor de Capacidad
de Carga (TABLA)



MÉTODO API RP2A 2002 (ARENAS)

Parámetros de Diseño para Suelos Silíceos No-Cohesivos (API RP 2A WSD)

Densidad	Descripción del Suelo	Ángulo de Fricción Suelo-Pilote (δ)	Valores límite de Fricción Superficial unitaria (f)		N_q	Valores límite de Soporte de Punta unitario (q)	
		ϕ	kips/ft ²	kPa		kips/ft ²	MPa
Muy Suelto	Arena	15	1,0	47,8	8	40	1,9
Suelto	Arena-Limo						
Medianamente Denso	Limo						
Suelto	Arena	20	1,4	67,0	12	60	2,9
Medianamente Denso	Arena-Limo						
Denso	Limo						
Medianamente Denso	Arena	25	1,7	81,3	20	100	4,8
Denso	Arena-Limo						
Denso	Arena	30	2,0	95,7	40	200	9,6
Muy Denso	Arena-Limo						
Denso	Grava	35	2,4	114,8	50	250	12,0
Muy Denso	Arena						

Parámetros de Diseño para Suelos Granulares Silíceos (API RP2A, 2002)

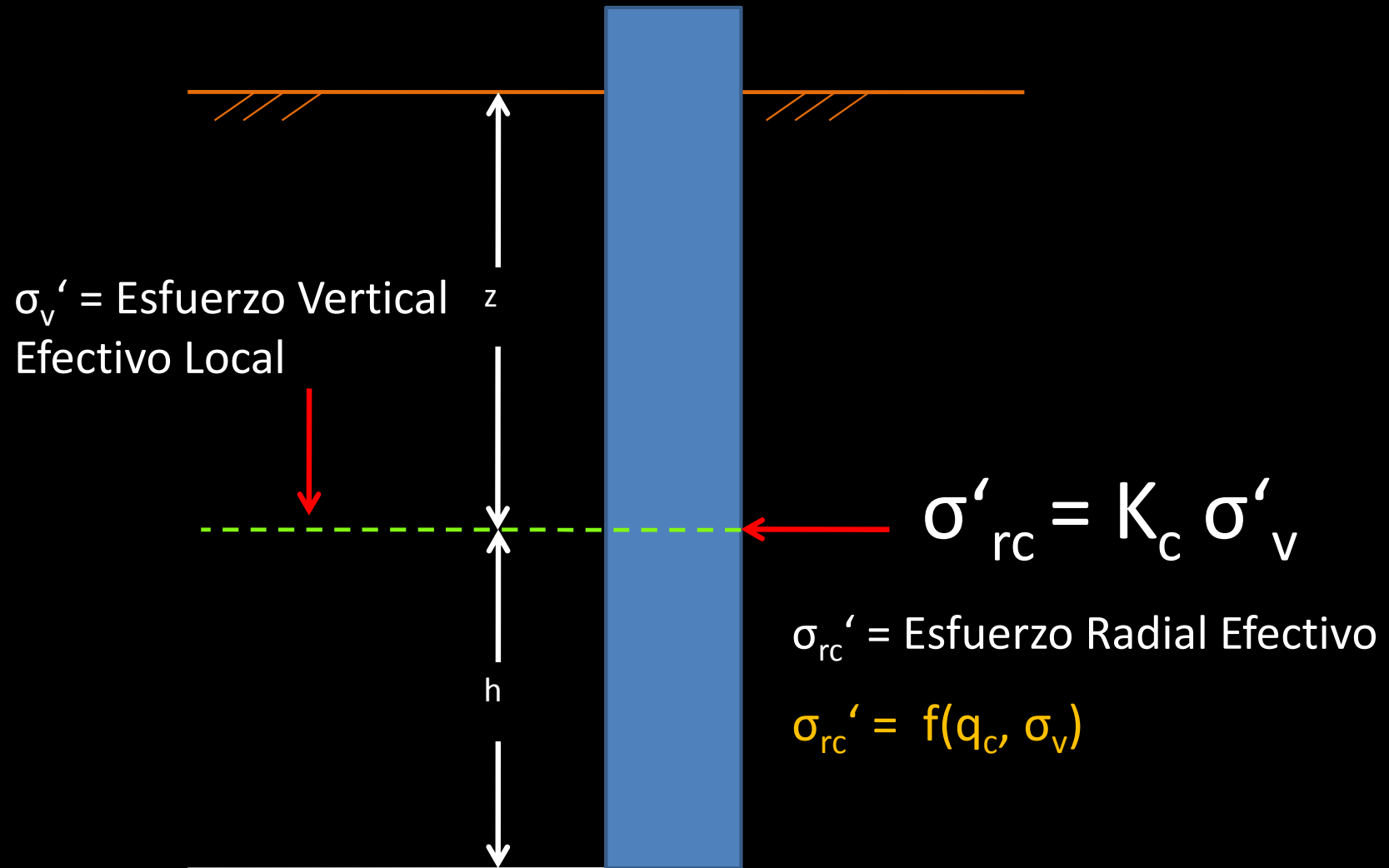
MÉTODO IMPERIAL COLLEGE PILE (2005)

MÉTODO ICP (2005)

ARCILLAS	ARENAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Unitario Total (γ_s) ▪ Presión de agua intersticial (u) ▪ Índice de Plasticidad (IP \rightarrow δ_f) ▪ Resistencia a la Penetración del Cono (q_c) ▪ Factor de Carga ($K_c/K_f = 0,8$) ▪ Sensitividad (S_t) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Unitario Total (γ_s) ▪ Presión de agua intersticial (u) ▪ Tamaño medio de partícula ($d_{50} \rightarrow \delta_f$) ▪ Resistencia a la Penetración del Cono (q_c) ▪ Rugosidad del Pilote (R_{cla}) ▪ Densidad Relativa (D_r)

Parámetros de Cálculo para Arenas y Arcillas [Elaboración Propia]

MÉTODO *IMPERIAL COLLEGE PILE* (2005)

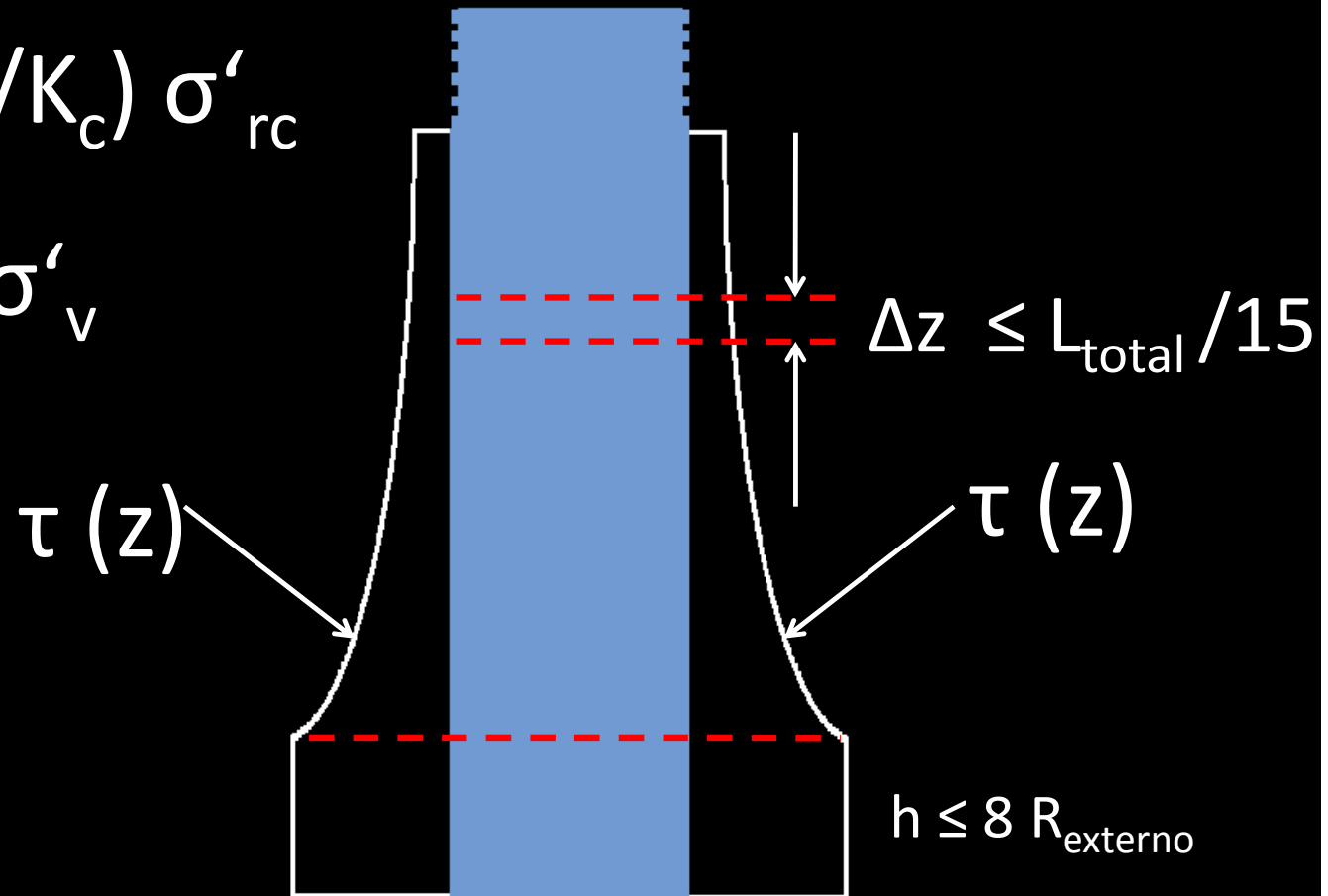


RESISTENCIA FRICCIONANTE

$$\tau_{f(z)} = \sigma'_{rf} \tan(\delta_f)$$

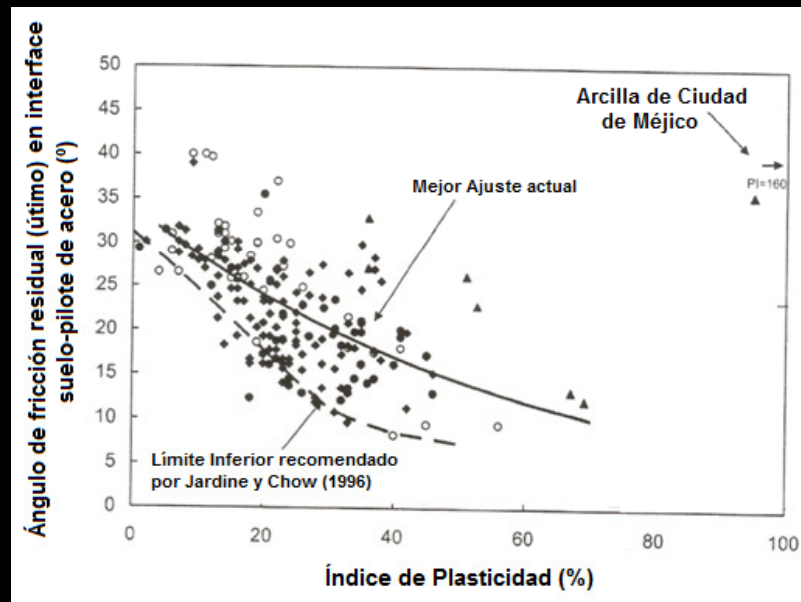
$$\sigma'_{rf} = (K_f/K_c) \sigma'_{rc}$$

$$\sigma'_{rc} = K_c \sigma'_v$$

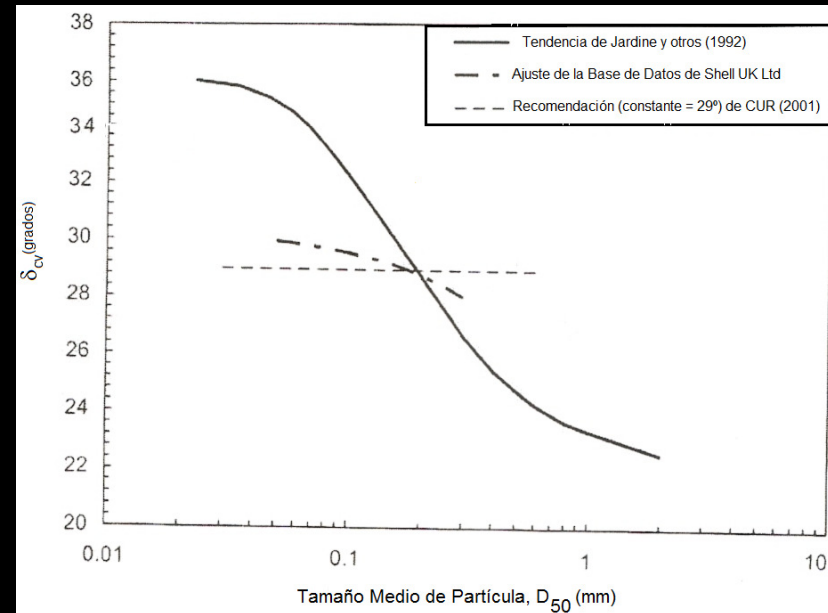


MÉTODO ICP (2005)

