DISEÑO DE CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE ÑÁCARA - PIURA

Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado

Dra. Ing. Miriam Escalaya Advíncula

www.jorgealvahurtado.com

www.red-acelerográfica-peru.uni.edu.pe

23 al 27

AGOSTO, 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PUENTE ÑÁCARA-PIURA

BIENVENIDOS A CHULUCANAS
"Tierra Bendecida por Dios"
"AROMA DEL NACARA,
CUSPIDE DEL NAÑANIQUE ORGULLO DE VICÚS"
PUENTE NACARA
CHULUCANAS

Ubicación

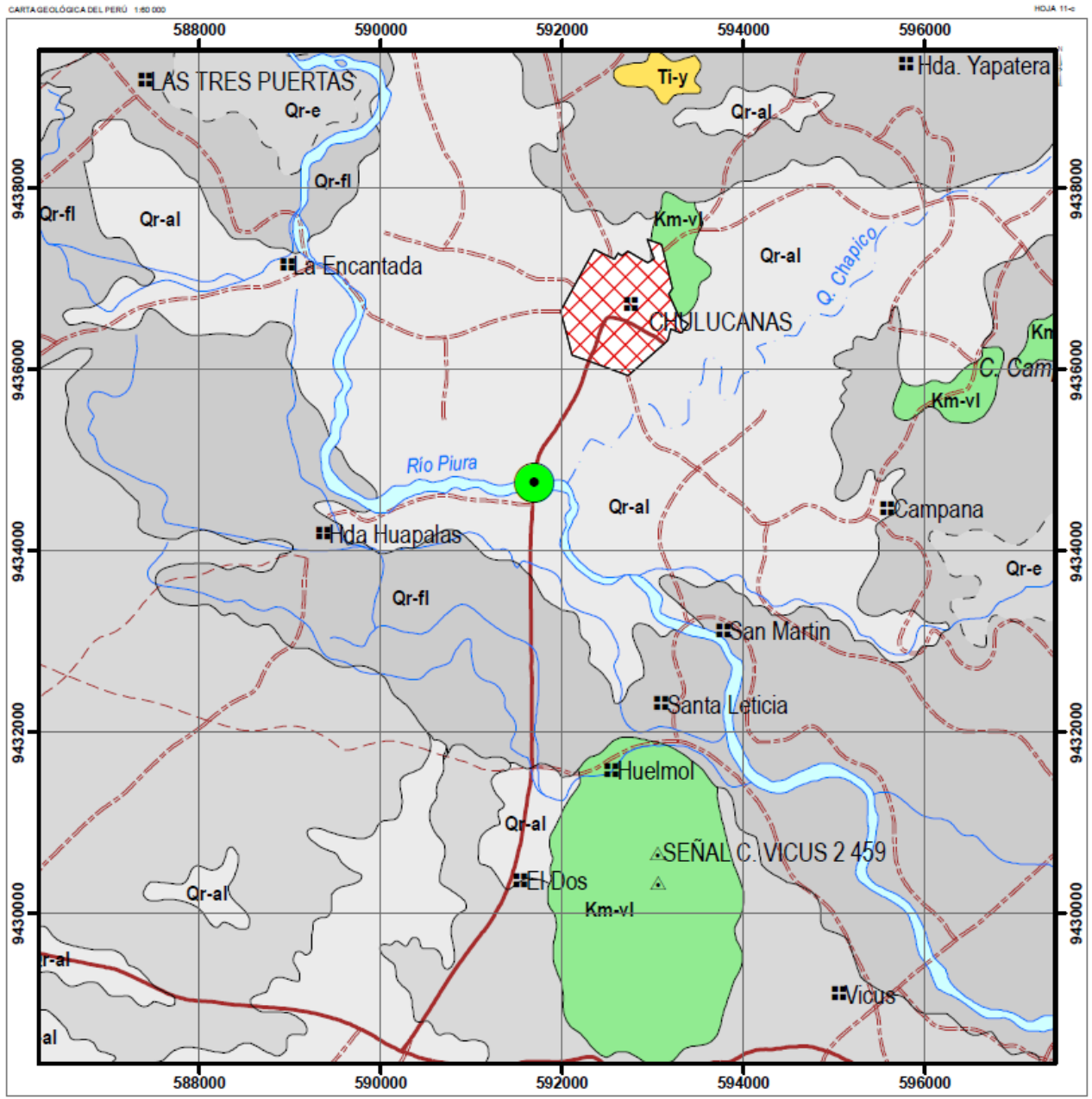
El puente Ñácara está ubicado sobre el río Piura, en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, departamento de Piura.

El puente sirve de acceso a la ciudad de Chulucanas. Fue construido al lado del puente antiguo.

Fuente: Google Earth, Febrero 2021

Fuente: Google Earth, Febrero 2021

Geología Regional



LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	PISO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE		Depósitos fluviales aluviales y eólicos	Qr-al Qr-e Qr-fl
				Disc. ang.	
	TERCIARIO	INFERIOR		Fm. Yapatera	Ti-y
				Disc. ang.	
Mesozoico	CRETACEO	MEDIO	Cenomaniano Albiano	Volc. Lancones	Km-vl

SÍMBOLOS

- Contacto geológico
- Contacto inferido
- 40° Rumbo y buzamiento de estratos
- Rumbo y buzamiento de esquistocidad
- Eje de anticlinal
- Sinclinal acostado
- Sinclinal probable
- Falla inferida
- Falla inversa inferida
- Carretera asfaltada
- Carretera afirmada
- Camino carrozable
- Camino de herradura
- Localidad común
- Señal geodésica

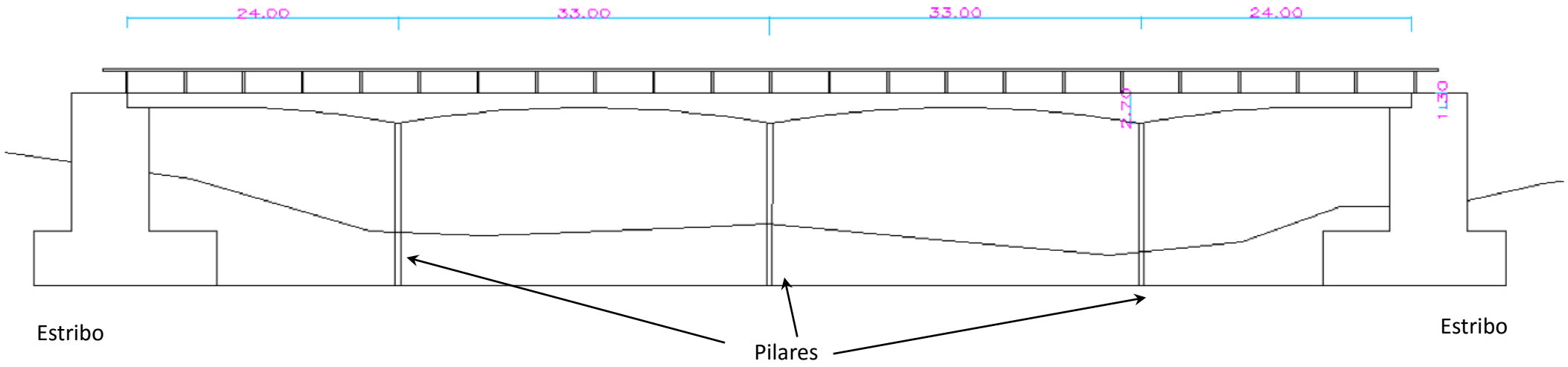
MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DEL PUENTE ÑÁCARA

Del Cuadrángulo Chulucanas, 11 – c
(INGEMMET, 1998)

Generalidades

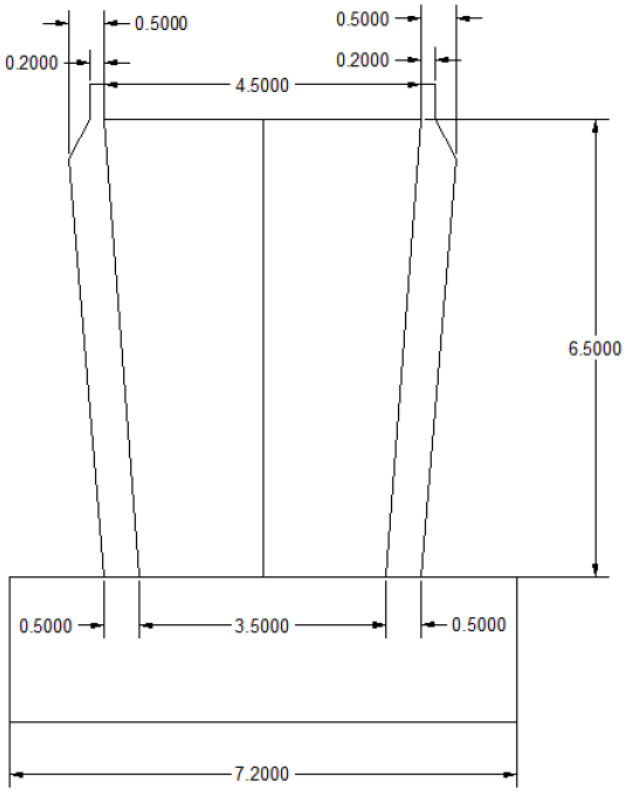
El nuevo Puente Ñácara fue construido en el año 1992 con la finalidad de sustituir el antiguo puente que se encontraba dañado debido al asentamiento ocurrido el año 1983 por El Niño, en el área comprendida entre el estribo izquierdo y el primer pilar.

Longitud del Puente	: 114 m
Ancho del Puente	: 7.20 m con 2 vías de tráfico
Número de tramos	: 4 tramos (24 m los extremos y 33 m los intermedios).

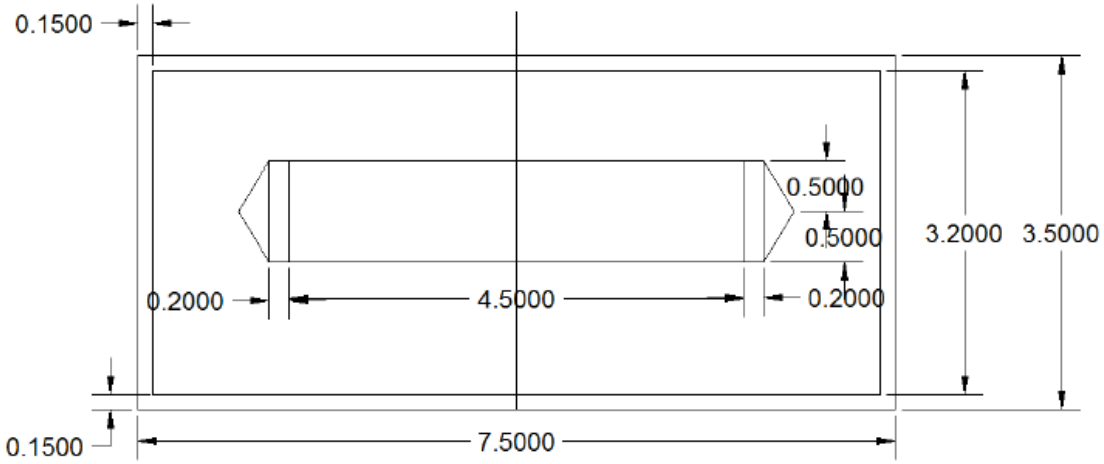


Subestructura del puente

Pilares



Vista en elevación del pilar del Puente Ñácara

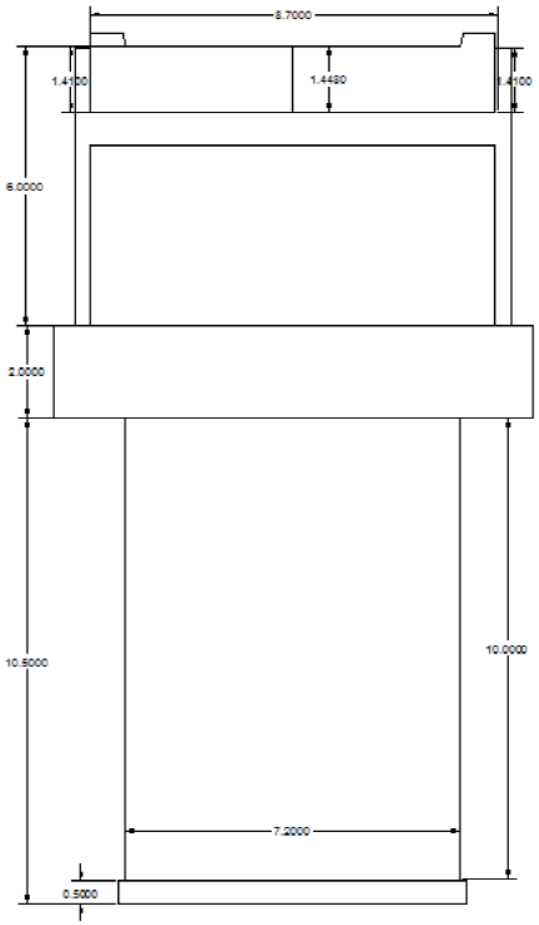


Vista en planta del pilar del Puente Ñácara

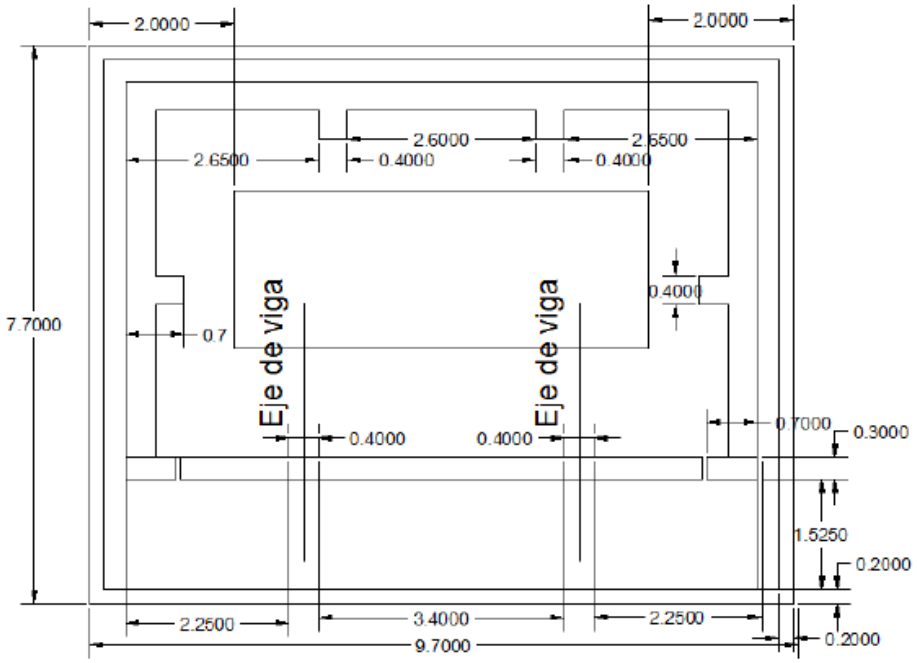
Los pilares están cimentados sobre **caissons de profundidad y altura variable de 10.5, 8.5 y 6.5 m** . Son de dos celdas y tienen de ancho de 7.2 m en sentido transversal y 3.2 m de sentido longitudinal.