CORRELACIONES PARA ÁNGULO DE FRICCIÓN SUELO – PILOTE:



Resultados de Ensayos de Anillos de Corte para $\delta_{residual}$ en arcillas (Saldivar-Moguel, 2002)



Ángulo de Fricción en la Interface. Tendencias de Jardine, Shell UK Ltd para arenas

MÉTODO ICP – ARCILLAS (2005)

RESISTENCIA DE PUNTA

PUNTA CERRADA

NO DRENADA:

$$q = 0,8 q_c$$

DRENADA:

$$q = 1,3 q_c$$

PUNTA ABIERTA

$$[D_{\text{interno}} / D_{\text{CPT}} + 0,45 q_c / \text{Pa}] < 36$$

SI ↓

$$q = 0,4 q_c$$

$$q = 0,65 q_c$$

NO DRENADA

DRENADA

↓ NO

$$q = q_c$$

$$q = 1,6 q_c$$

MÉTODO ICP - ARENAS (2005)

RESISTENCIA FRICCIONANTE

$$\tau_{f(z)} = \sigma'_{rf} \tan(\delta_{cv})$$

$$\sigma'_{rf} = \sigma'_{rc} + \Delta\sigma'_{rd}$$

Incremento en el esfuerzo radial efectivo durante la instalación del pilote

$$\sigma'_{rc} = 0,029 q_c (\sigma'_v / P_a)^{0,13} (h/R)^{-0,38}$$

$$\Delta\sigma'_{rd} = 2G \Delta r / R$$

Correlación de Baldi (1989)

Mayor o Igual a 8

METODO ICP - ARENAS (2005)

RESISTENCIA DE PUNTA

PUNTA CERRADA

$$q = q_c [1 - 0,5 \log (D/D_{CPT})]$$

PUNTA ABIERTA

$$D_{\text{interno}} < 0,02 (Dr - 30)$$

y

$$D_{\text{interno}} / D_{CPT} < 0,083 q_c / Pa$$

SI

$$q = q_c [0,5 - 0,25 \log (D/D_{CPT})]$$

NO

$$q = q_c$$

MÉTODO NGI (2005)

PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MÉTODO EN ARENAS Y ARCILLAS:

MÉTODO NGI-99	
ARCILLAS K. Karlsrud y otros.	ARENAS (cualquier suelo No-Cohesivo y No-Carbonático) C.J.F Clausen y otros.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Unitario Total (γ_s) ▪ Presión de agua intersticial (u) ▪ Resistencia al corte no drenada (S_u) ▪ Índice de Plasticidad (I_p) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Unitario Total (γ_s) ▪ Presión de agua intersticial (u) ▪ Densidad Relativa (D_r)

Parámetros de Cálculo del Método NGI en Arcillas y Arenas

MÉTODO NGI- ARCILLAS (2005)

RESISTENCIA FRICCIONANTE:

$$\psi > 1,00$$

$$\alpha = 0,5 \psi^{-0,3}$$

$$\tau = \alpha S_u^{UU} F_{tip}$$

$$\psi < 0,25$$

$$\alpha = [0,08 (I_p - 10)^{0,3}] / \psi_{NC}$$

TABLA

$$\psi > 1,00$$

PUNTA ABIERTA = 1

PUNTA CERRADA

$$= 0,8 + 0,2\psi^{0,5}$$

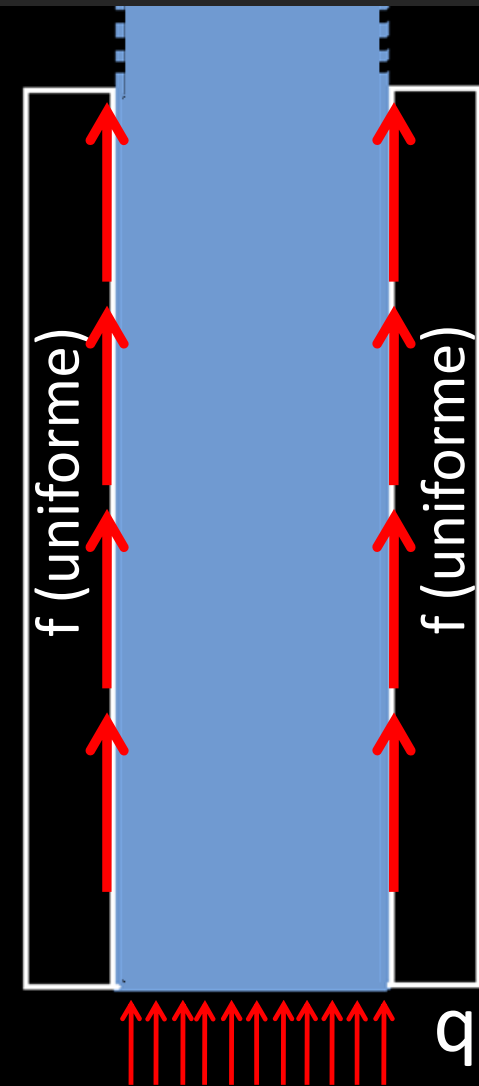
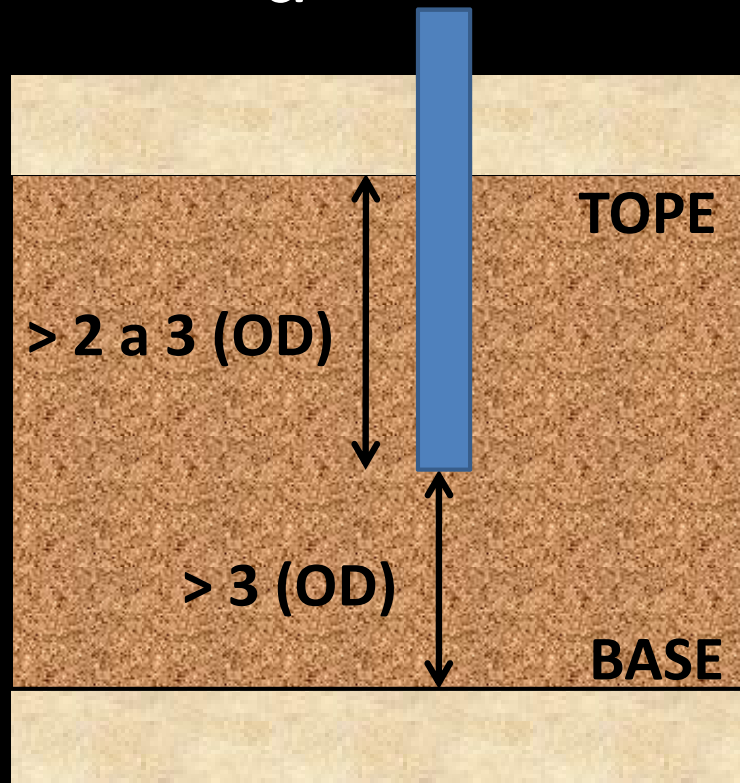
$$\psi \leq 1$$

$$1,00$$

MÉTODO NGI 2005 (ARCILLAS)

RESISTENCIA DE PUNTA:

$$q = 9 S_u$$



METODO NGI - ARENAS (2005)

RESISTENCIA FRICCIONANTE

$$\tau_f(z) = (z/z_{tip}) \sigma_{atm} F_{Dr} F_{sig} F_{tip} F_{load} F_{mat}$$

$$\tau_f(z) > 0,1 \sigma'_v$$

$$F_{Dr} = 2,1 (D_r - 0,1)^{1,7}$$

$$F_{sig} = (\sigma'_v / \sigma_{atm})^{0,25}$$

$$F_{tip} = 1 \text{ (P. Abierta)}$$

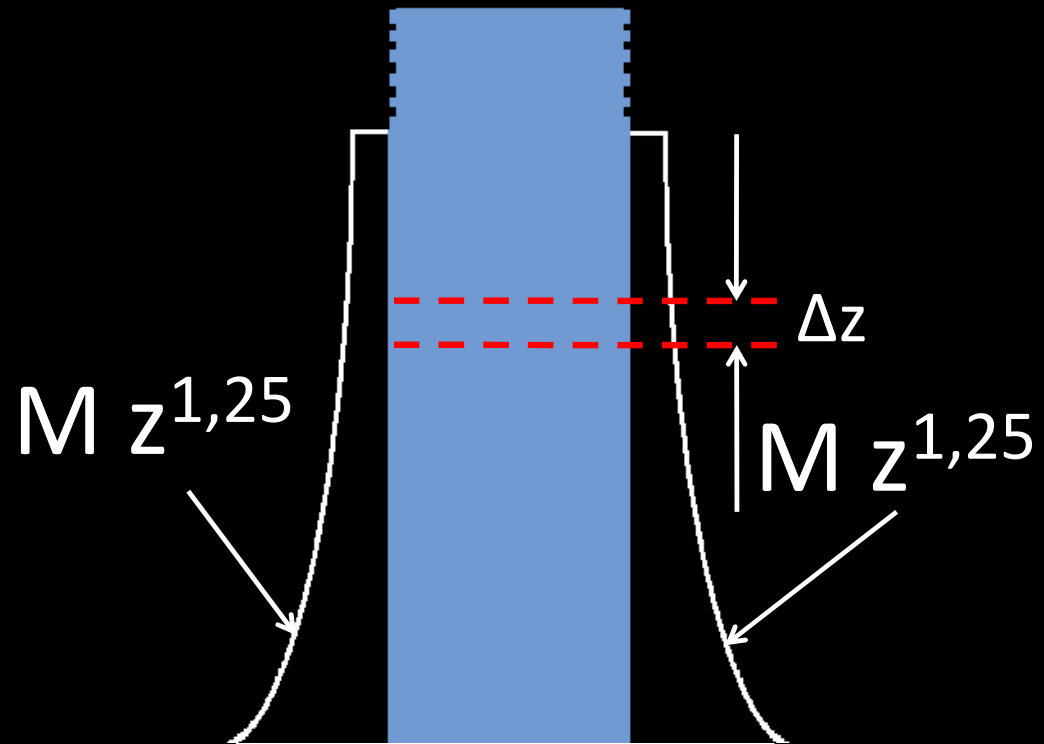
$$F_{tip} = 1,6 \text{ (P. Cerrada)}$$

$$F_{load} = 1,3 \text{ (Compresión)}$$

$$F_{load} = 1 \text{ (Tensión)}$$

$$F_{mat} = 1,0 \text{ (Acero)}$$

$$F_{mat} = 1,2 \text{ (Concreto)}$$



METODO NGI - ARENAS (2005)