Estribos

Estribo Izquierdo



Vista en elevación del estribo izquierdo del Puente Ñácara



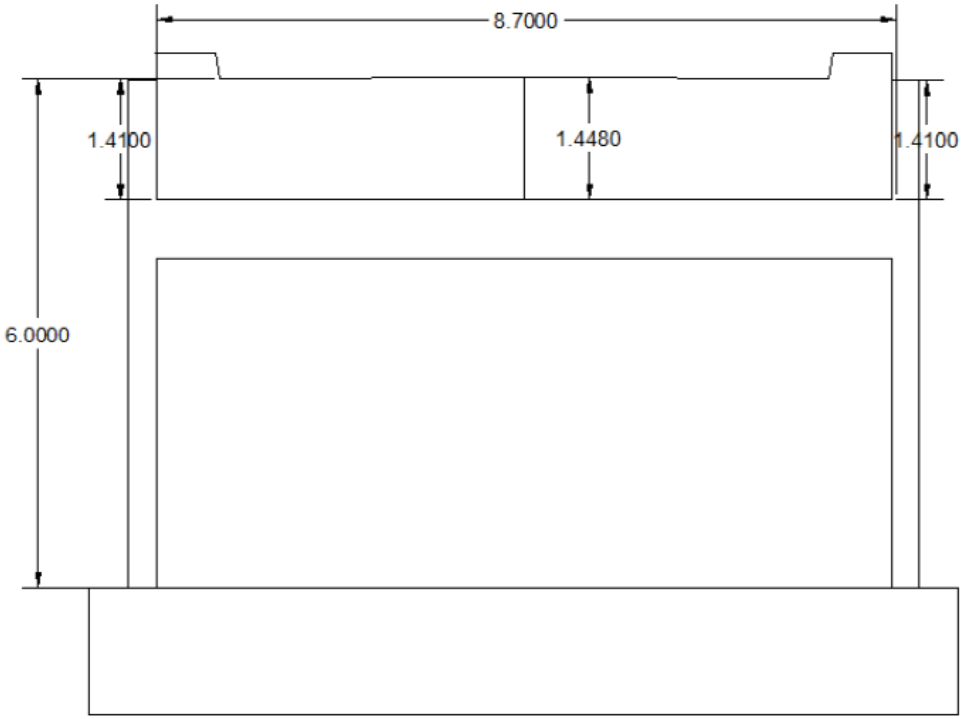
Vista en planta del estribo izquierdo del Puente Ñácara

El cuerpo del estribo es de forma cajón; está compuesto por paredes laterales de 0.30 m de espesor y 6.0 m de altura.

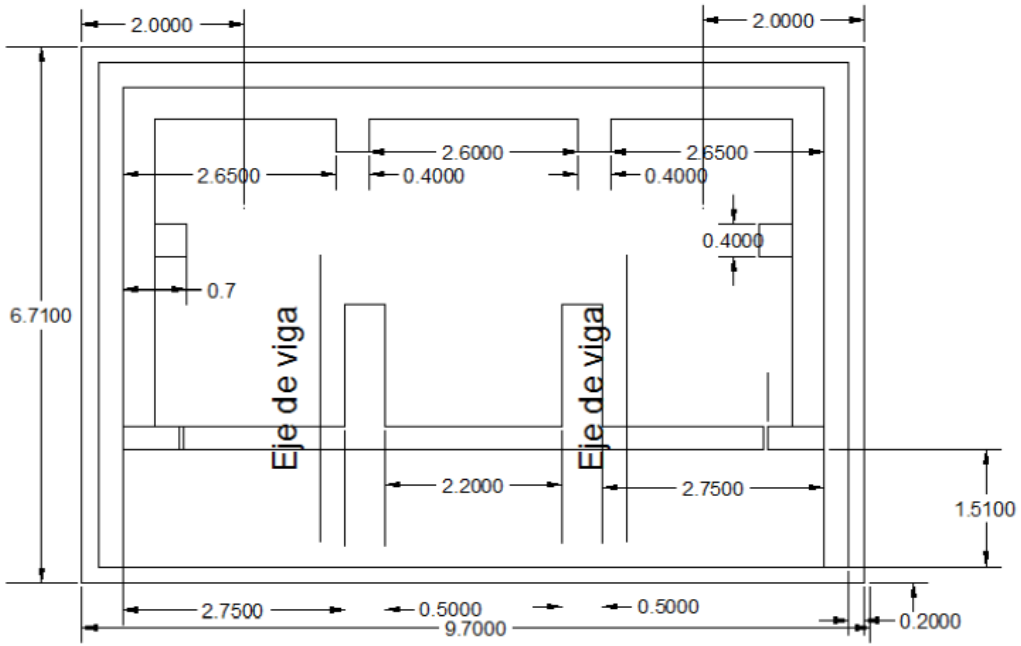
Todo el cuerpo está soportado por una cimentación de base rectangular hueca en la parte central con una altura de 2.0 m, la parte rectangular delantera descansa sobre un **caisson de 3.20 m x 7.20 m y de 10.50 m de profundidad**.

Estribos

Estribo Derecho



Vista en elevación del estribo derecho del Puente Ñácara



Vista en planta del estribo derecho del Puente Ñácara

El estribo derecho es de características similares al del lado izquierdo; sin embargo, en este caso está **cimentado sobre roca.** El cuerpo tiene una altura de 4.5 m que disminuye a 3.5 m al existir un escalón de 1.5 m en la base de la cimentación.

PROYECTO
CHIRA
PIURA

En el Estudio Geológico-Geotécnico e Hidrológico para la Cimentación del Puente Ñácara sobre el Rio Piura (1988) del MTC, se indican las siguientes características para el diseño de la cimentación:

Estribo	**Tipo de cimentación**	**Cota de cimentación**	**Capacidad de carga**
Izquierdo	Caisson	7.50 m (cota 88.16)	1.6 kg/cm^2
Derecho	Apoyo Directo	3.0 m (cota 96.0)	50.9 kg/cm^2

Exploración de Campo

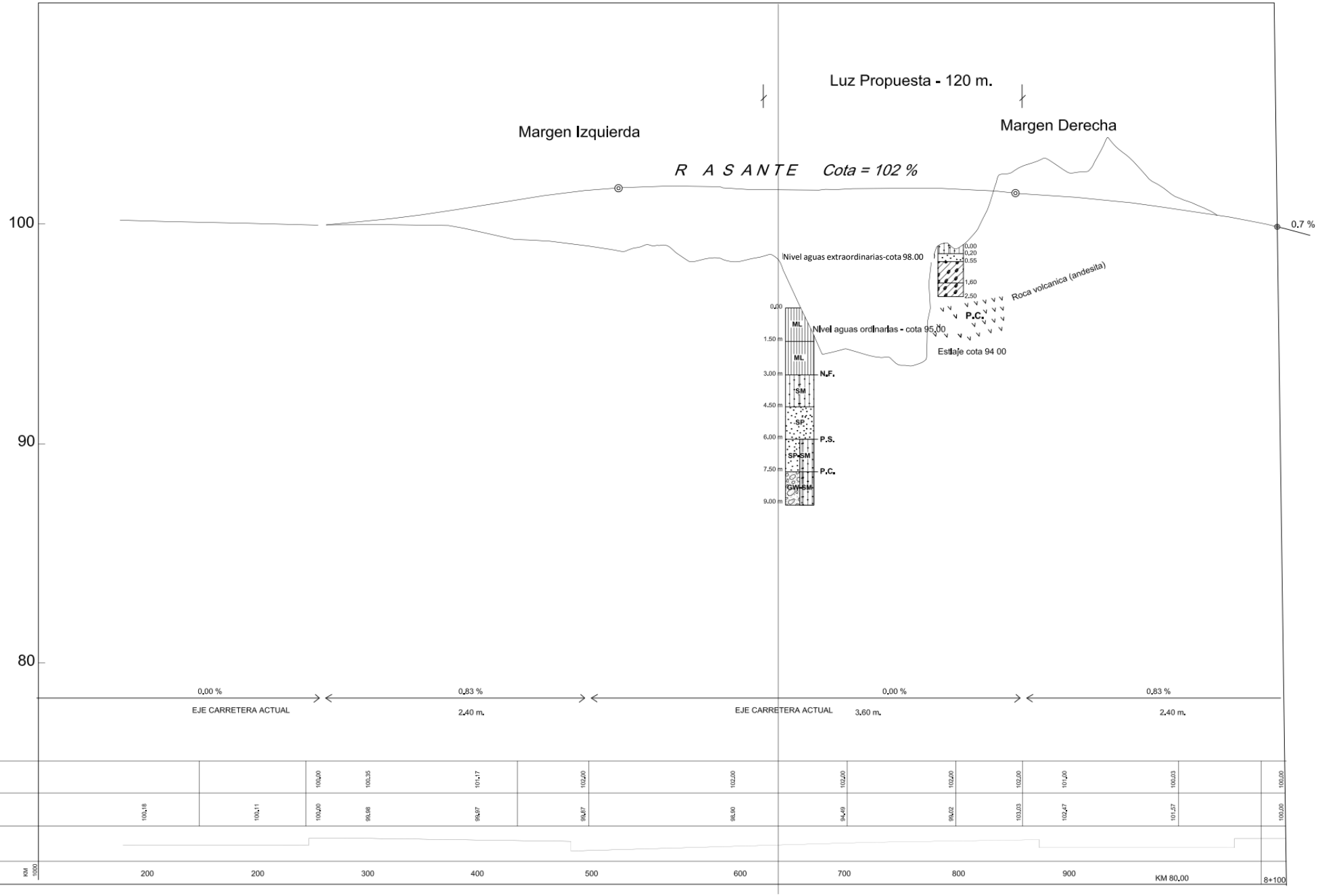
- **1988**

  Calicatas de exploración ubicadas a ambas márgenes del río Piura, llegando hasta la profundidad de 9.0 m en la margen izquierda y 2.30 m en la margen derecha por debajo de la cual aflora una roca volcánica.

- **1992**

  Cuatro sondajes con ensayos de penetración estándar y cono Peck hasta profundidades de 12 m. Adicionalmente se realizaron ensayos de refracción sísmica en un eje longitudinal y un eje transversal.

1988



COTA RASANTE			100.00	100.35	101.17	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	101.00	100.03		100.00
COTA TERRENO	100.18	100.11	100.00	99.98	99.97	99.97	98.90	94.49	99.02	103.03	102.47	101.57		100.00
ALINEAMIENTO														
KILOMETRAJE KM 1000	200	200		300	400	500	600	700	800	900		KM 80.00		8+100

SIMBOLOS Y NOMENCLAURA DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO

GW	Grava bien graduada
GM	Grava limosa
SM	Arena limosa
GC	Grava arcillosa
SP	Arena mal graduada
ML	Limo debajo indice de plasticidad
SW	Arena bien graduada

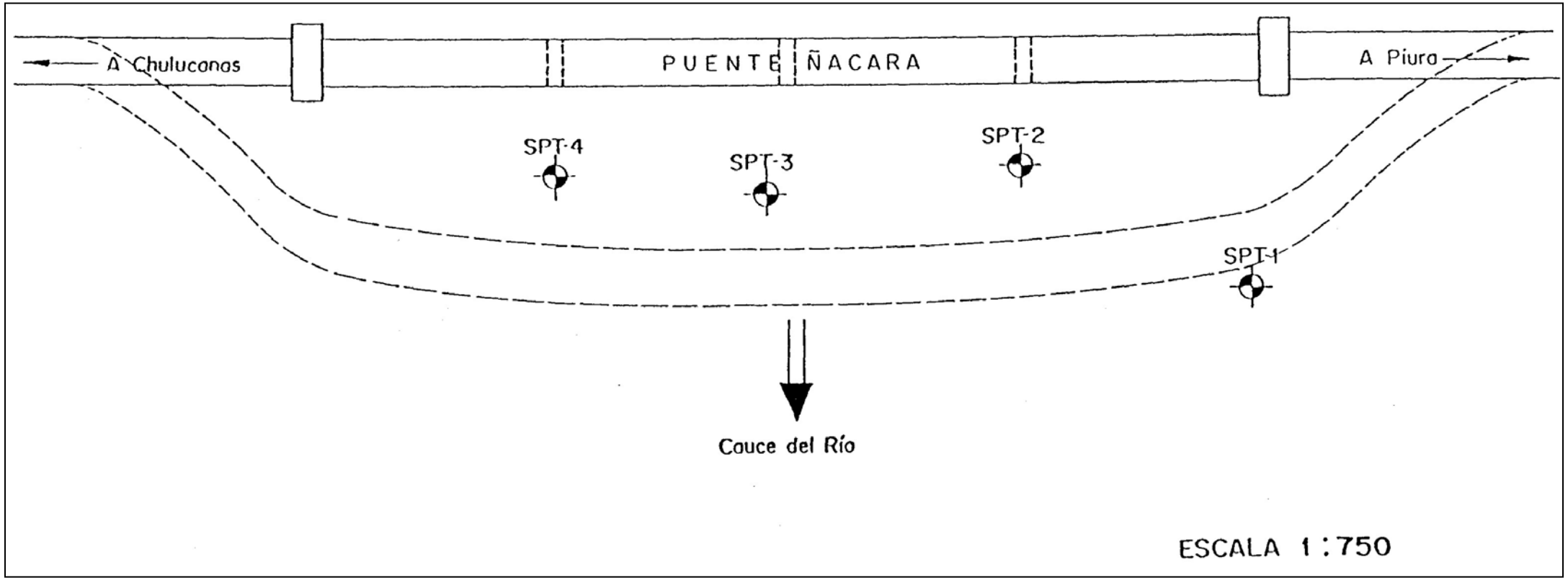
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS
DIRECCION DE ESTUDIOS ESPECIALES
DIVISION DE GEOLOGIA Y CIMENTACIONES

PERFIL ESTRATIGRAFICO

PUENTE ÑACARA

Vº Bº ING.	EJECUTADO	DIBUJO	ESCALA	FECHA
	ING° V. DIAZ H.	L.V.V.	H. 1:2000 V. 1:200	MAR-8

Ubicación de Sondajes



EXPLORACION DEL SUBSUELO
RESISTENCIA A LA PENETRACION ESTANDAR

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS Y ENSAYO DE MATERIALES
AREA DE MECANICA DE SUELOS

PROYECTO: PUENTE ÑACARA
UBICACION: CHULUCANAS - PIURA — PERFORACION Nº: SPT-1 — FECHA:
PROFUNDIDAD TOTAL: 12.10m. — COTA DEL TERRENO: - — NIVEL FREATICO: Prof. 6.35 Cota: -