RESISTENCIA DE PUNTA

PUNTA CERRADA

$$q = (0,8 q_c)/(1 + Dr^2)$$

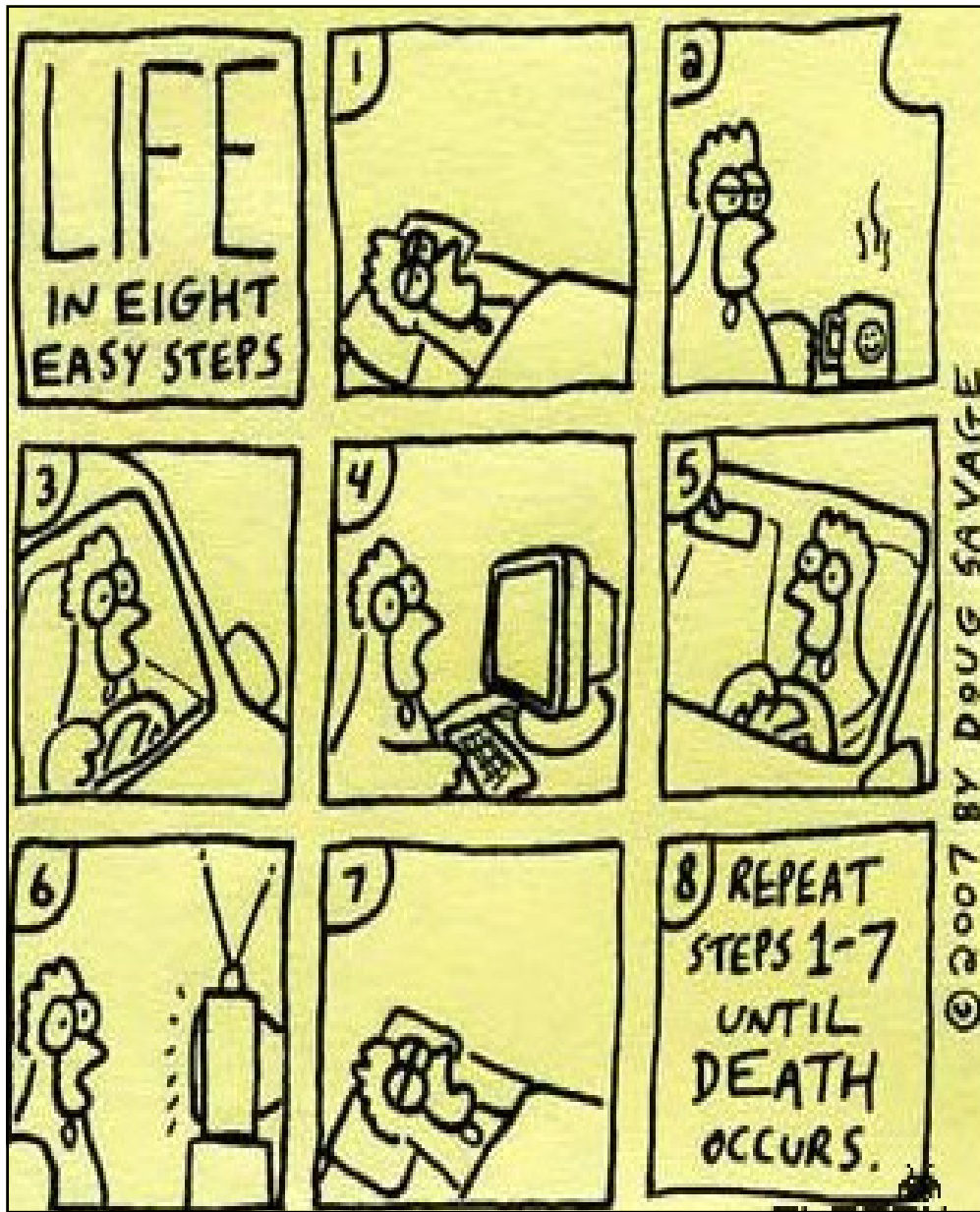
PUNTA ABIERTA

Resistencia de Punta
Tapada

$$q \rightarrow [(0,7 q_c)/(1 + 3Dr^2)] A_{total}$$

Coring

$$q \rightarrow q_c (A_{espesor\ pilote}) + 3 \tau (A_{si})$$



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

METODO

1. ELABORACIÓN DE UNA HERRAMIENTA EN CASTELLANO

1.1 Traducir los aspectos más importantes de los tres métodos.

1.2 Elaborar algoritmos o diagramas que simplifiquen el procedimiento de cálculo, señalando apropiadamente el uso de gráficos, tablas y correlaciones auxiliares.

En esta etapa se considera implícito el proceso de aprendizaje que deberá completar la autora para entender a plenitud los métodos y el significado de los parámetros geotécnicos involucrados en su formulación.

METODO

2. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN GEOTÉCNICA COSTA AFUERA EN VENEZUELA.

2.1 Solicitar la información necesaria para la aplicación de los métodos manejada por la empresa, entendiéndose resultados de sondeos CPTU y de pruebas de laboratorio.

2.2 Establecer las condiciones de presentación de la información, de tal manera de respetar el contrato de confidencialidad que la empresa posee con su cliente.

*En esta etapa fue completada con la ayuda de la Empresa **GEOHIDRA CONSULTORES, C.A.** y la asesoría de los Ingenieros Nelly Vieira, José Parra y Leumman Dos Santos.*

METODO

3. ELABORACIÓN DE LA HOJA DE CÁLCULO

3.1 Estudiar el manual: Robertson, P. K. y Cabal, K.L. (2010). **Guide to Cone Penetration Testing For Geotechnical Engineering.**

3.2 Elaborar una hoja de cálculo que permita aplicar las ecuaciones investigadas en el manual estudiado, para analizar la data CPTU de los sondeos PXXXa_C y PXXXa_D.


3.3 Verificar la salida “inicial” de la hoja de cálculo mediante el uso del paquete CPeT-IT v.1.6.5.31 (GeoLogismiki, Geotechnical Software).

3.4 Integrar a la hoja de cálculo los resultados de ensayos de laboratorio básicos y especiales disponibles de PXXXa_C y PXXXa_D.


METODO

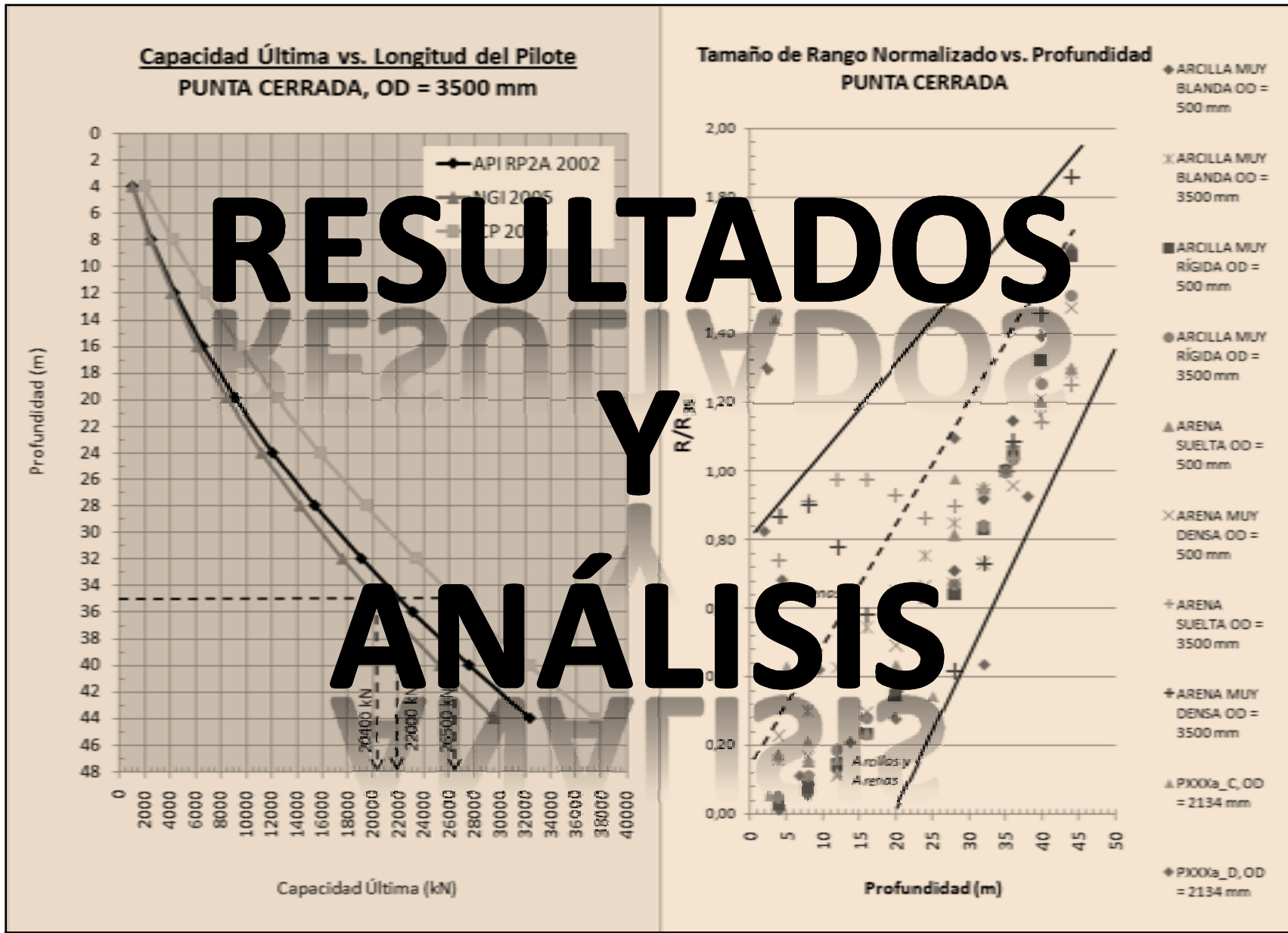
3. ELABORACIÓN DE LA HOJA DE CÁLCULO

3.5 Programar los algoritmos de cada método (API, ICP y NGI) en la hoja de cálculo.



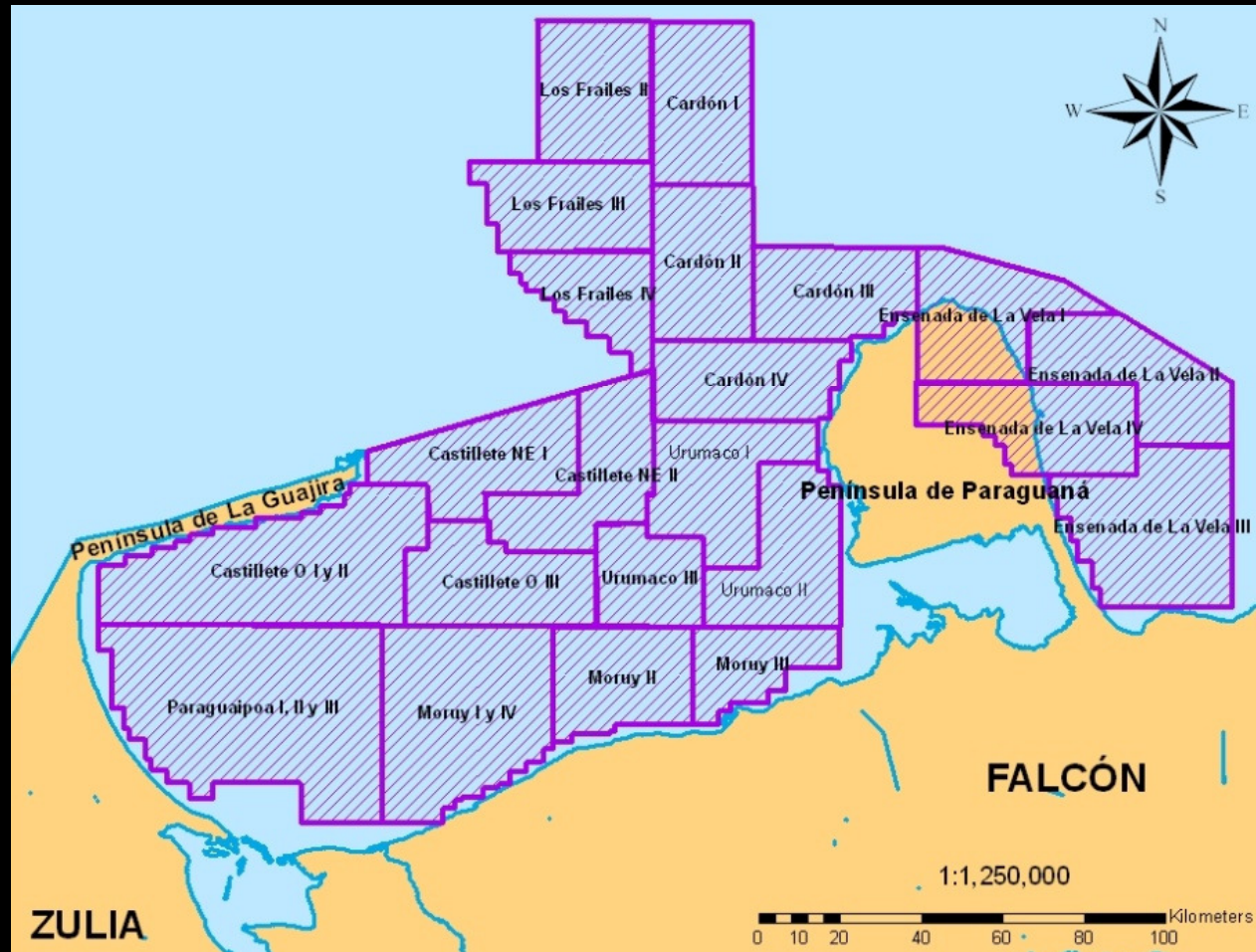
3.6 Estimar la capacidad de carga de un pilote hincado en los perfiles identificados como PXXXa_C y PXXXa_D, utilizando como datos de entrada para cada método la información correlacionada del CPTU y de ensayos de laboratorio básicos y especiales.





RESULTADOS Y ANÁLISIS

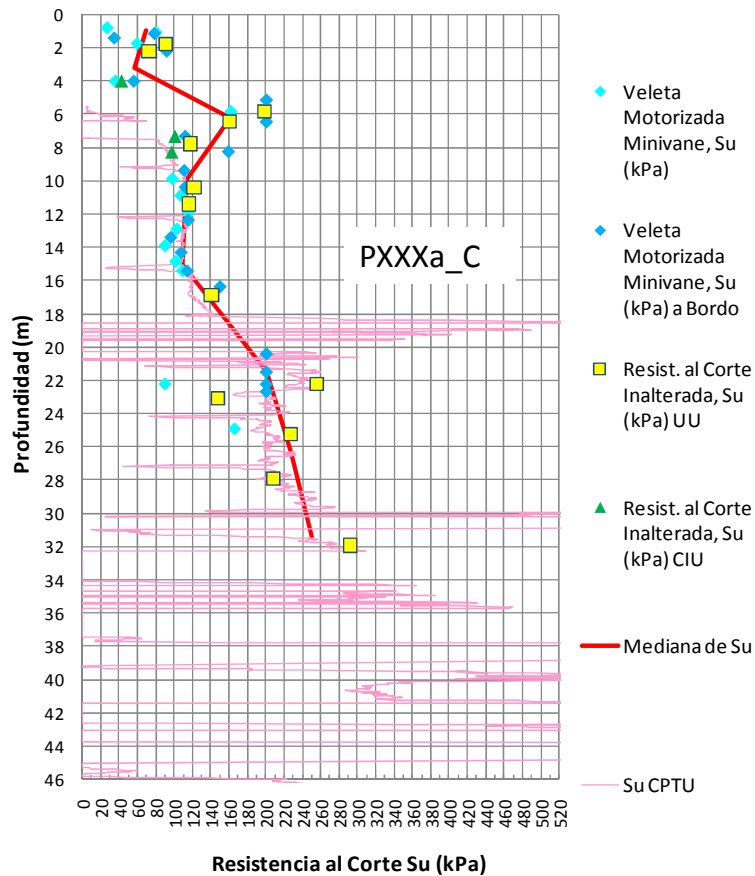
PERFILES GEOTÉCNICOS COSTA AFUERA VENEZOLANOS



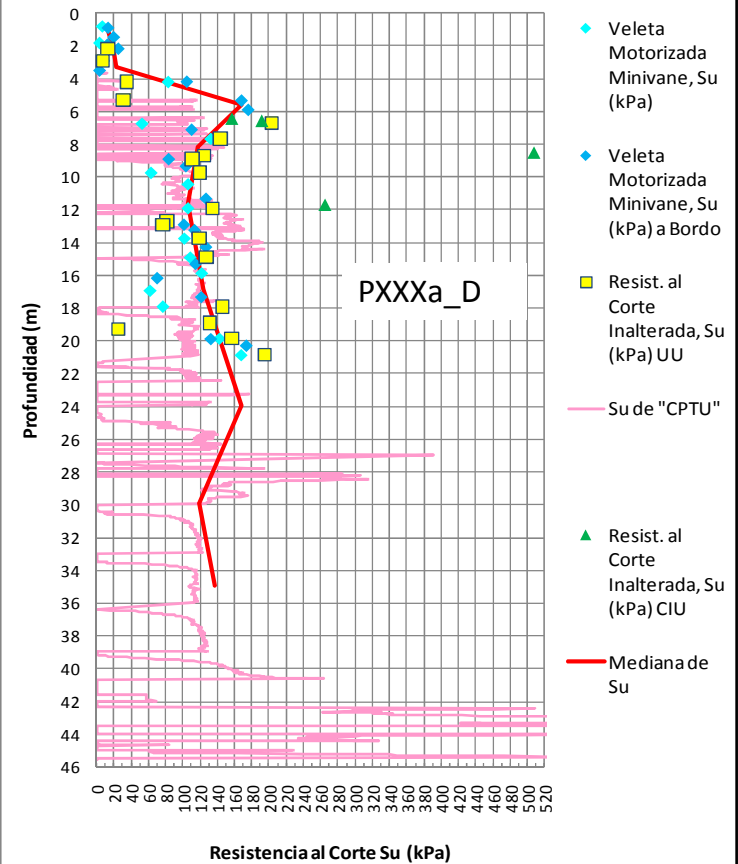
RESULTADOS Y ANÁLISIS

PERFILES GEOTÉCNICOS COSTA AFUERA VENEZOLANOS

**Perfil de Resistencia al Corte, Su
(Muestras Inalteradas)**

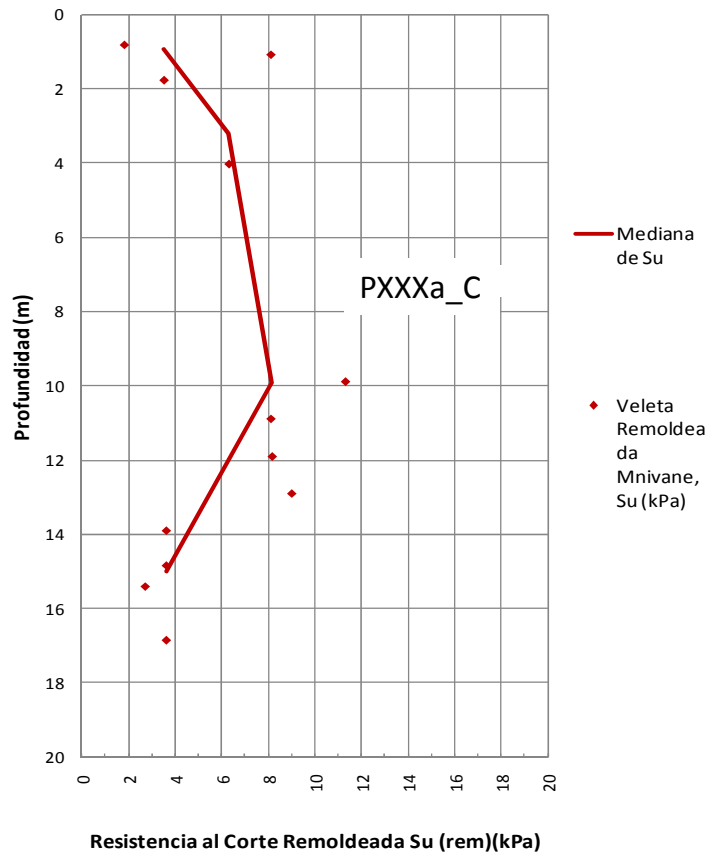


**Perfil de Resistencia al Corte, Su
(Muestras Inalteradas)**

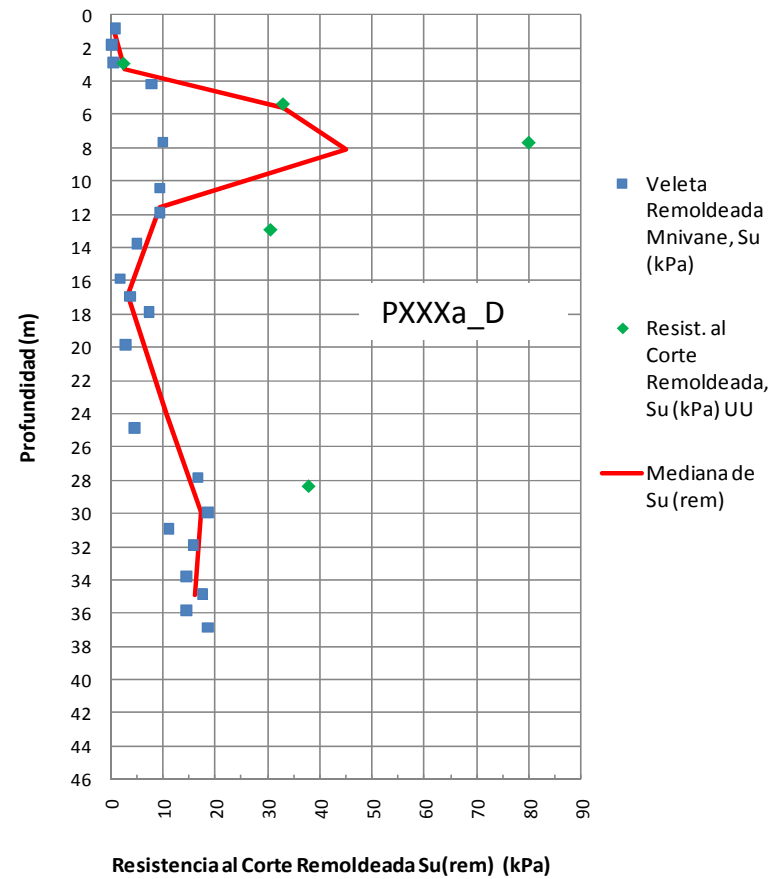


RESISTENCIA AL CORTE (MUESTRAS REMOLDEADAS)

Perfil de Resistencia al Corte, $Su_{(rem)}$
(Muestras Remoldeadas)

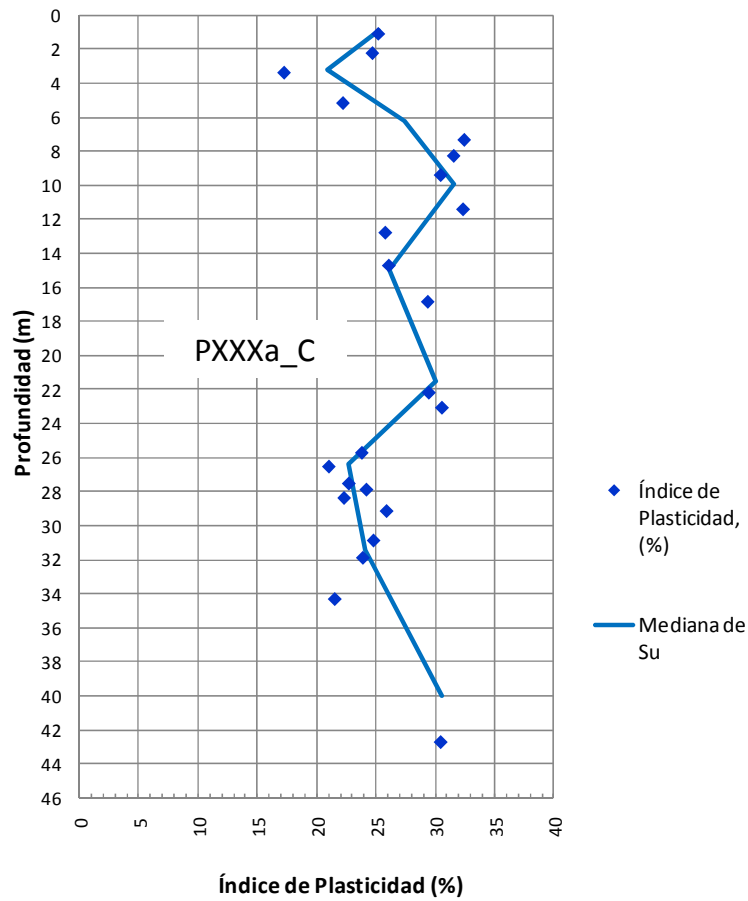


Perfil de Resistencia al Corte, $Su_{(rem)}$
(Muestras Remoldeadas)