PROFUNDIDAD (m)	Nº GOLPES (30 cm)	HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	PERFIL ESTRATIGRAFICO	CLASIFICACION S U C S	RESISTENCIA A LA PENETRACION golpes/30 cm. (0 10 20 30 40 50)	DESCRIPCION DEL SUELO
		11.55				SM		De 0.0 a 1.95m. Arena limosa de color marrón claro. En estado semi-humedo con finos no plásticos (SM)
2.0		7.30						De 1.95 a 3.05m.
		23.18	34.0	11.35		CL		Arcilla arenosa en estado semi-humeda. Color marrón claro. Presenta una mediana plasticidad (CL).
4.0		7.63				SP/SM		De 3.05 a 4.70m.
	9	7.73						Arena fina, con finos no plásticos. En estado semi-humedo (SP/SM)
	10	3.92						De 4.70 a 8.25m.
6.0	5					SP		Arena gruesa a media. En estado saturado. Presenta un lente de arena limosa a 7.40m. (SP).
	9							De 8.25 a 12.10mm.
8.0								Se utilizó el cono de PECK en forma continua, por lo que no se pudo determinar el perfil estratigráfico.
10.0								El Nivel Freático se encuentra a 6.35m. de profundidad.
12.0								
14.0								

FIGURA Nº 3

OBSERVACIONES

LEYENDA: ARENA, ARCILLA, LIMO, GRAVA, MAT. ORG., RELLENO

EXPLORACION DEL SUBSUELO
RESISTENCIA A LA PENETRACION ESTANDAR

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS Y ENSAYO DE MATERIALES
AREA DE MECANICA DE SUELOS

PROYECTO: PUENTE ÑACARA
UBICACION: CHULUCANAS - PIURA — PERFORACION Nº: SPT-2 — FECHA: 27.11.92
PROFUNDIDAD TOTAL: 11.15m. — COTA DEL TERRENO: - — NIVEL FREATICO: Prof. 3.65m Cota: -

PROFUNDIDAD (m)	Nº GOLPES (30 cm)	HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	PERFIL ESTRATIGRAFICO	CLASIFICACION S U C S	RESISTENCIA A LA PENETRACION golpes/30 cm. (0 10 20 30 40 50)	DESCRIPCION DEL SUELO
	3	4.10						De 0.0 a 0.26m. Arena media a fina, mal graduada color marrón claro. En estado semi-humedo (SP)
2.0	3	4.29						De 2.60 a 3.25m.
	3	8.06				SP		Arena gruesa a media, mal graduada. En estado semi-humedo (SP)
4.0	7							De 3.25 a 5.05m.
	6							Arena fina mal graduado. En estado saturado (SP)
6.0	17		43.9	21.05		SP/SM		De 5.05 a 6.05m.
	17		28.0	10.30				Arena gruesa a media, mal graduado. En estado saturado (SP).
8.0	24		30.7	12.25		CL		De 6.05 a 6.40m.
	18							Arena fina con presencia de limos no plásticos (SP/SM)
10.0	23					SP/SM		De 6.40 a 6.55m.
12.0								Arcilla de color plomo verdoso, de mediana a alta plasticidad (CL)
								De 6.55 a 7.80m.
								Arcilla de color marrón oscuro, de mediana plasticidad (CL).
								De 7.80 a 9.40m.
								Arcilla de color plomo verdoso, de mediana plasticidad (CL)
								De 9.40 a 10.45m.
								Arena fina limoa, con presencia de grava media de tamaño máximo 3/4" (SP/SM).
								De 10.45 a 11.15m.
								Se utilizó el cono de PECK.

FIGURA Nº 04

OBSERVACIONES

LEYENDA: ARENA, ARCILLA, LIMO, GRAVA, MAT. ORG., RELLENO

EXPLORACION DEL SUBSUELO
RESISTENCIA A LA PENETRACION ESTANDAR

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS Y ENSAYO DE MATERIALES
AREA DE MECANICA DE SUELOS

PROYECTO: PUENTE ÑACARA

UBICACION: CHULUCANAS - PIURA — PERFORACION Nº: SPT-3 — FECHA: 29.11.91

PROFUNDIDAD TOTAL: 9.70m. — COTA DEL TERRENO: - — NIVEL FREATICO: Prof. 4.20 Cota: -

PROFUNDIDAD (m)	Nº GOLPES (30 cm)	HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	PERFIL ESTRATIGRAFICO	CLASIFICACION SUCS	RESISTENCIA A LA PENETRACION golpes/30 cm. (0 10 20 30 40 50)
	5	2.30					
2.0	4	4.29					
	3	8.06					
4.0	2					sp	
	3						
6.0	3						
	6						
8.0	14						
10.0							

DESCRIPCION DEL SUELO

De 0.0 a 3.50m.

Arena media a fina, mal graduada. Color marrón claro. En estado semi-humedo (SP).

De 3.50 a 6.70m.

Arena fina mal graduada. Color marrón claro. En estado saturado (SP)

De 6.70 a 8.15m.

Arena gruesa a media, con presencia de grava media de tamaño máximo 3/4". En estado saturado (SP).

De 8.15 a 9.70m.

Se utilizó el cono de PECK en forma contínua, por lo que no se puede determinar el perfil estratigráfico.

El Nivel Freático se encuentra a 4.20m. de profundidad.

FIGURA Nº 05

OBSERVACIONES

LEYENDA: ARENA, ARCILLA, LIMO, GRAVA, MAT. ORG., RELLENO

EXPLORACION DEL SUBSUELO
RESISTENCIA A LA PENETRACION ESTANDAR

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS Y ENSAYO DE MATERIALES
AREA DE MECANICA DE SUELOS

PROYECTO: PUENTE ÑACARA

UBICACION: CHULUCANAS - PIURA — PERFORACION Nº: SPT-4 — FECHA: 30.11.91

PROFUNDIDAD TOTAL: 5.60m. — COTA DEL TERRENO: - — NIVEL FREATICO: Prof. 3.60m Cota: -

PROFUNDIDAD (m)	Nº GOLPES (30 cm)	HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	PERFIL ESTRATIGRAFICO	CLASIFICACION SUCS	RESISTENCIA A LA PENETRACION golpes/30 cm. (0 10 20 30 40 50)
						CL	
	3						
2.0		3.48					
	4	7.16				SP	
	4	20.0					
4.0							
	7						
	49						
6.0							
8.0							

DESCRIPCION DEL SUELO

De 0.0 a 2.0m.

Arena media a fina, mal graduada. Presenta un lente de arcilla(CL) de mediana plasticidad a 0.40m.

De 2.0 a 2.35m.

Arena gruesa a media, en estado semi-humedo (SP).

De 2.35 - 2.90m.

Arena fina mal graduada. De color marrón claro. En estado semi-humedo (SP).

De 2.90 - 3.35m.

Arena media a fina, mal graduada, en estado semi-humedo (SP)

De 3.35 a 4.15m.

Arena gruesa a media, mal graduada. Se encuentra en estado saturado (SP).

De 4.15 a 4.90m.

Arena fina mal graduada (SP)

De 4.90 a 5.60m.

Arena gruesa a media con presencia de grava fina.

Se encontró ROCA a 5.60m. de profundidad. El Nivel Freático se encuentra a 3.60m. de profundidad.

FIGURA Nº 06

OBSERVACIONES

LEYENDA: ARENA, ARCILLA, LIMO, GRAVA, MAT. ORG., RELLENO

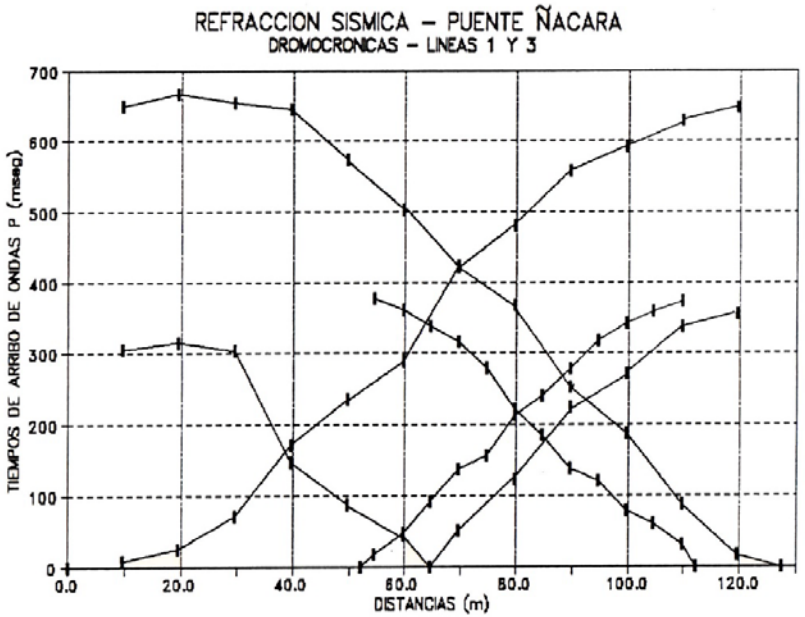
Refracción Sísmica

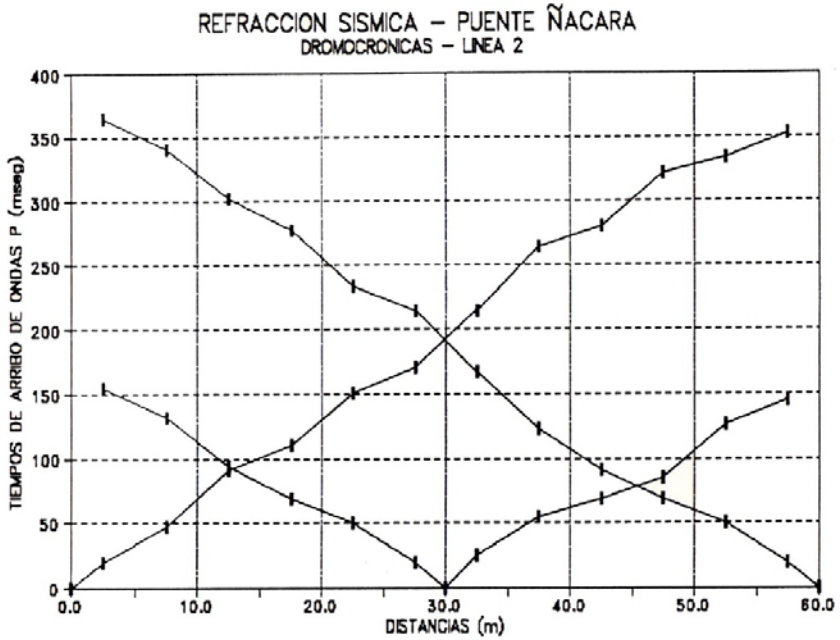
Con la finalidad de detectar la variación estratigráfica del subsuelo en el lecho del río Ñácara se realizaron ensayos de refracción sísmica en diciembre de 1991.

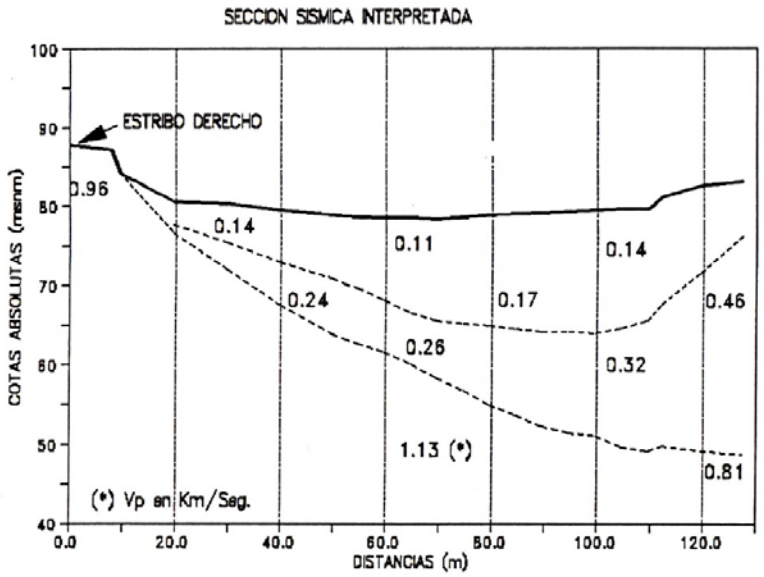
Se realizaron 4 líneas de medición. Las líneas 1 y 3 fueron ubicadas en el eje longitudinal del puente, la línea 2 perpendicular a estas líneas, ubicada cerca al pilar averiado y la línea 4 ubicada en la parte superior del estribo derecho. Esta última línea se realizó con la finalidad de obtener la velocidad del estrato gravoso y de la roca madre, que en esa zona se encontraba relativamente superficial.

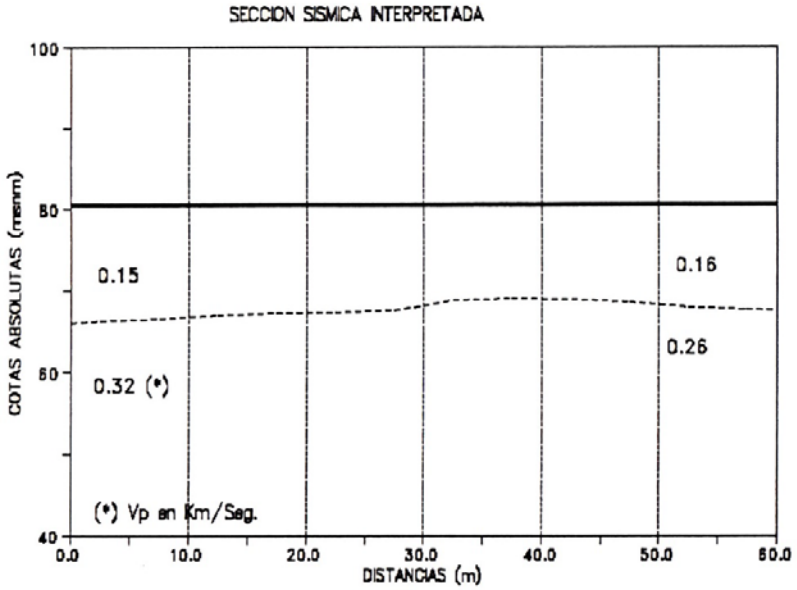
En el eje longitudinal del puente se detectó la presencia de 3 estratos. El tercer estrato presenta velocidades de ondas P entre 650 y 900 m/seg, lo cual hace suponer que se trata de un material gravoso similar al que aflora en el estribo derecho.

El segundo estrato presenta velocidades de ondas P entre 250 y 300 m/seg, las que corresponderían a una arena gravosa suelta. Las perforaciones realizadas habrían alcanzado la parte superior de este estrato.