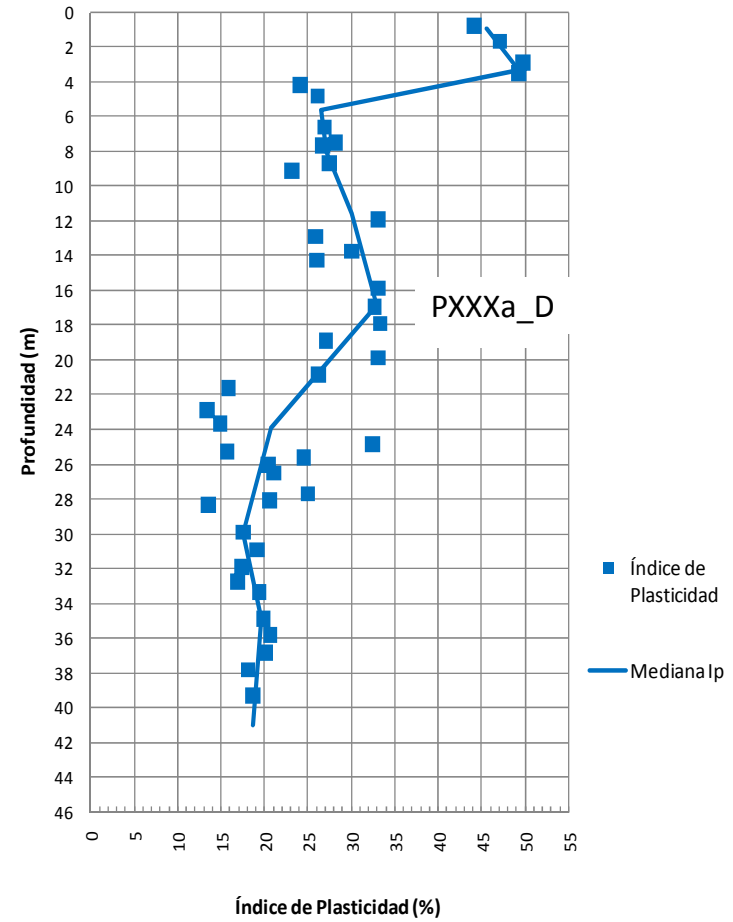


INDICE DE PLASTICIDAD

Perfil de Índice de Plasticidad

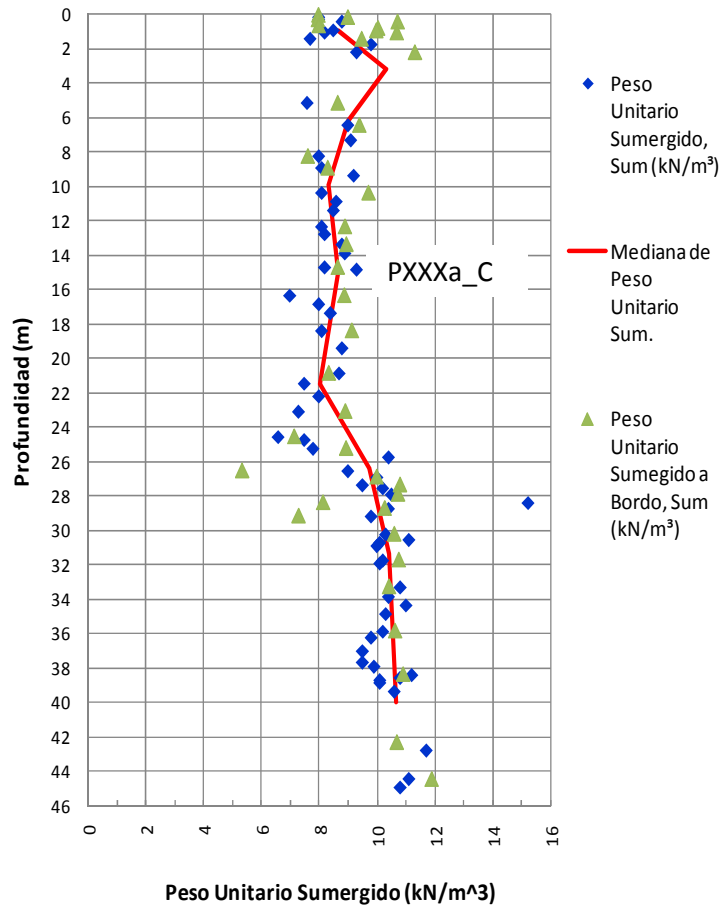


Perfil de Índice de Plasticidad

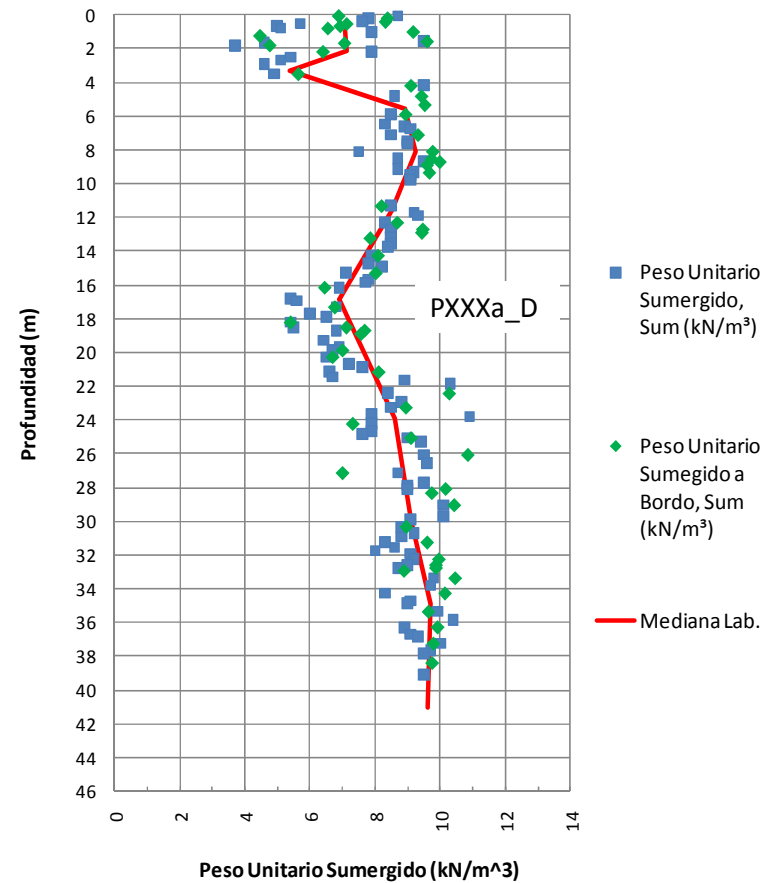


PESO UNITARIO SUMERGIDO

Perfil de Peso Unitario Sumergido

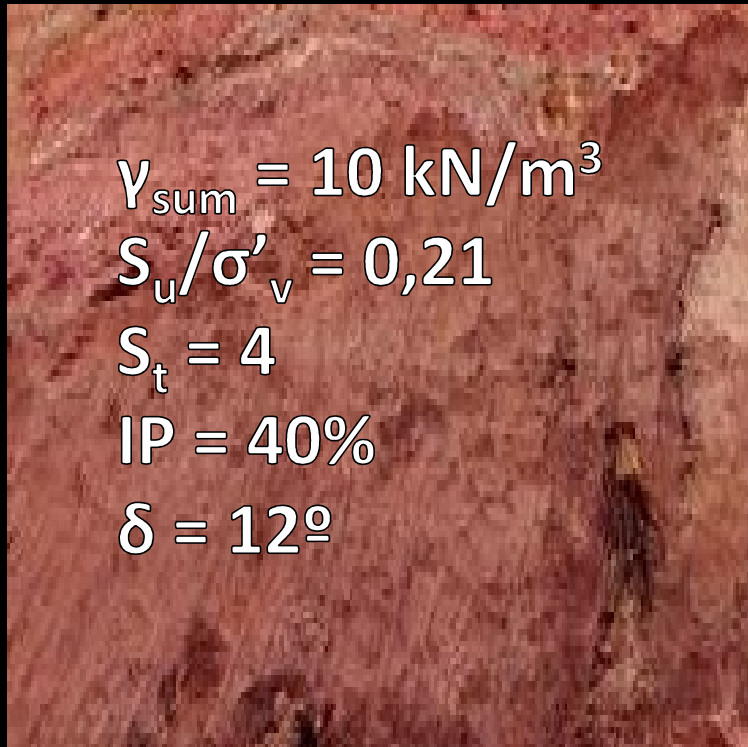


Perfil de Peso Unitario Sumergido



PERFILES HIPOTÉTICOS PROBABLES EN LAS COSTAS VENEZOLANAS AL NOR-OESTE DE LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ

CASO HIPOTÉTICO 1: ARCILLA BLANDA



0 m

Para hallar el valor de q_t a distintas profundidades se empleó la Ec. siguiente:

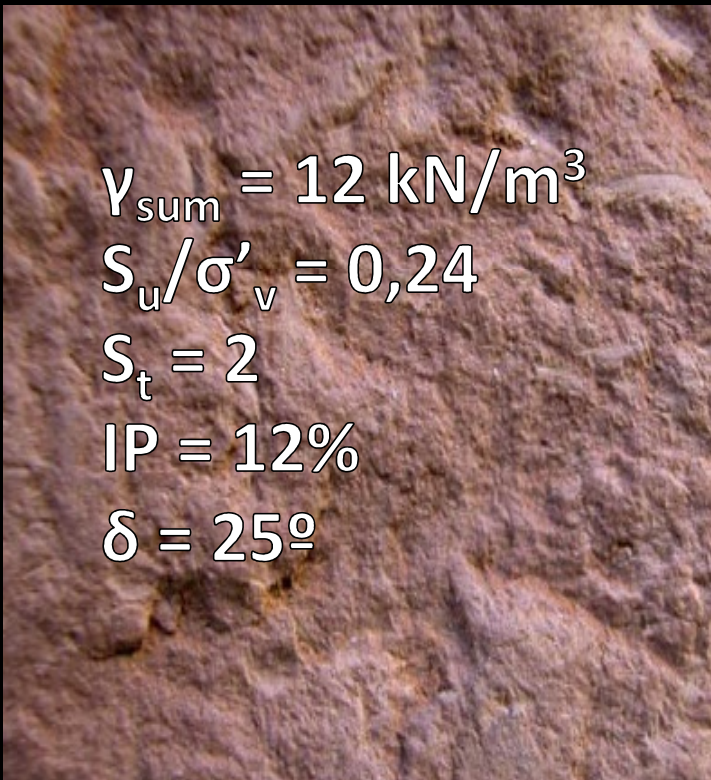
$$S_u = (q_t - \sigma_v) / N_{kt}$$

$$N_{kt} = 14$$

44 m

PERFILES HIPOTÉTICOS PROBABLES EN LAS COSTAS VENEZOLANAS AL NOR-OESTE DE LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ

CASO HIPOTÉTICO 2: ARCILLA DURA



0 m

Para hallar el valor de q_t a distintas profundidades se empleó la Ec. siguiente:

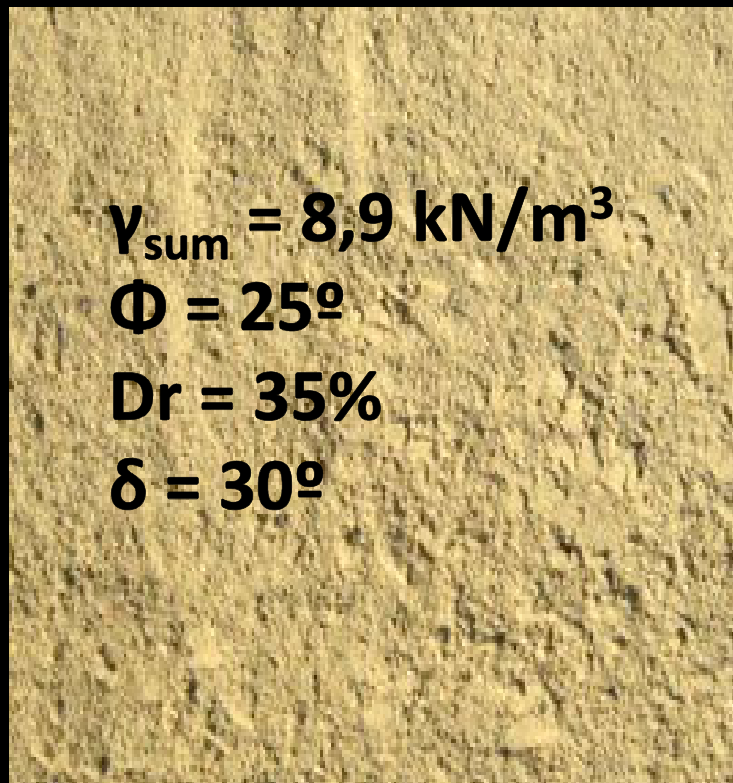
$$S_u = (q_t - \sigma_v) / N_{kt}$$

$$N_{kt} = 14$$

44 m

PERFILES HIPOTÉTICOS PROBABLES EN LAS COSTAS VENEZOLANAS AL NOR-OESTE DE LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ

CASO HIPOTÉTICO 3: ARENA SUELTA



$$\gamma_{\text{sum}} = 8,9 \text{ kN/m}^3$$

$$\Phi = 25^\circ$$

$$D_r = 35\%$$

$$\delta = 30^\circ$$

0 m

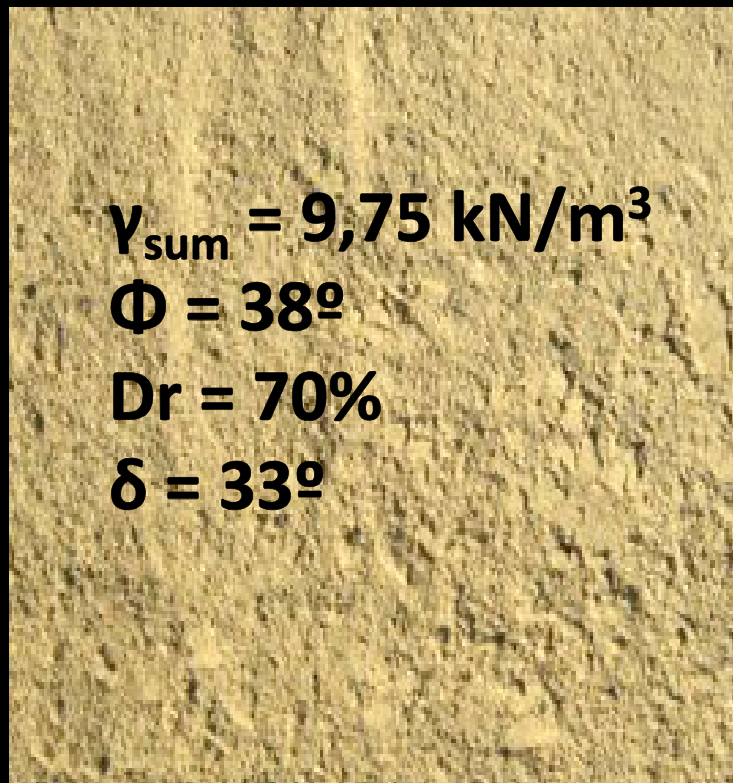
Para hallar el valor de q_c a distintas profundidades se empleó la Ec. siguiente:

$$D_r = 0,4 \ln \left[\frac{q_c}{22 (\sigma'_v \sigma_{atm})^{0,5}} \right]$$

44 m

PERFILES HIPOTÉTICOS PROBABLES EN LAS COSTAS VENEZOLANAS AL NOR-OESTE DE LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ

CASO HIPOTÉTICO 4: ARENA DENSA



0 m

Para hallar el valor de q_c a distintas profundidades se empleó la Ec. siguiente:

$$D_r = 0,4 \ln \left[\frac{q_c}{22 (\sigma'_v \sigma_{atm})^{0,5}} \right]$$

44 m

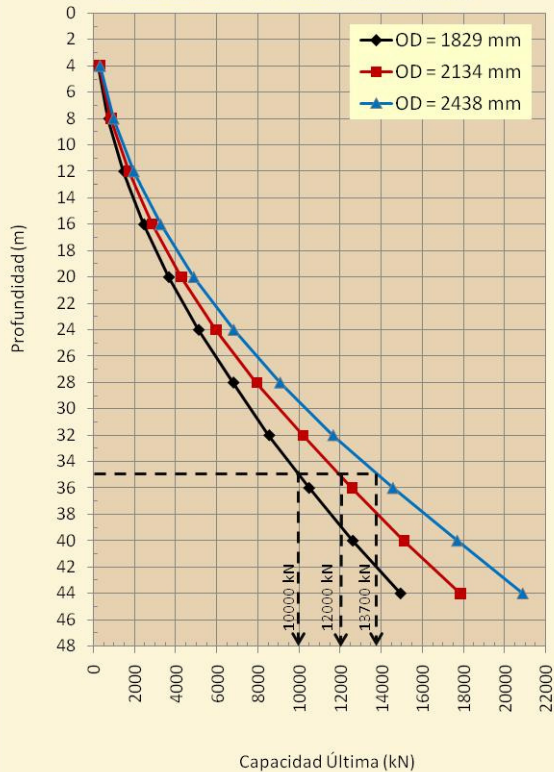
VARIACIÓN DE LA CAPACIDAD CON EL DIÁMETRO DEL PILOTE

API RP2A

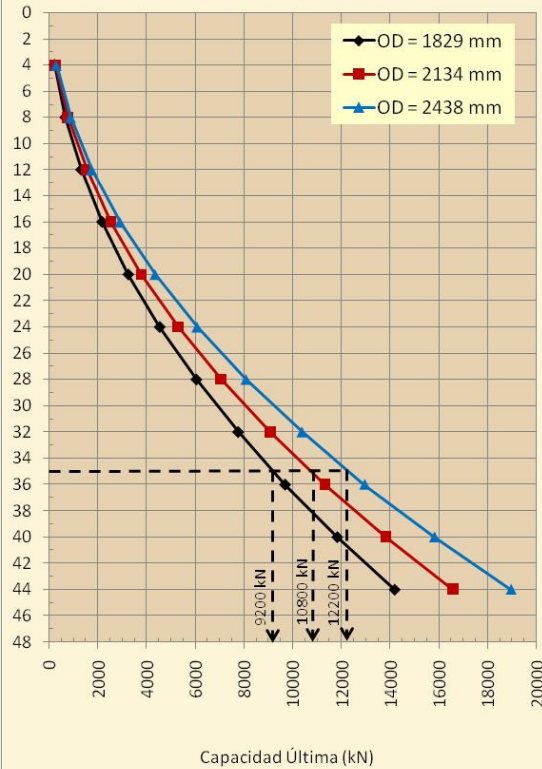
NGI

ICP

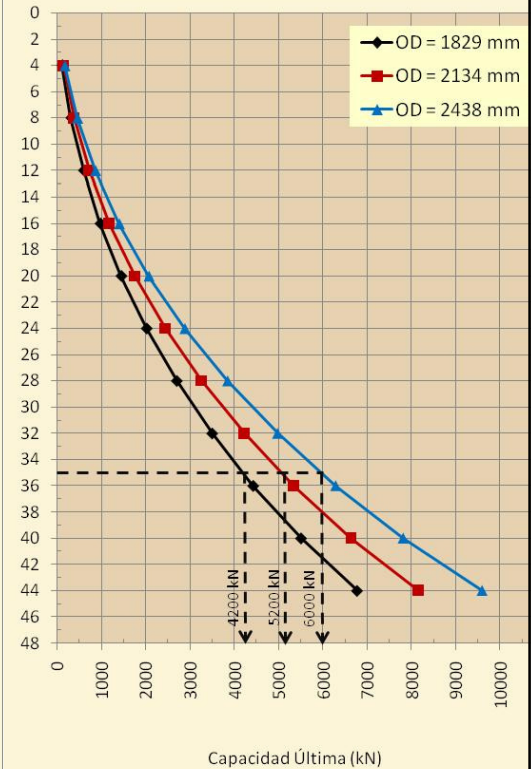
HIPOTÉTICO 1: ARCILLA BLANDA
PUNTA ABIERTA, MÉTODO API RP2A (2002)
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote



HIPOTÉTICO 1: ARCILLA BLANDA
PUNTA ABIERTA, MÉTODO NGI 2005
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote



HIPOTÉTICO 1: ARCILLA BLANDA
PUNTA ABIERTA, MÉTODO ICP 2005
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote



***VARIACIONES DE LOS
RESULTADOS SEGÚN
LOS MÉTODOS***

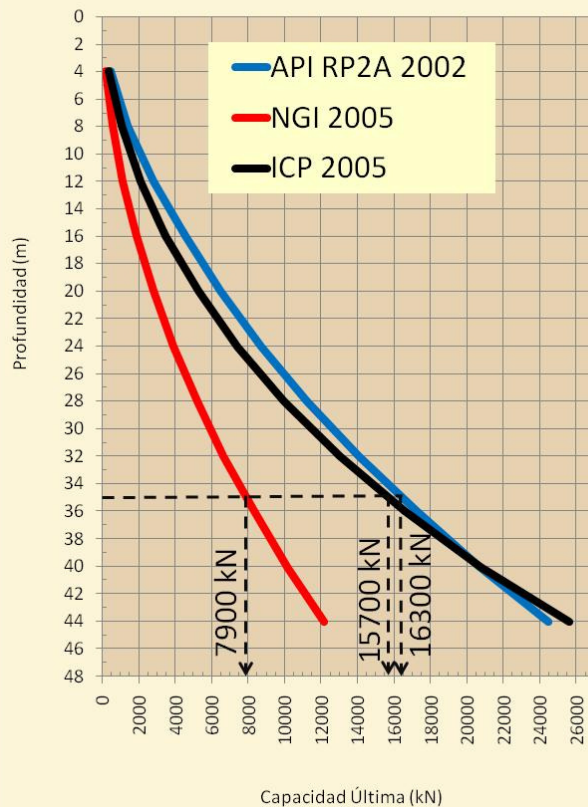
PUNTA ABIERTA

ARCILLA DURA

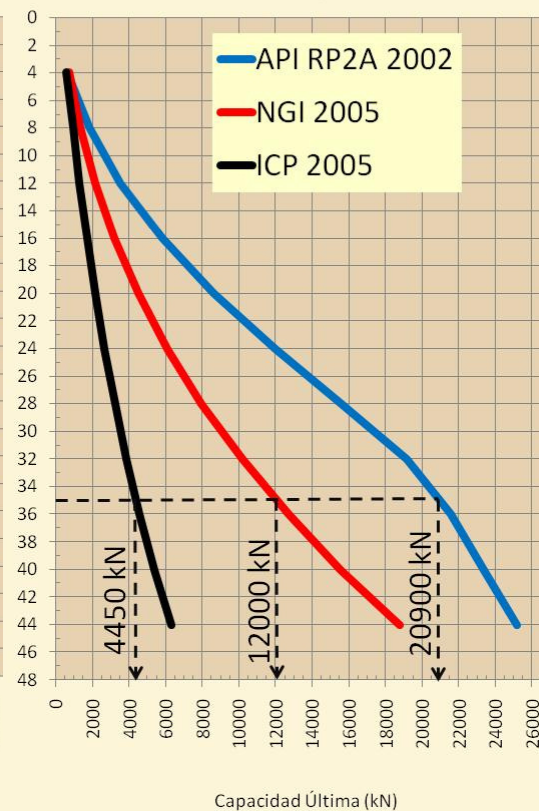
ARENA SUELTA

ARENA DENSA

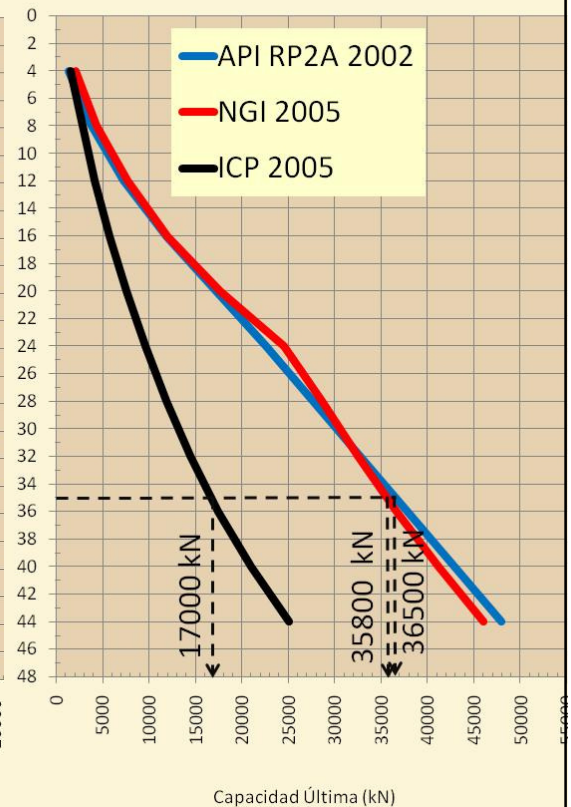
HIPOTÉTICO 2: ARCILLA DURA
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA ABIERTA, OD = 2134 mm