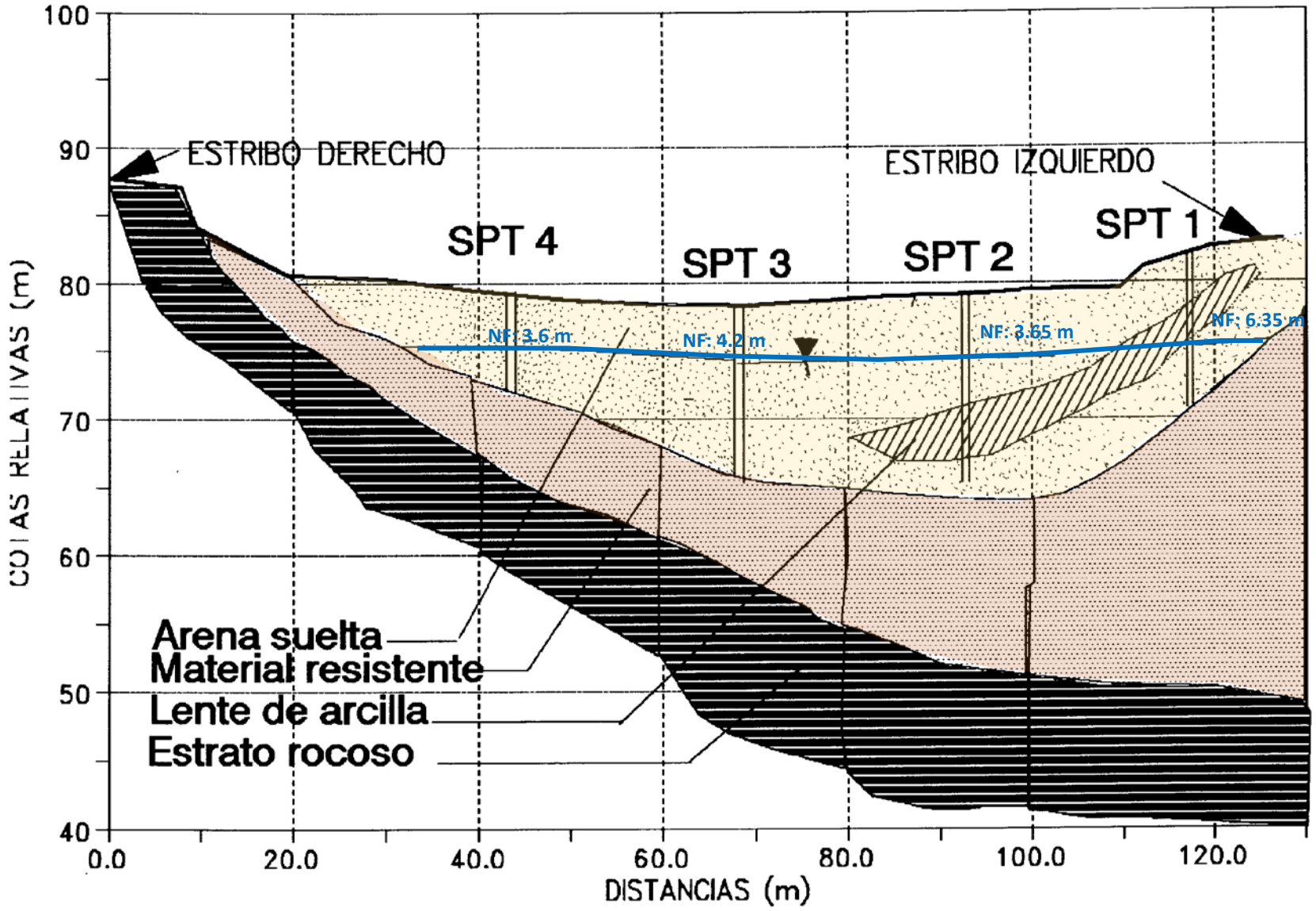

REFRACCION SISMICA – PUENTE ÑACARA
DROMOCRONICAS – LINEAS 1 Y 3
TIEMPOS DE ARRIBO DE ONDAS P (mseg)
DISTANCIAS (m)


REFRACCION SISMICA – PUENTE ÑACARA
DROMOCRONICAS – LINEA 2
TIEMPOS DE ARRIBO DE ONDAS P (mseg)
DISTANCIAS (m)


SECCION SISMICA INTERPRETADA
ESTRIBO DERECHO
0.96
0.14
0.11
0.14
0.24
0.17
0.46
0.26
0.32
1.13 (*)
0.81
(*) Vp en Km/Seg.
COTAS ABSOLUTAS (msnm)
DISTANCIAS (m)


SECCION SISMICA INTERPRETADA
0.15
0.16
0.26
0.32 (*)
(*) Vp en Km/Seg.
COTAS ABSOLUTAS (msnm)
DISTANCIAS (m)

Perfil Estratigráfico



Estudios Hidrológicos

La cuenca del río Piura hasta el puente Ñácara, situado a las afueras de la ciudad de Chulucanas, tiene una superficie de 3825 $km^{2,}$ con una altitud comprendida entre 119 m.s.n.m. hasta la línea de cumbres de la cordillera occidental de los andes sobre los 3600 m.s.n.m.

La longitud del río es de aproximadamente 112 km desde sus nacientes hasta el puente Ñácara, con pendiente promedio de 1.5 %.

Del informe "Estudios Hidrológicos y de los Factores Hidráulicos para la Construcción del Puente Ñacara sobre el Río Piura", realizado el año 1992 por el Ing. Edgar Rodríguez Zubiate, se tiene:

Determinación de la Avenida de Diseño

Rio Piura – Descargas máximas instantáneas para diferentes periodos de retorno, Estación Puente Ñácara

Periodo de retorno T (años)	Descargas máximas instantáneas (m^3/s)
05	971
10	1268
25	1643
50	1921
75	2083
100	2197

Dado que en la zona de proyecto ocurren grandes inundaciones debido al fenómeno El Niño, y además considerando que el número de la serie no es grande, se seleccionó como avenida de diseño de descarga máxima con un periodo de retorno de 75 años. Es decir, el caudal de diseño fue de 2083 m^3/s

Socavación y Fuerzas sobre los Pilares

Socavación

- Socavación general del cauce en la sección de interés: 6.06 m
- Socavación local en los pilares del puente : 3.60 m
- Socavación Total : 9.66 m

Fuerzas sobre los Pilares del Puente

Se espera que sobre los pilares del puente actúen fuerzas hidrodinámicas de 9908 kg en la dirección del flujo y de 11009 kg normal a la dirección del flujo, durante la ocurrencia de la avenida de diseño.

Se estima que la presión de sedimentos atrapados por los pilares ejercerán sobre éstos 474 kg/m^2.

Protección de los Pilares y Riberas

Se recomendó colocar un enrocado de protección alrededor de los pilares del puente en el nivel de socavación general y efectuar obras de defensa ribereña mediante la construcción de escolleras y diques de encausamiento para evitar la erosión de las riberas.

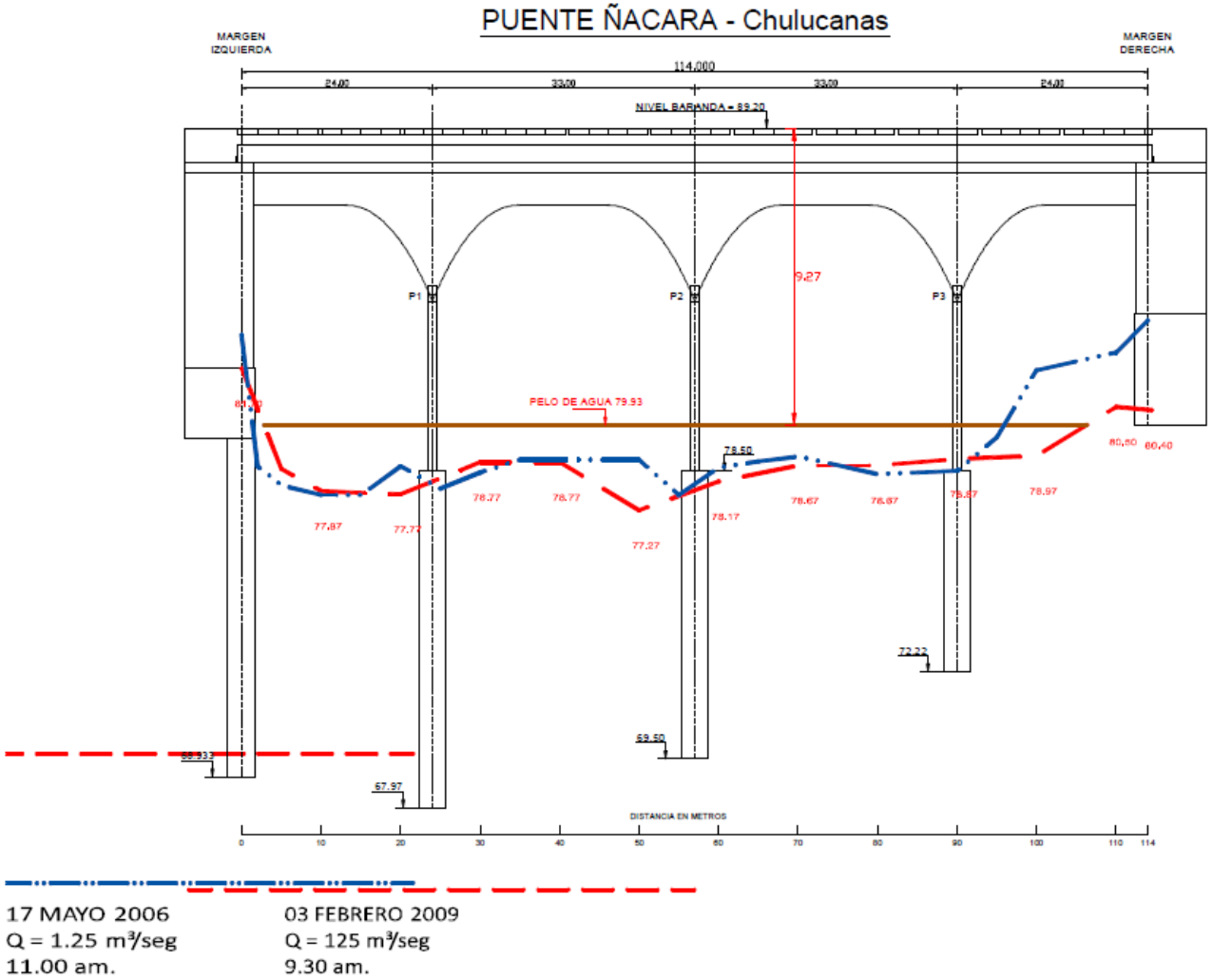
Evaluación de la Socavación con Ecosondajes

Con la finalidad de medir la socavación en el puente Ñácara, el Gobierno Regional de Piura realizó evaluaciones con Ecosondajes el año 2006 y el año 2009.

Cotas de socavación máxima para caudal y fecha indicada:

Día	30-03-06	17-05-06	02-03-08	12-04-08	26-11-08	03-02-09
Hora	2:00pm	11:00am	6:15pm	4:00pm	2:15am	9:30am
C.S.Ar.	76.40	77.75	79.80	77.25	78.65	77.27
C.S.Ab.						
Q	177.40	1.25	397.00	325.00	1.20	125.00
P.A.Ar.	55	10-15, 55	30	60	60	50
P.A.Ab.						

C.S.Ar. : Cota de socavación aguas arriba (msnm)
C.S.Ab. : Cota de socavación aguas abajo (msnm)
Q : caudal en m^3/s
P.A.Ar. : Progresiva aguas arriba (m)
P.A.Ab. : Progresiva aguas abajo (m)



*Equipo empleado en mediciones: Ecosonda FURUNO FCV 667

Aquino Carlín, Juan (2009)

Cimentaciones Profundas para Puentes

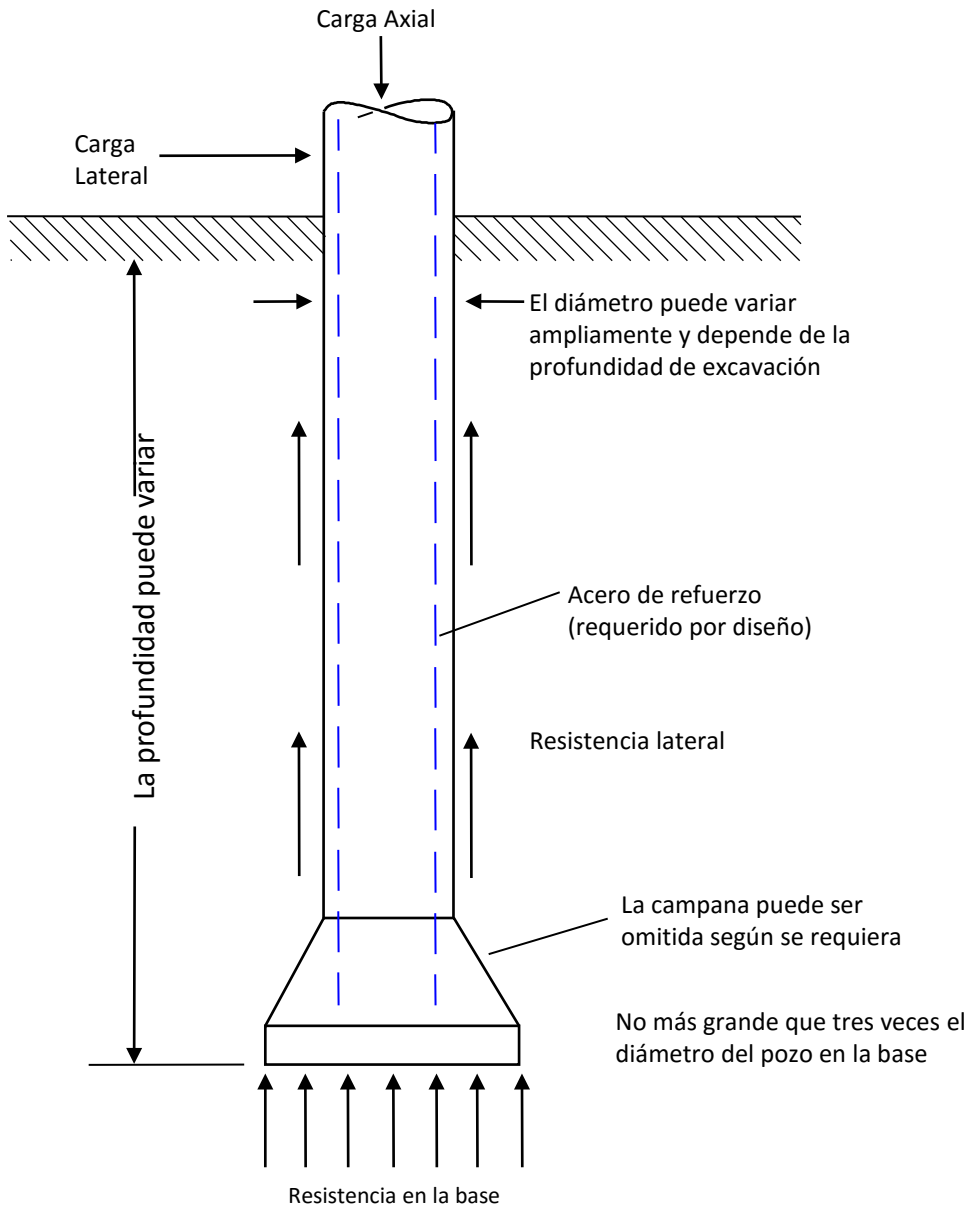
Cimentación con Pilotes

- Pilotes Hincados
- Pilotes Llenados In-Situ o Pilotes Perforados (Drilled Shafts)
- Pilotes Inyectados de Pequeño Diámetro