HIPOTÉTICO 3: ARENA SUELTA
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA ABIERTA, OD = 2134 mm



HIPOTÉTICO 4: ARENA DENSA
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA ABIERTA, OD = 2134 mm



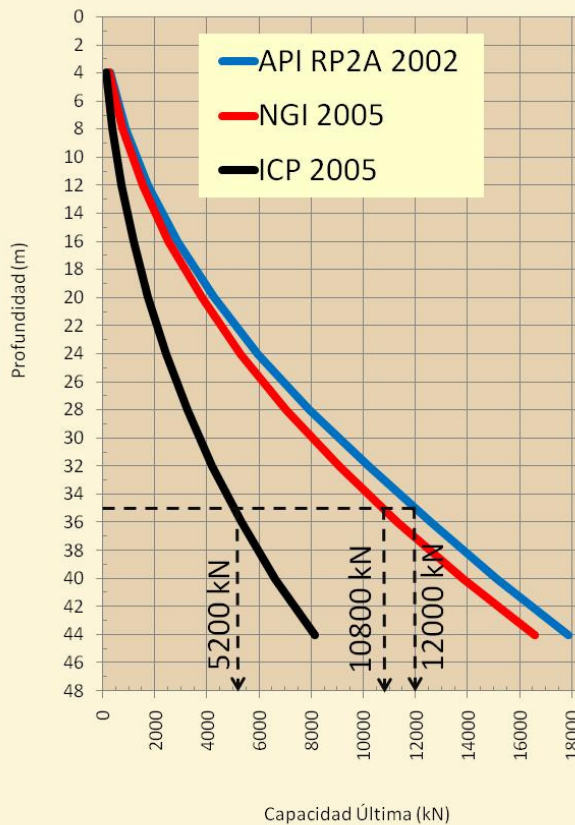
PUNTA ABIERTA

ARCILLA BLANDA

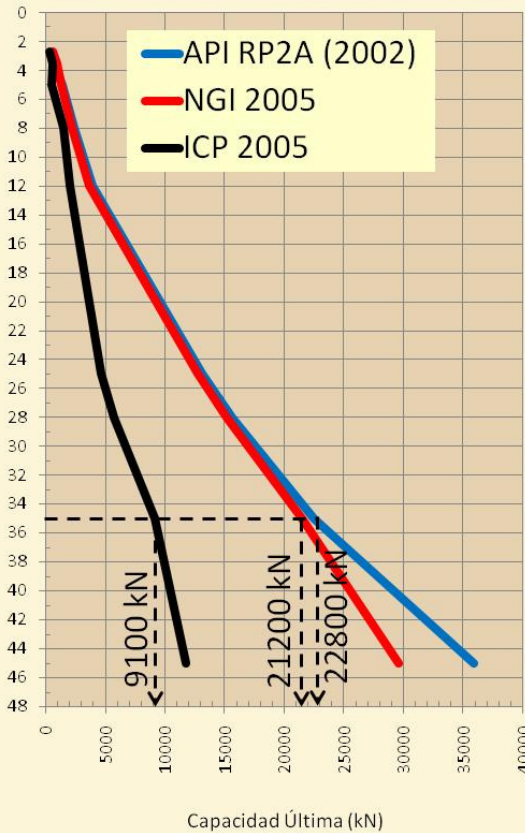
PXXXa_C

PXXXa_D

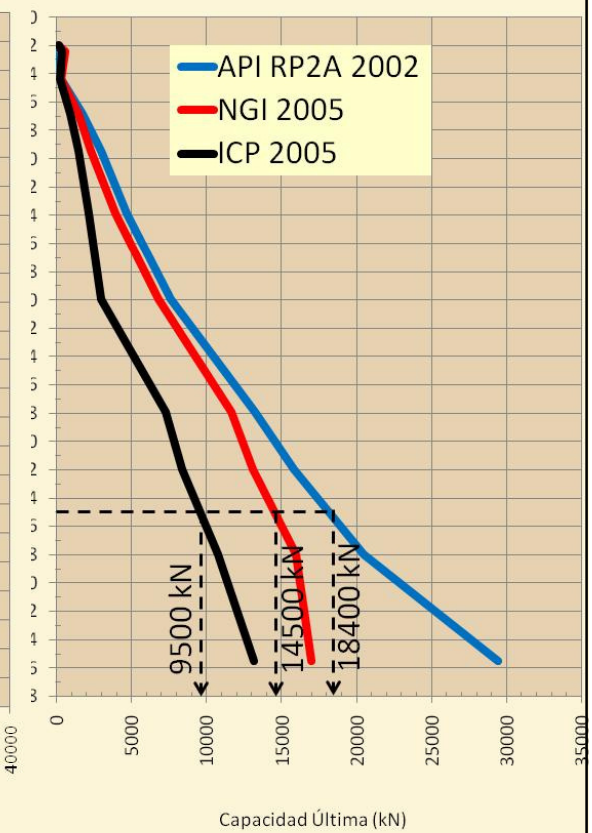
HIPOTÉTICO 1: ARCILLA BLANDA
Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA ABIERTA, OD = 2134 mm



PXXXa_C
Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA ABIERTA, OD = 2134 mm



PXXXa_D
Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA ABIERTA, OD = 2134 mm

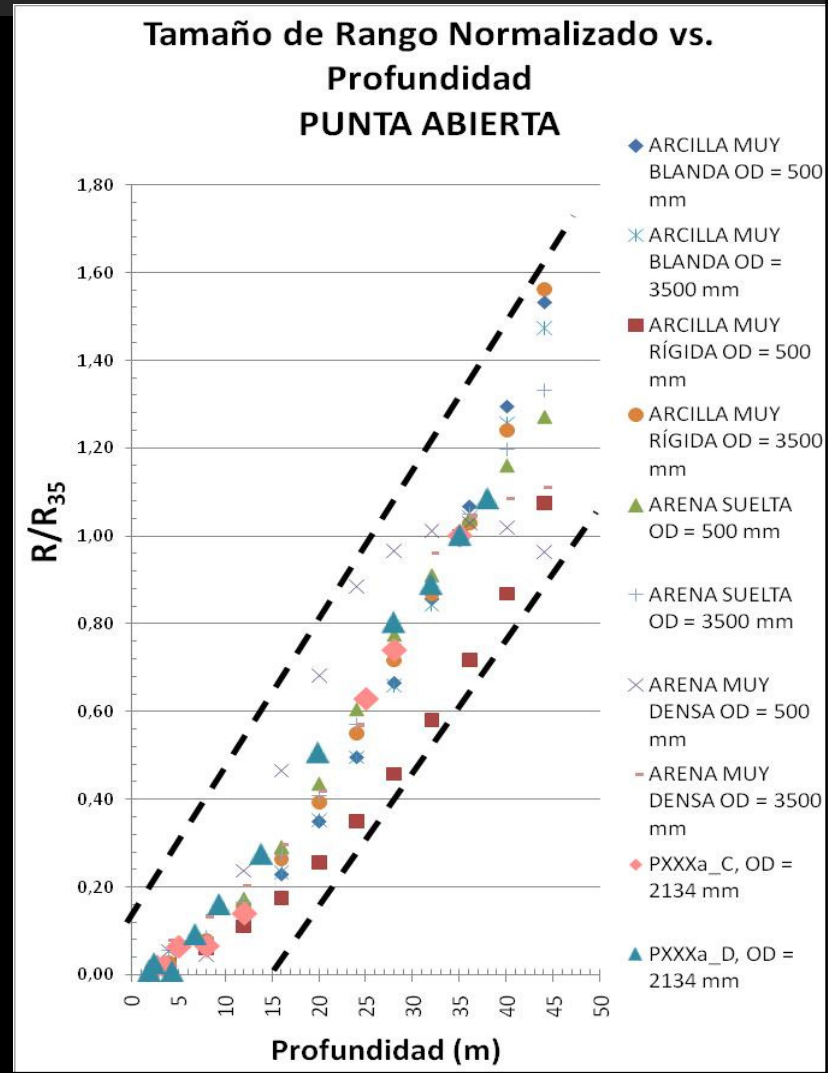


EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DE RANGO NORMALIZADO. PUNTA ABIERTA

Nube de puntos. Límite Inferior y Superior analizando todos los casos:

•HIPOTÉTICOS 1, 2, 3, 4 para OD entre 500 mm y 3500 mm.

•PXXXa_C y PXXXa_D para OD = 2134 mm



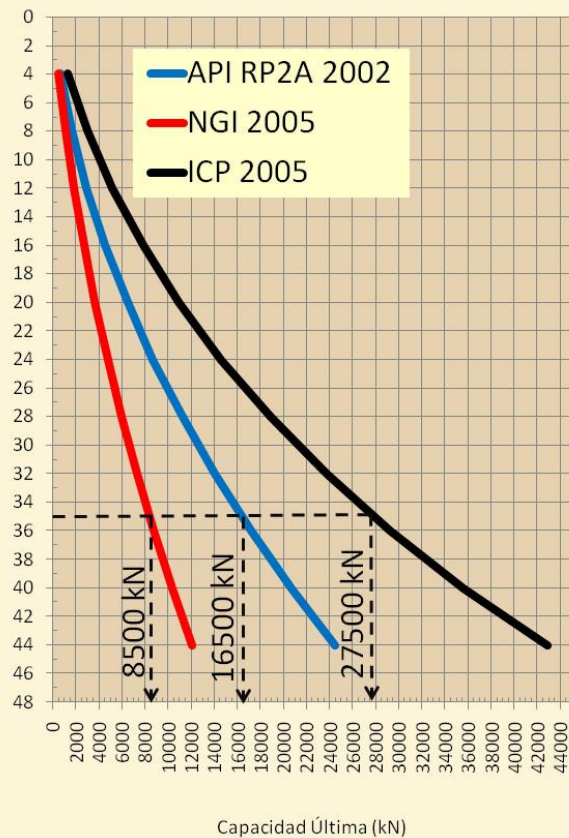
PUNTA CERRADA

ARCILLA RÍGIDA

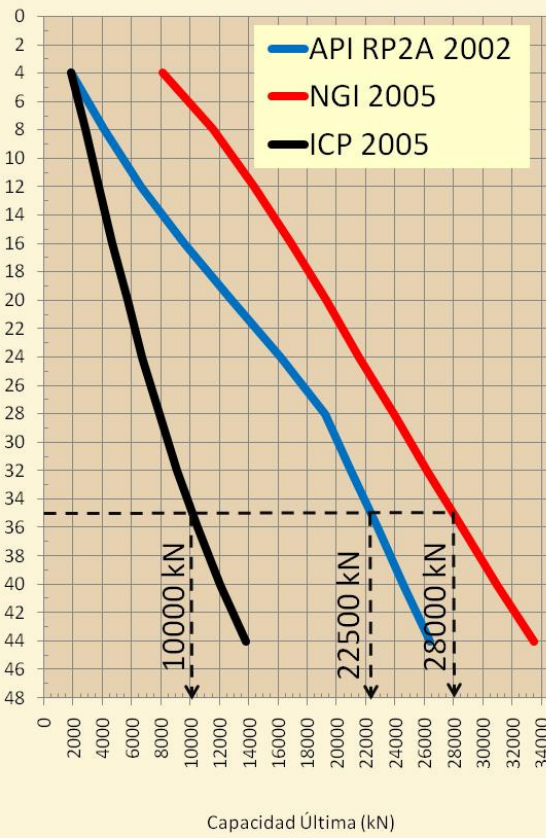
ARENA SUELTA

ARENA DENSA

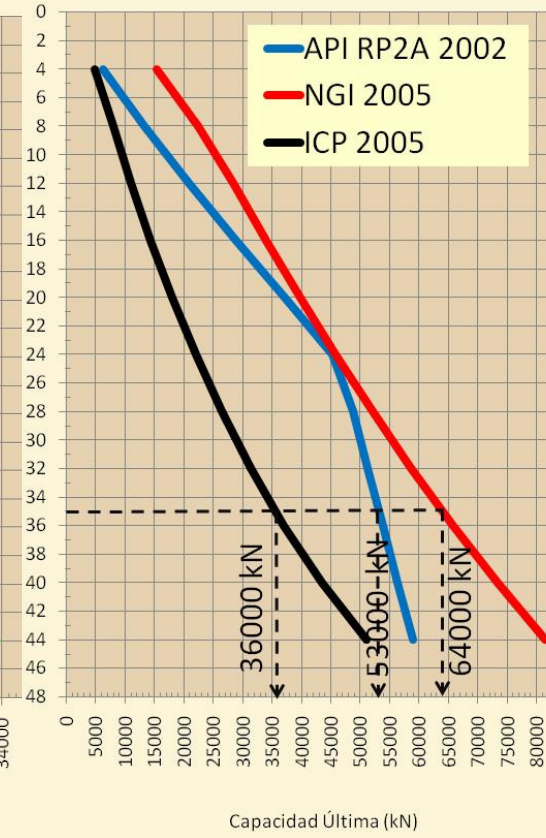
HIPOTÉTICO 2: ARCILLA DURA
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA CERRADA, OD = 2134 mm