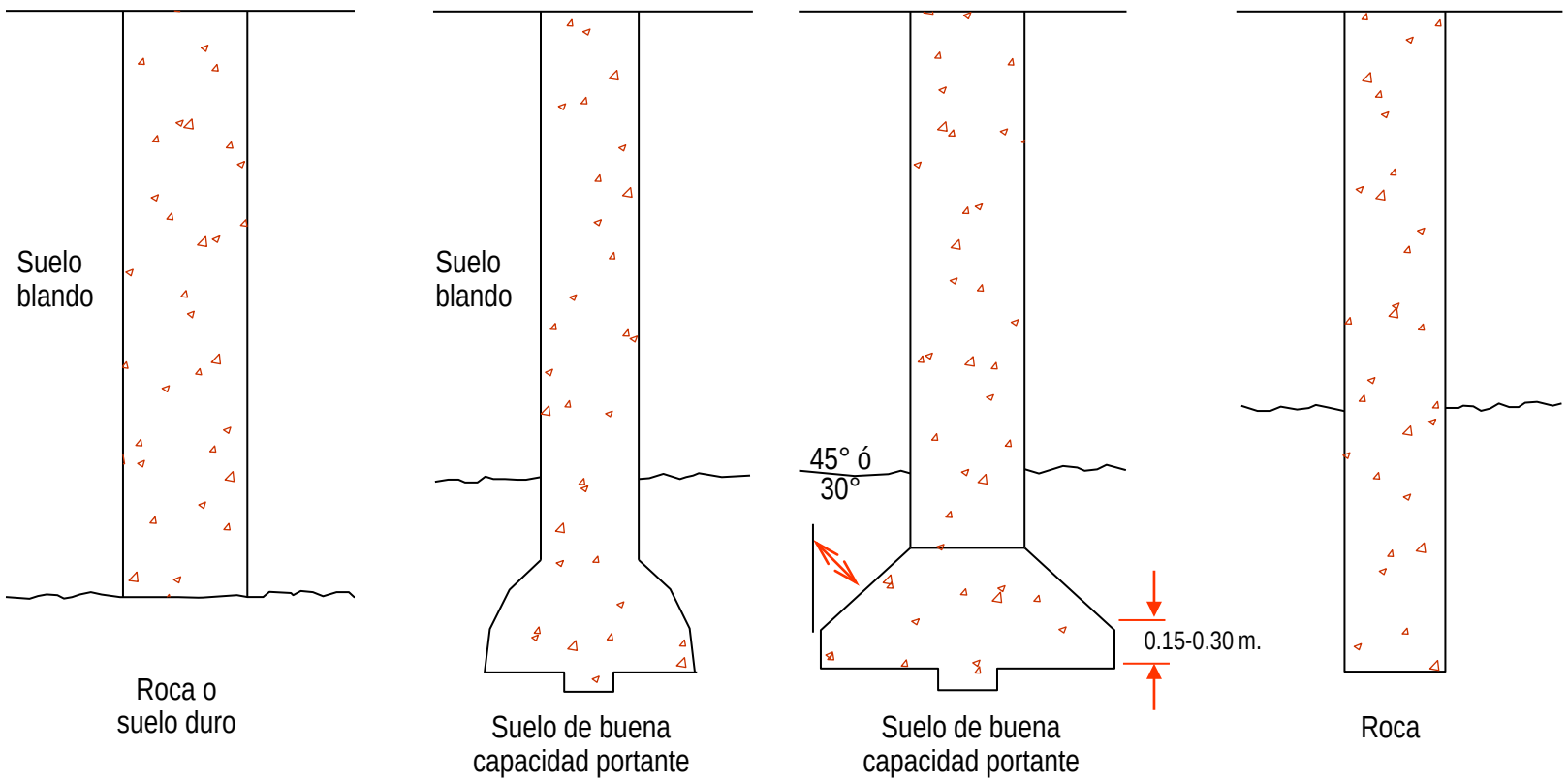
Cimentación con Caissones o Cajones de Cimentación

- Cajón Abierto
- Cajón Cerrado
- Cajón Neumático

Pilotes Perforados



Pilote Perforado Típico



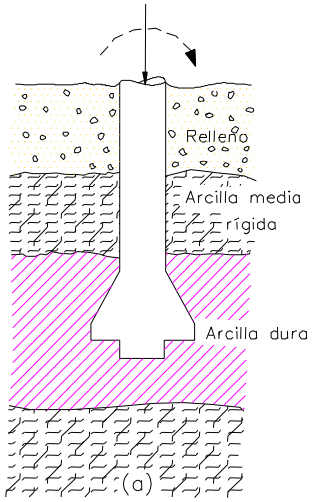
a) recto

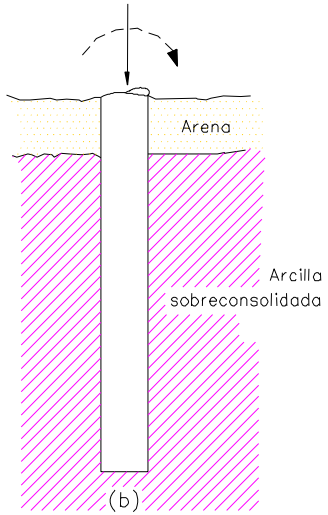
b) y c) acampanado

d) empotrado en roca

Tipos de Pilotes Perforados

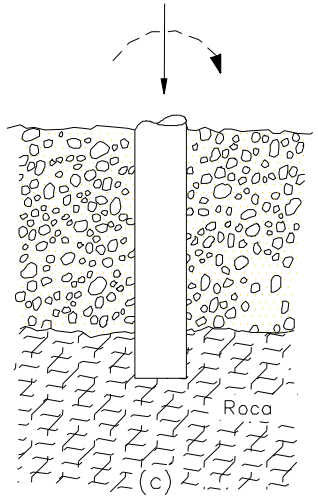
Casos para Usar Pilotes Perforados

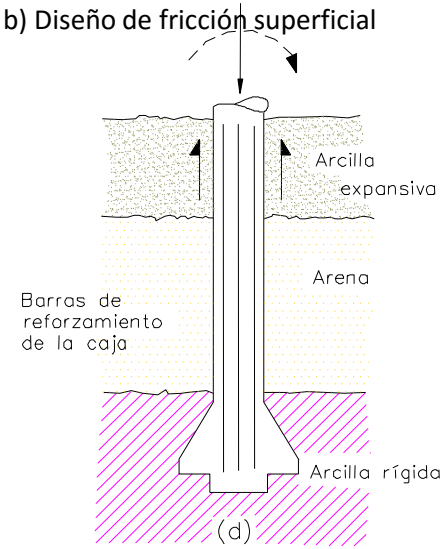




(a) Carga en arcilla dura,

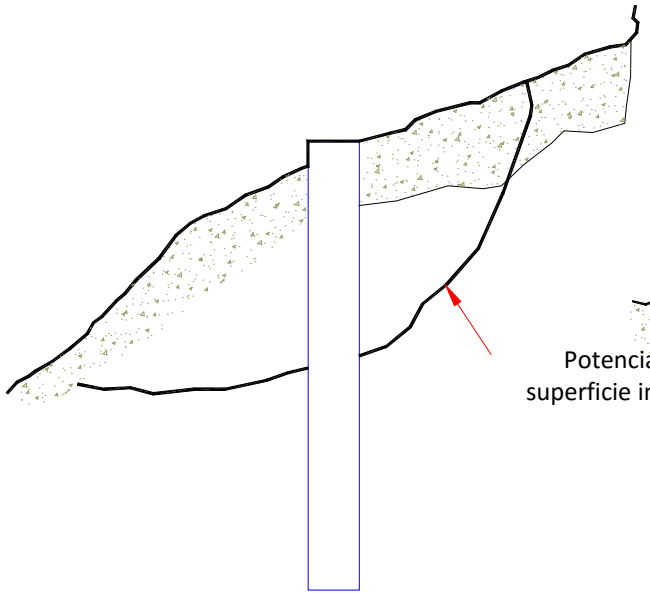
b) Diseño de fricción superficial



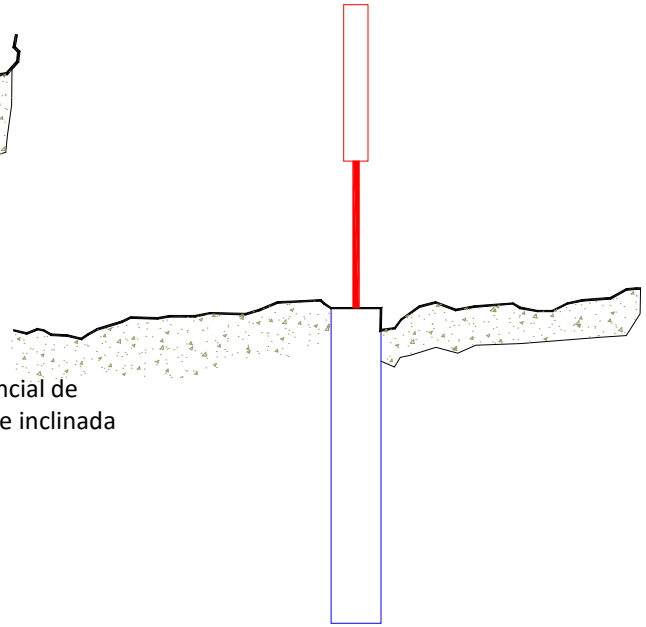


(c) Socket en roca

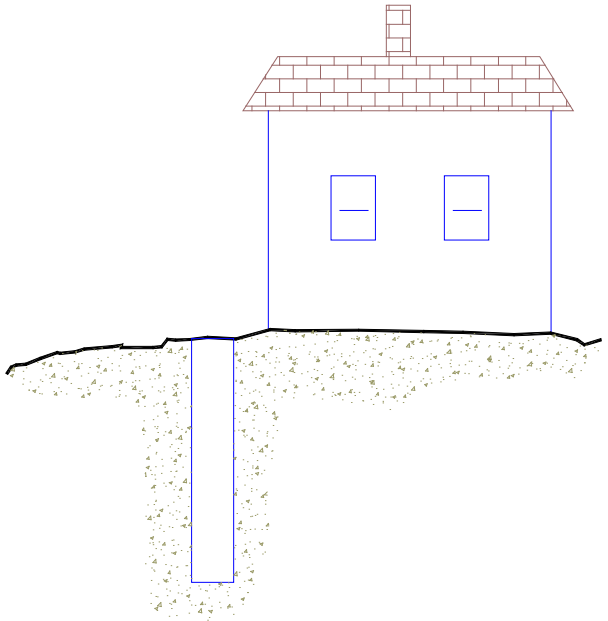
d) Instalación dentro de arcilla expansiva



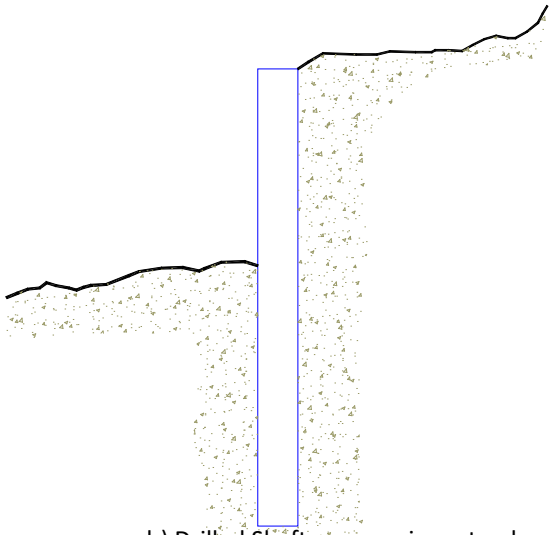
e) estabilización de pendientes



(f) cimentaciones para señales en lo alto

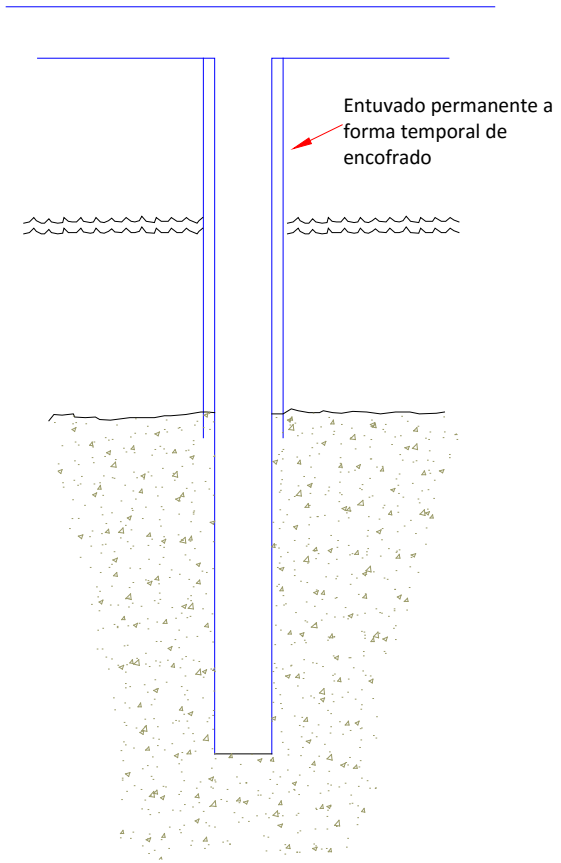


g) cimentación cerca de estructura existentes

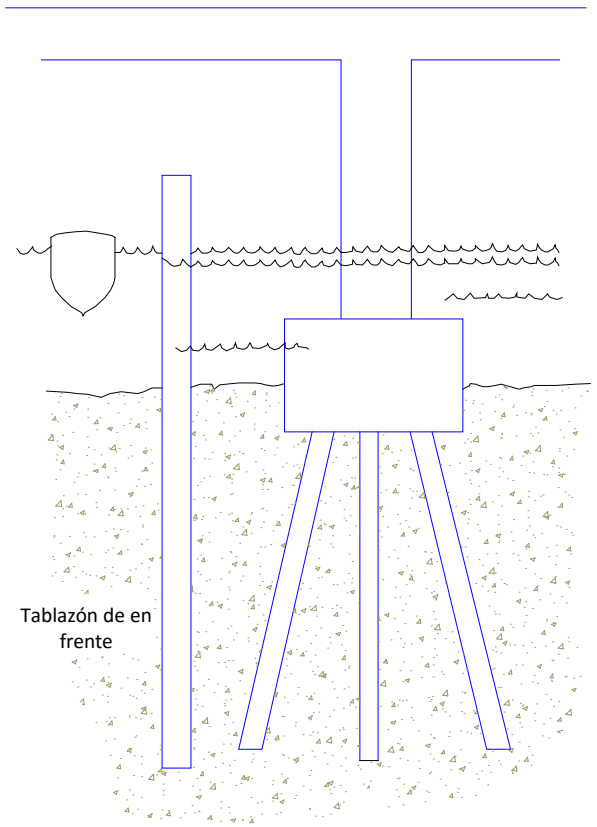


h) Drilled Shaft en espacios estrechos, sirve como un cantilever de un muro de retención.

Casos para Usar Pilotes Perforados



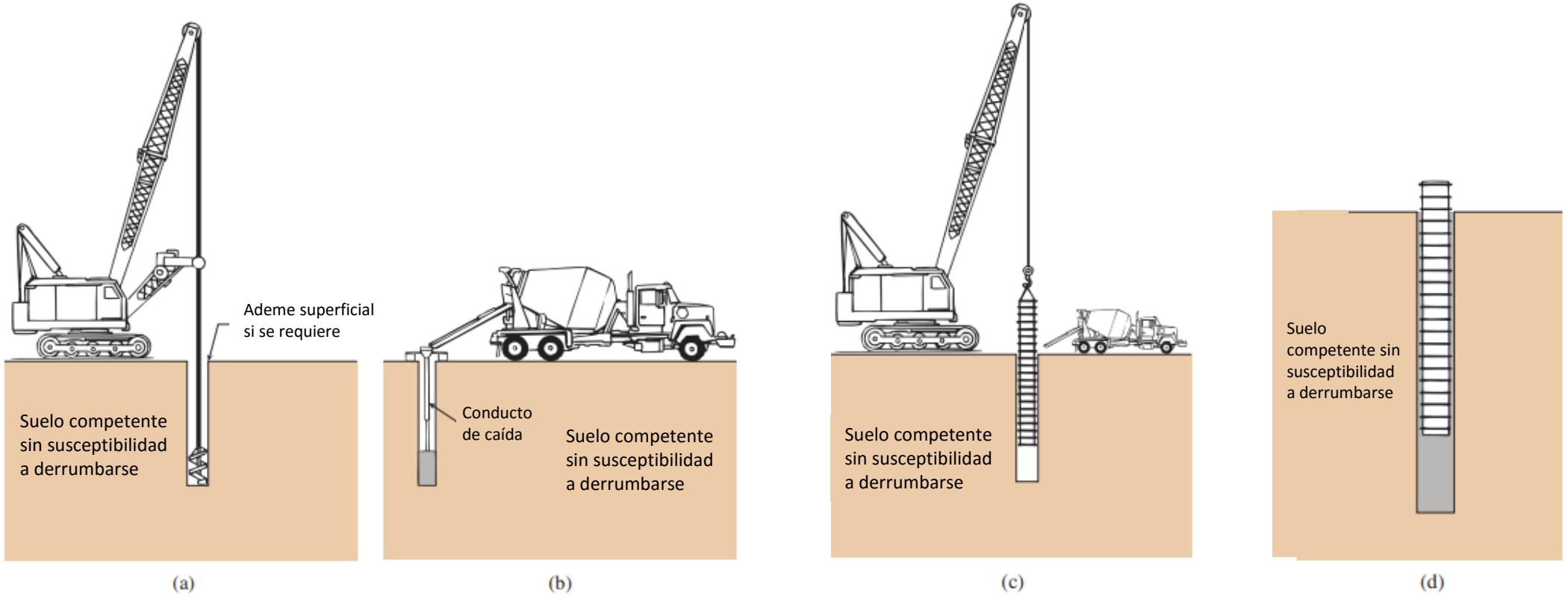
i) cimentaciones en lugares marinos



(j) protección de estribos o navegación auxiliar.

Procedimientos de Construcción

Método de Construcción Seco



Perforación inicial

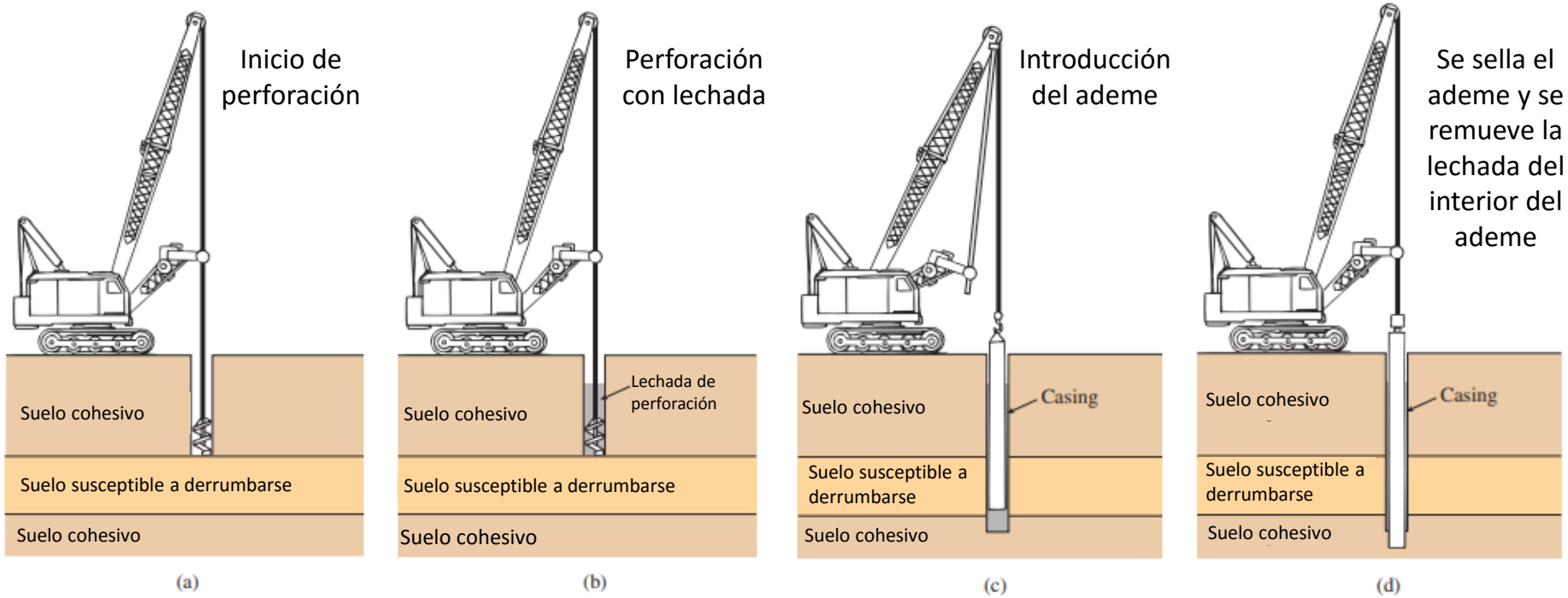
Inicio del vertido de concreto

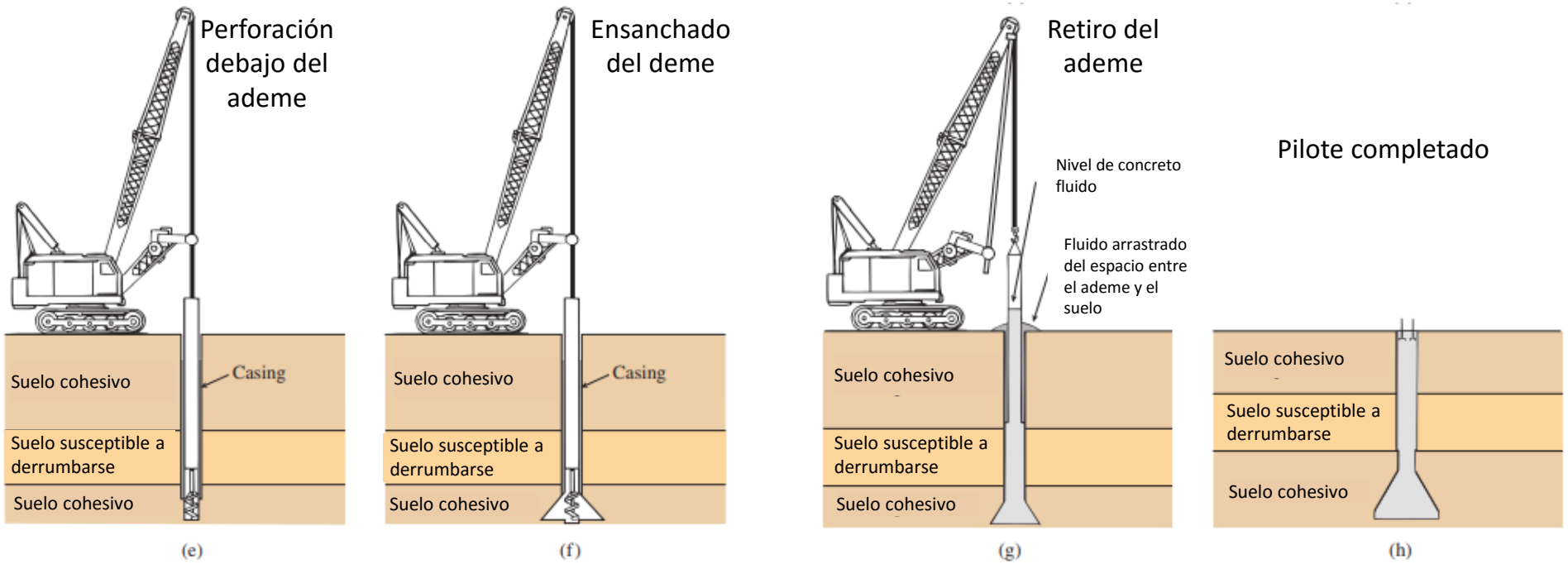
Colocación de la jaula de varillas de refuerzo

Pilote completado

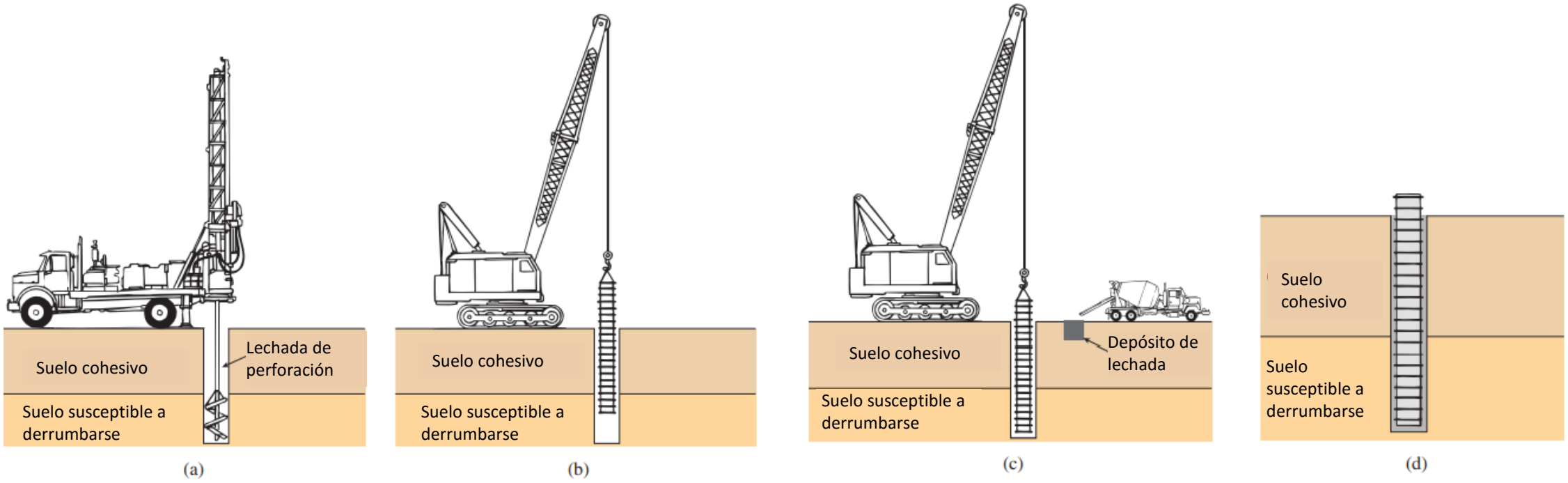
(Según O'Neill y Reese, 1999)

Método de Construcción con Ademe





Método de Construcción Húmedo



Perforación hasta la profundidad total con lechada

Colocación de la jaula de varillas de refuerzo

Vertido de concreto

Pilote completado

(Según O'Neill y Reese, 1999)

Análisis de Cimentación con Pilotes Perforados

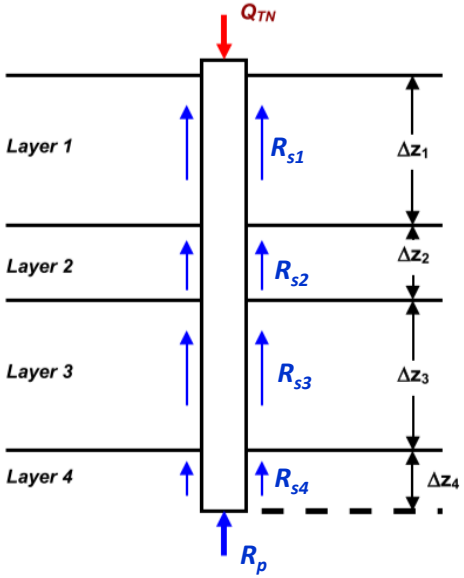
Estimación de Resistencia en Suelos Cohesivos

Resistencia Nominal Lateral del Pilote Perforado (Rs)

Para condiciones No Drenadas:

$R_s = q_s A_s$ ➡ $R_s = (q_s)\pi D \Delta z$

q_s = Resistencia unitaria lateral (kPa)
D = diámetro del pilote perforado (m)
Δz = espesor del estrato del suelo sobre la que se calcula la resistencia (m)



**Cuando es utilizado casing permanente, la resistencia lateral se ajustará considerando el tipo, longitud y forma de instalación*

Resistencia unitaria lateral (friccional) (q_s):