HIPOTÉTICO 3: ARENA SUELTA
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA CERRADA, OD = 2134 mm



HIPOTÉTICO 4: ARENA DENSA
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA CERRADA, OD = 2134 mm



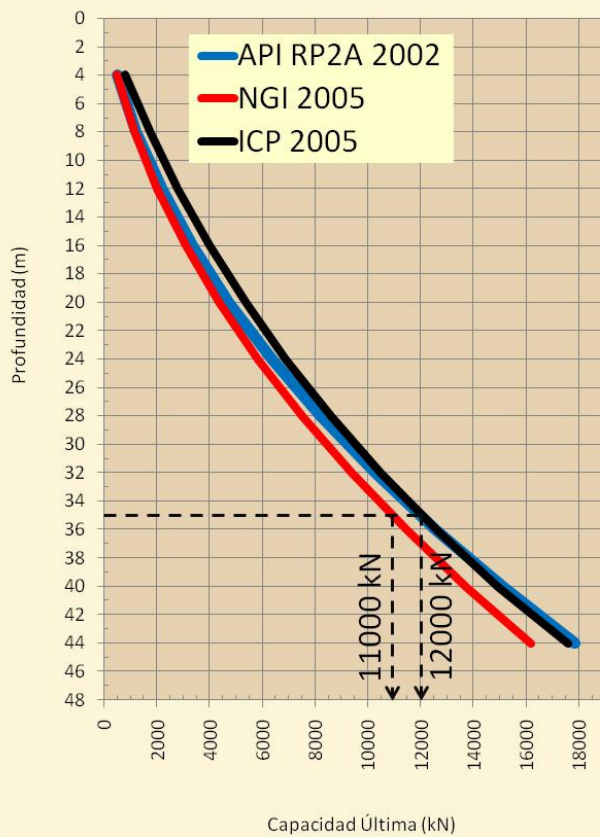
PUNTA CERRADA

ARCILLA BLANDA

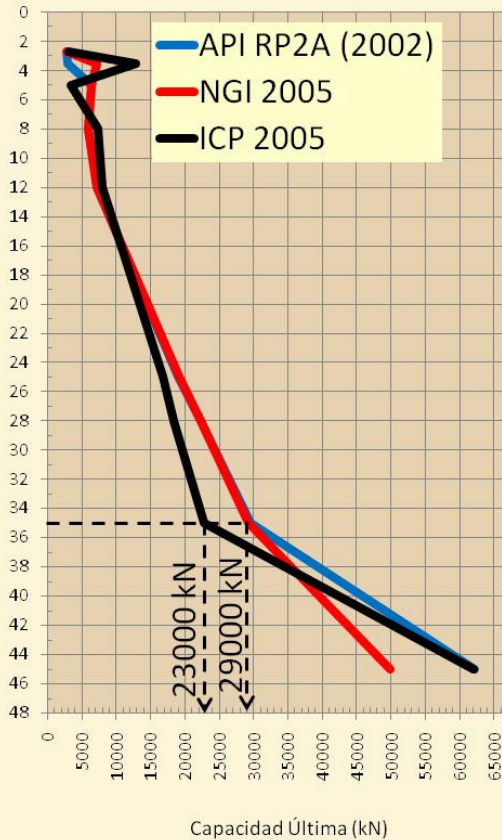
PXXXa_C

PXXXa_D

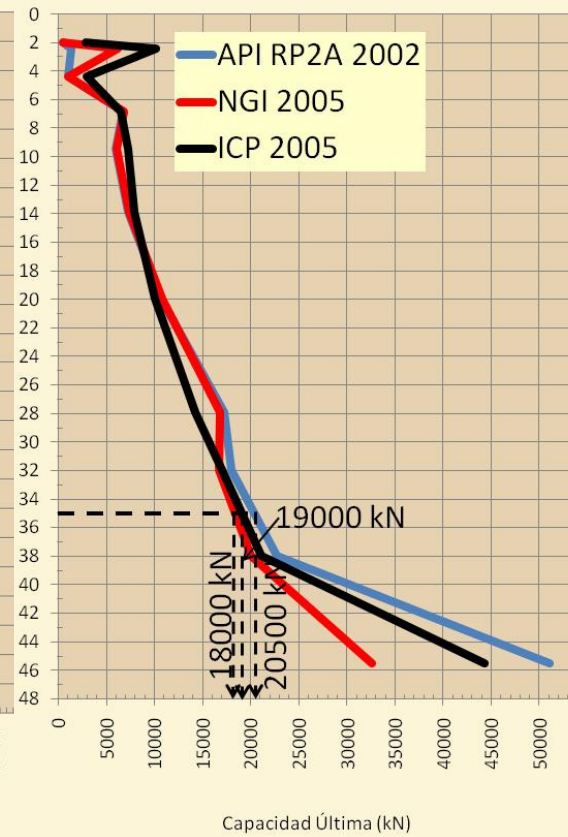
HIPOTÉTICO 1: ARCILLA BLANDA
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA CERRADA, OD = 2134 mm



PXXXa_C
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA CERRADA, OD = 2134 mm



PXXXa_D
 Capacidad Última vs. Longitud del Pilote
 PUNTA CERRADA OD =2134 mm

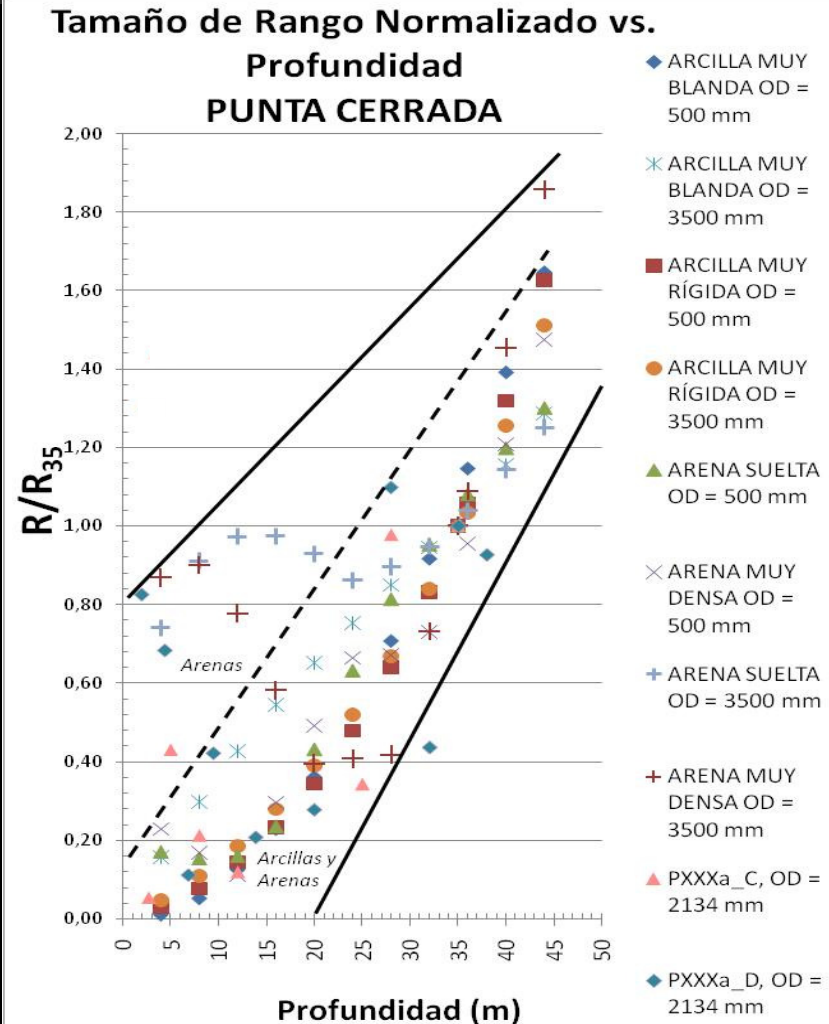


EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DE RANGO NORMALIZADO. PUNTA CERRADA

Nube de puntos. Límite Inferior y Superior analizando todos los casos:

•HIPOTÉTICOS 1, 2, 3, 4 para OD entre 500 mm y 3500 mm.

•PXXXa_C y PXXXa_D para OD = 2134 mm



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

1. Se ha logrado elaborar una herramienta de formato físico y digital que facilita el entendimiento de los Métodos de estimación de capacidad de soporte bajo carga axial en pilotes hincados costa afuera: API RP2A (2002), NGI 2005 e ICP 2005. El formato físico permite acceder a información acerca de estos métodos traducida al idioma castellano. El formato digital permite analizar escenarios muy variados, suelos homogéneos o estratificados, perfiles arenosos o arcillosos de altas o bajas resistencias o con diversos grados de compacidad o de consistencia, pilotes de punta abierta o cerrada, distintas dimensiones (diámetro, profundidad), diversas condiciones de aplicación de carga (carga rápida o carga lenta) y adicionalmente las potenciales condiciones de cargas a tensión o compresión en el pilote (extracción o compresión).

CONCLUSIONES

2. Los resultados presentados en este trabajo permiten constatar que existe una variación significativa en los valores estimados de capacidad de soporte mediante los distintos métodos. A este respecto, se encontró que esta variación es para pilotes de punta abierta o cerrada, menor en arcillas blandas y mayor en arenas densas.
3. De acuerdo con los casos hipotéticos analizados, el Método ICP arroja valores de capacidad más conservadores para pilotes de **punta abierta** en arcillas blandas y arenas muy densas, y para pilotes de **punta cerrada** hincados en arenas sueltas y arenas muy densas.

CONCLUSIONES

4. Para pilotes de punta abierta, hincados en arena o arcilla el Método API RP2A (2002) es el menos conservador de todos, mientras que para pilotes de punta cerrada sus estimaciones siempre están entre las del ICP 2005 y del NGI 2005, las primeras menos conservadoras en arcillas y las segundas menos conservadoras en arenas.

RECOMENDACIONES

1. Incentivar la realización de la segunda parte de este trabajo, una vez que se disponga de información de Pruebas de Carga en pilotes hincados en costa afuera en Venezuela, de tal manera que se logren evaluar estos métodos. En función de los resultados que se obtengan podrían establecerse parámetros de calibración a las ecuaciones empíricas o semianalíticas que constituyen estos métodos, si llegare a ser necesario para lograr adaptarlos a la realidad de los suelos venezolanos.

RECOMENDACIONES

2. Verificar la calibración hecha del cono CPTU con información de nuevos sondeos geotécnicos que se realicen en la zona.
3. Estudiar a fondo la aplicabilidad de los métodos en presencia de arenas carbonáticas y conchíferas, dado que se pueden encontrar con alta probabilidad en los perfiles costa afuera en Venezuela.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CAPACIDAD DE SOPORTE BAJO CARGA AXIAL DE PILOTES HINCADOS EN SUELOS COSTA AFUERA VENEZOLANOS, ESTIMADAS MEDIANTE LOS MÉTODOS API RP2A (2002), ICP (2005) Y NGI (2005).

AUTORA: Br. Alesia C. Veracoechea J.

**TUTOR ACADÉMICO: Prof. Wagdi Naime.
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Heriberto Echezuría.**

Noviembre, 2010