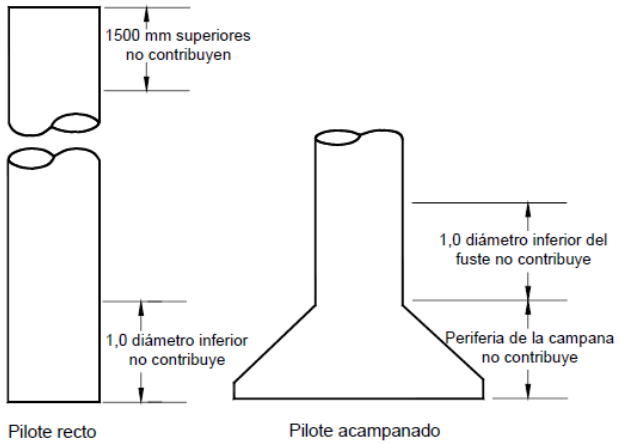
Método ∝ : $q_s = \alpha Su$

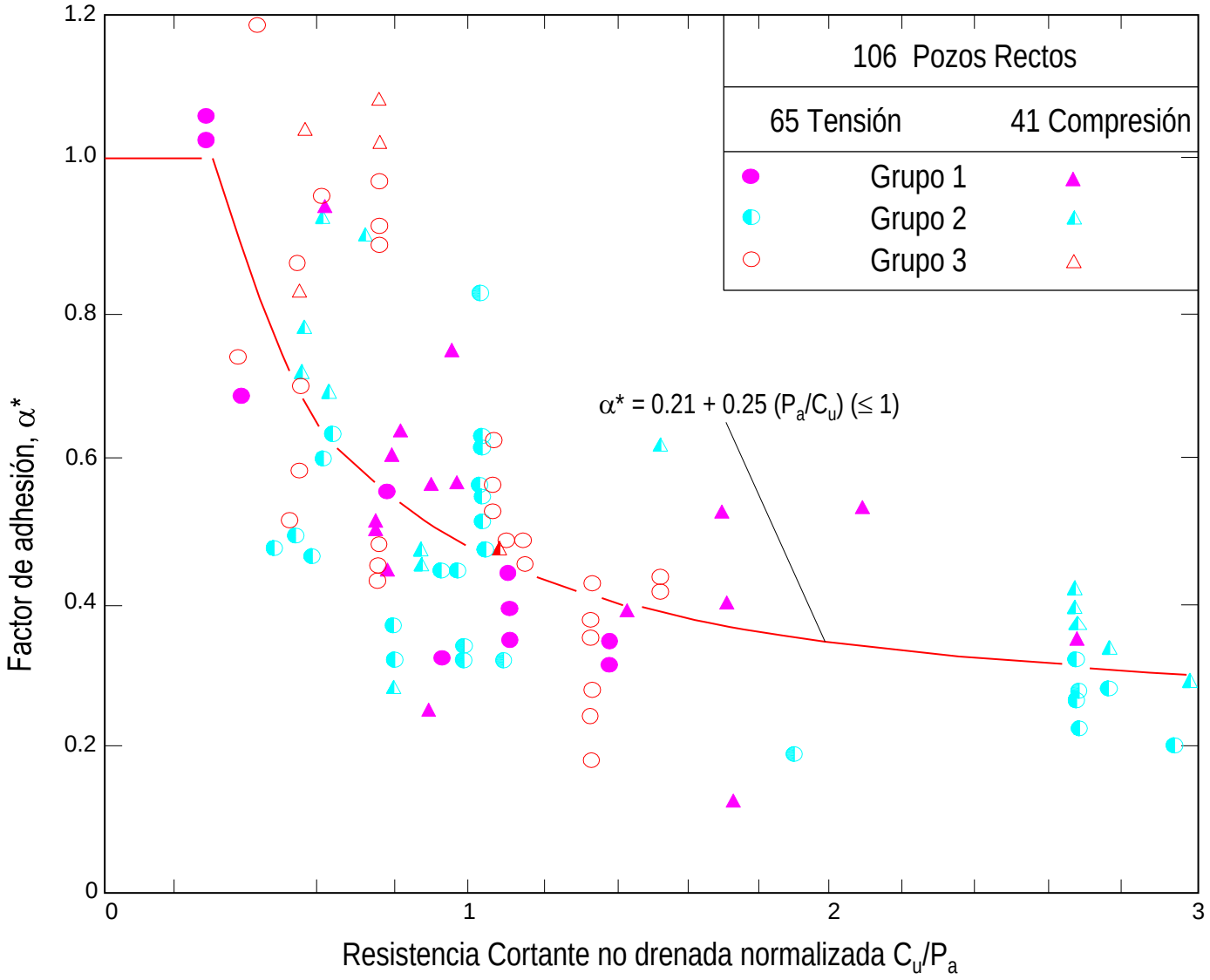
$\alpha = 0.55$ (Para $S_u/P_a \leq 1.5$)

$\alpha = 0.55 - 0.1\left(\frac{S_u}{P_a} - 1.5\right)$ (Para $1.5 < S_u/P_a \leq 2.5$)

S_u = resistencia no drenada (kPa)
∝ = Factor de adherencia
P_a = Presión atmosférica (101 kPa)

Las siguientes porciones no contribuyen al desarrollo de la resistencia a través de la superficie lateral : ➡





VARIACIÓN DE α^* CON C_u/Pa (Kulhawy y Jackson, 1989)

Resistencia Nominal de Punta del Pilote Perforado (Rp)

Para condiciones No Drenadas:

$R_p = q_p A_p$ → $R_p = (q_p)\frac{\pi D^2}{4}$

q_p = Resistencia unitaria de punta (kPa)
D = diámetro del pilote perforado (m)

Resistencia unitaria de punta del pilote (q_p):

$$q_p = N_c . S_u \quad \leq 3830 \text{ kPa}$$

Brown et al (2010)

Donde:

$$N_c = 6\left[1 + 0.2\frac{Z}{D}\right] \leq 9$$

D = Diámetro del pilote perforado (m)
z = penetración del pilote perforado (m)
S_u = resistencia no drenada (kPa)

El valor de S_u debe ser determinado a partir de resultados de ensayos in situ y/o laboratorio de muestras inalteradas obtenidas dentro de 2 veces el diámetro debajo de la punta del pilote perforado. Si S_u < 24 kPa, el valor de N_c debe ser multiplicado por 0.67

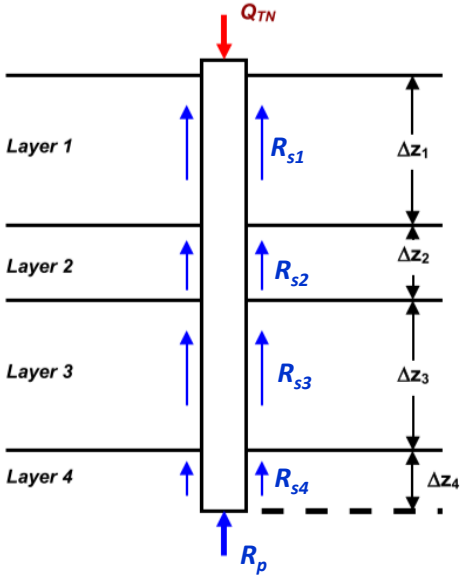
Estimación de Resistencia en Suelos No Cohesivos

Resistencia Nominal Lateral del Pilote Perforado (Rs)

Para condiciones Drenadas:

$R_s = q_s A_s$ → $R_s = (q_s)\pi D \Delta z$

q_s = Resistencia unitaria lateral (kPa)
D = diámetro del pilote perforado (m)
Δz = espesor del estrato del suelo sobre la que se calcula la resistencia (m)



**Cuando es utilizado casing permanente, la resistencia lateral se ajustará considerando el tipo, longitud y forma de instalación*

Resistencia unitaria lateral (friccional) (q_s):

Método β : $q_s = \beta\, \sigma'_v$

$$\beta = (1 - sen\, \phi'_f)\left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_v}\right)^{sen\phi'_f} \tan \phi'_f$$

β = Coeficiente de transferencia de carga
ϕ'_f = ángulo de fricción del estrato de suelo no cohesivo
σ'_p = Esfuerzo de preconsolidación vertical efectivo (kPa)
σ'_v = Esfuerzo vertical efectivo a media profundidad del estrato (kPa)

$$\phi'_f = 27.5 + 9.2 \log[(N_1)_{60}]$$

$(N_1)_{60}$ = Número de golpes del SPT corregidos por esfuerzo de sobrecarga efectivo

Para arenas: $\frac{\sigma'_p}{P_a} = 0.47\,(N_{60})^m$

m = 0.6 Para arenas cuarcíticas limpias
m = 0.8 para arena limosa a limos arenosos
P_a = Presión atmosférica (101 kPa)

Para suelo gravosos: $\frac{\sigma'_p}{P_a} = 0.15\,(N_{60})$

Resistencia Nominal de Punta del Pilote Perforado (Rp)

Para condiciones Drenadas:

$R_p = q_p A_p$ ➡ $R_p = (q_p)\frac{\pi D^2}{4}$

q_p = Resistencia unitaria de punta

D = diámetro del pilote perforado

Resistencia unitaria de punta del pilote (q_p):

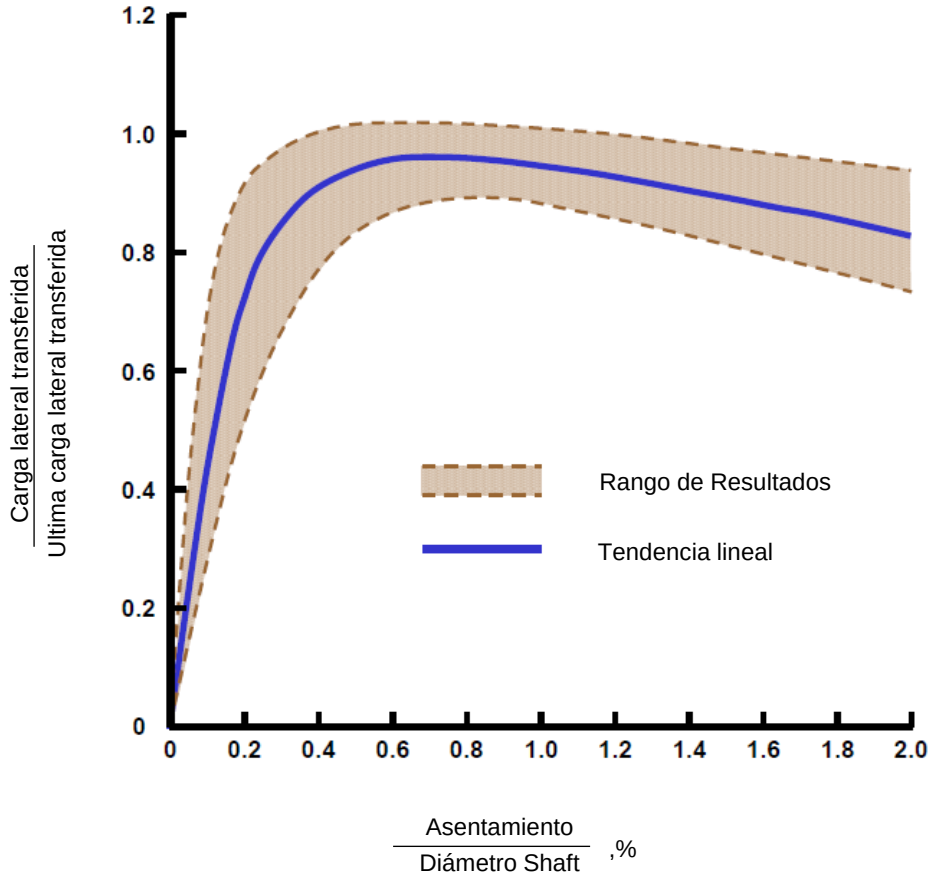
Si $N_{60} \leq 50$, entonces : $q_p = 57.5N_{60}$ < 2900 kPa

Donde:

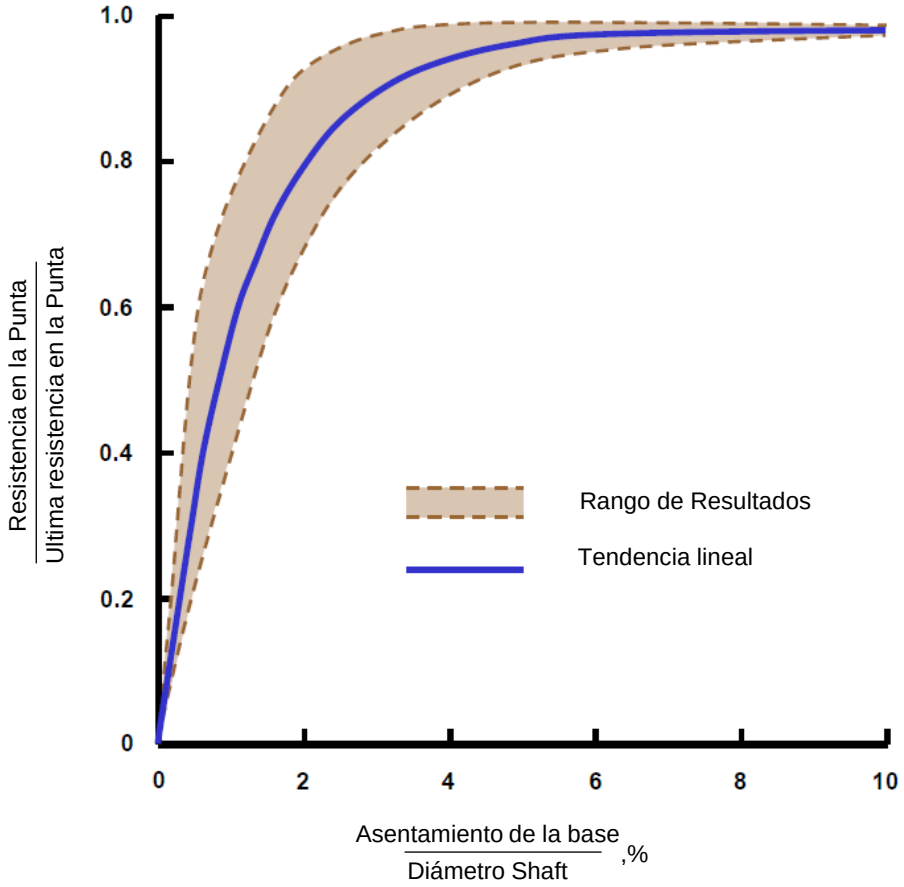
N_{60} = Número de golpes promedio del SPT (corregidos solamente por eficiencia del martillo en la zona de diseño, bajo consideración)

El valor de q_p será limitado a 2900 Mpa, a no ser que valores más grandes puedan estar justificados mediante pruebas de carga.

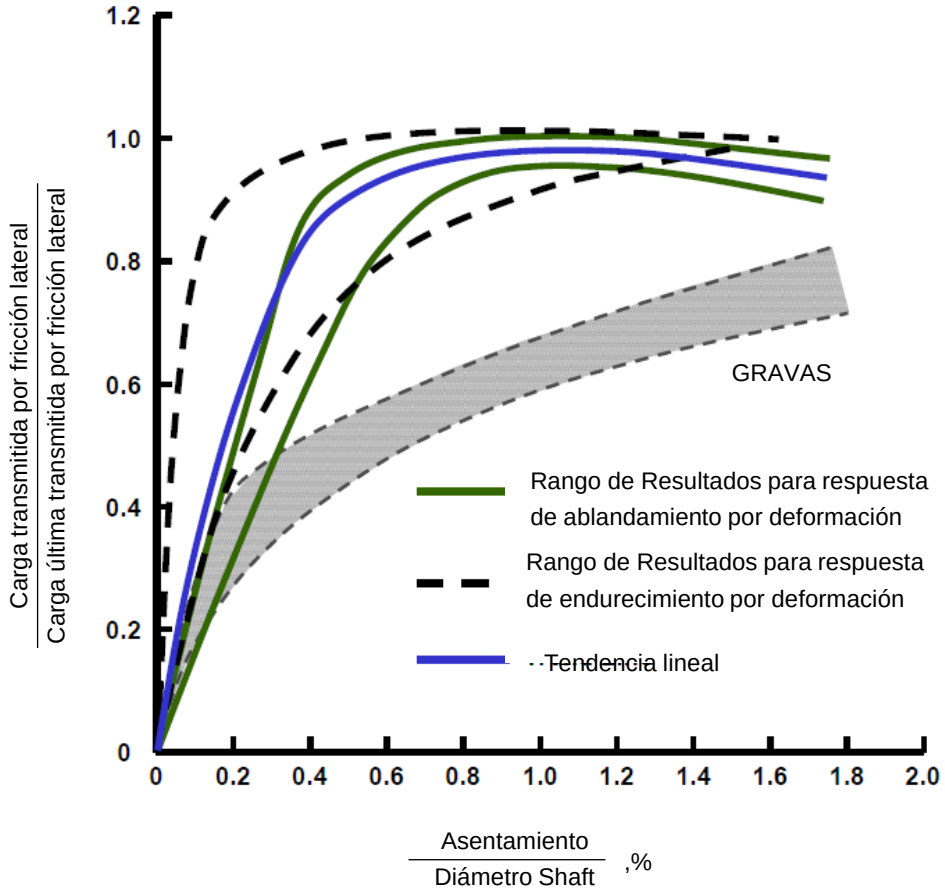
Cálculo de Asentamientos



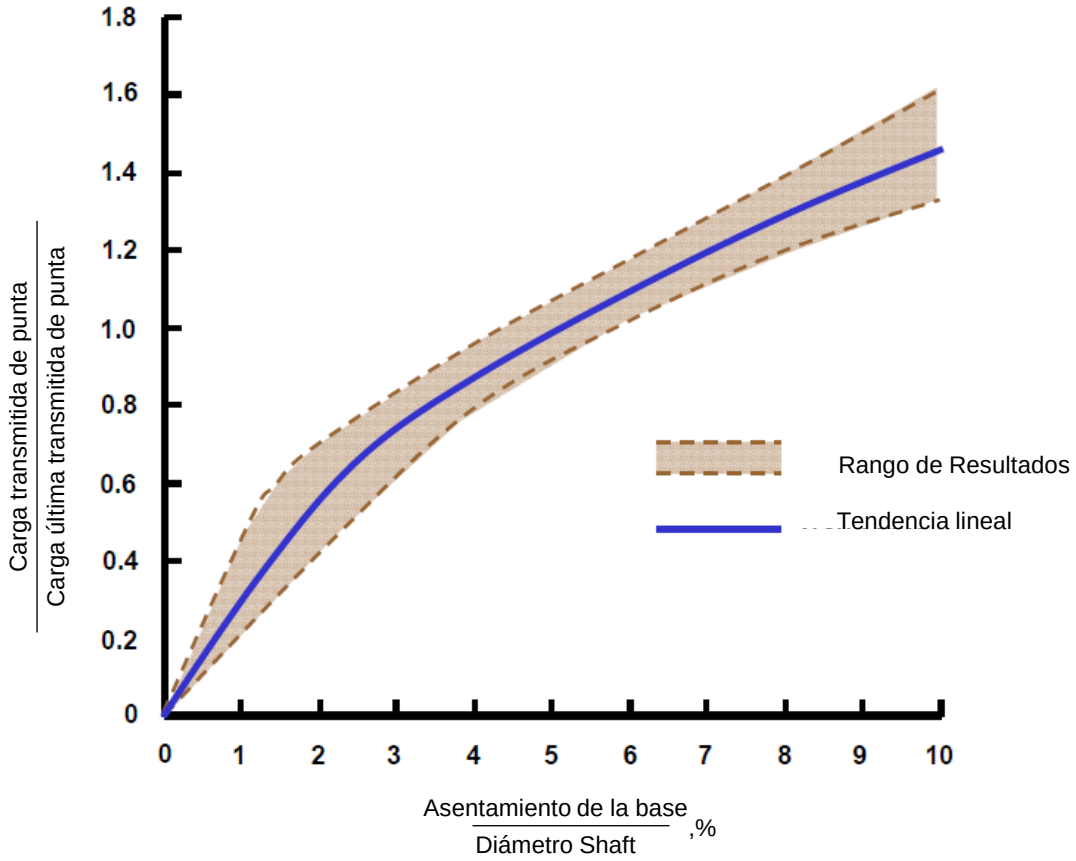
Transferencia de carga por fricción lateral (normalizada) en función del asentamiento en suelos cohesivos (Reese y O'Neill, 1999)



Transferencia de carga de punta (normalizada) en función del asentamiento en suelos cohesivos (Reese y O'Neill, 1999)



Transferencia de carga por fricción lateral (normalizada) en función del asentamiento en suelo no cohesivo (Reese y O'Neill, 1999)



Transferencia de carga de punta (normalizada) en función del asentamiento en suelo no cohesivo (Reese y O'Neill, 1999)

Cálculo de la Resistencia Factorizada o Capacidad de Carga Admisible

Método LRFD (Load and Resistance Factor Design)

$$R_R = \varphi_{qp} R_p + \varphi_{qs} R_s$$

$$R_p = q_p A_p \qquad R_s = q_s A_s$$

R_R = resistencia factorizada de pilotes perforados

R_p = resistencia nominal de punta del pilote

R_s = resistencia nominal lateral del pilote

q_p = resistencia unitaria de punta del pilote

q_s = resistencia unitaria lateral

A_s = área superficial del fuste del pilote

A_p = área de la punta del pilote

φ_{qp} = factor de resistencia por punta (especificado en Tabla N° 10.5.5.2.4-1, AASHTO LRFD 2017)

φ_{qs} = factor de resistencia lateral (especificado en Tabla N° 10.5.5.2.4-1, AASHTO LRFD 2017)

Factores de Resistencia para el Estado Límite de Resistencia

Method/Soil/Condition			Resistance Factor
Nominal Axial Compressive Resistance of Single-Drilled Shafts, φ_{stat}	Side resistance in clay	α-method (Brown et al., 2010)	0.45
	Tip resistance in clay	Total Stress (Brown et al., 2010)	0.40
	Side resistance in sand	β-method (Brown et al., 2010)	0.55
	Tip resistance in sand	Brown et al. (2010)	0.50
	Side resistance in cohesive IGMs	Brown et al. (2010)	0.60
	Tip resistance in cohesive IGMs	Brown et al. (2010)	0.55
	Side resistance in rock	Kulhawy et al. (2005) Brown et al. (2010)	0.55
	Side resistance in rock	Carter and Kulhawy (1988)	0.50
	Tip resistance in rock	Canadian Geotechnical Society (1985) Pressuremeter Method (Canadian Geotechnical Society, 1985) Brown et al. (2010)	0.50
Block Failure, φ_{b1}	Clay		0.55
Uplift Resistance of Single-Drilled Shafts, φ_{up}	Clay	α-method (Brown et al., 2010)	0.35
	Sand	β-method (Brown et al., 2010)	0.45
	Rock	Kulhawy et al. (2005) Brown et al. (2010)	0.40
Group Uplift Resistance, φ_{ug}	Sand and clay		0.45
Horizontal Geotechnical Resistance of Single Shaft or Shaft Group	All materials		1.0
Static Load Test (compression), φ_{load}	All Materials		0.70
Static Load Test (uplift), φ_{upload}	All Materials		0.60

Tabla N° 10.5.5.2.4-1

Fuente: LRFD, 2017

Método ASD (Allowable Stress Design)

$$Q_{adm} = \frac{R_p + R_s}{FS}$$

FS = Factor de seguridad

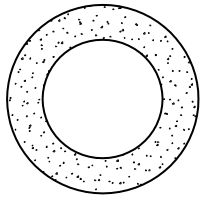
Cajones de Cimentación (Caissones)

Tipos de Cajones de Cimentación

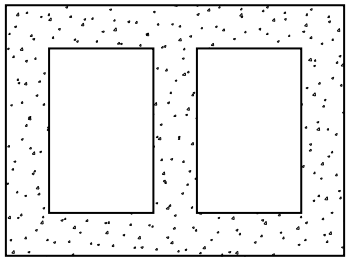
- Cajón Abierto
- Cajón Cerrado
- Cajón Neumático

Cajón Abierto

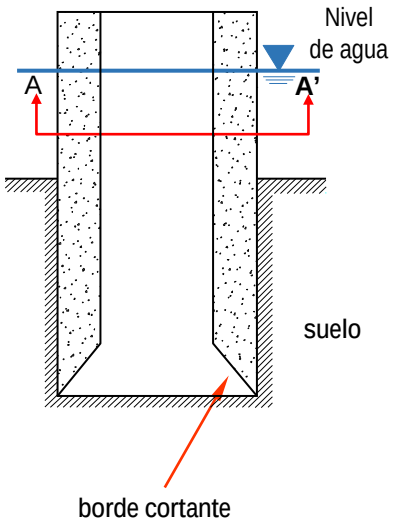
- Ductos de concreto que permanecen abiertos en las partes superior e inferior durante la construcción.
- En la parte inferior existe un borde cortante.
- El cajón se hunde hasta el estrato portante. El suelo del interior se extrae mediante baldes.
- Los cajones pueden ser circulares, cuadrados, rectangulares u ovalados.
- Una vez alcanzado el estrato portante, se vacía concreto bajo agua para formar un sello en el fondo.
- Con el sello endurecido se bombea el agua en el interior. Luego se llena el interior con concreto.
- Se puede lograr grandes profundidades a bajo costo.
- Una desventaja es la falta de control de calidad del concreto del sellado.
- Un método alternativo es usar tablestacas para formar una isla de arena.



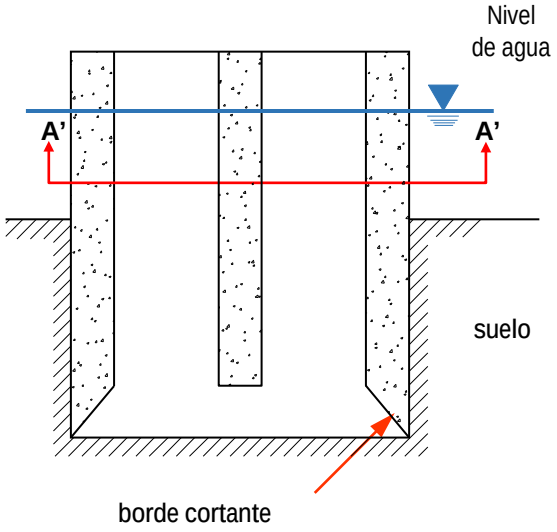
SECCION A-A´



SECCION A-A´



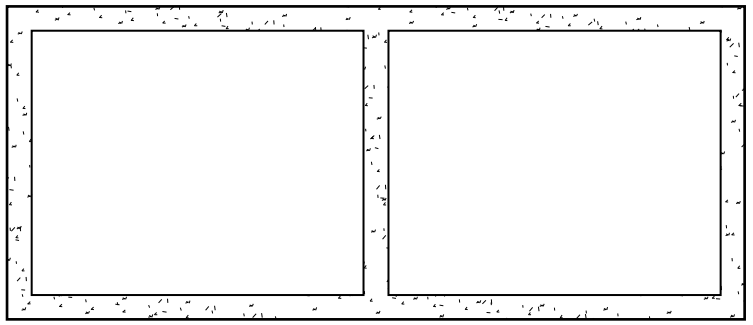
CAJÓN CIRCULAR



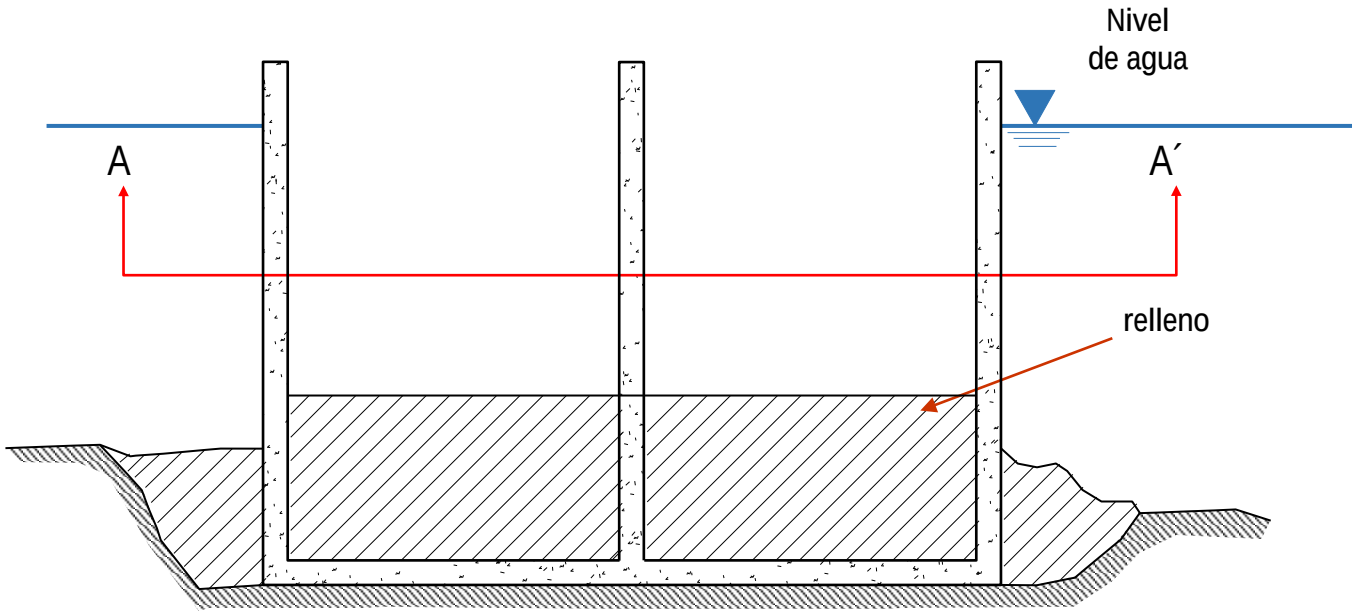
CAJÓN RECTANGULAR

Cajón Cerrado

- Este cajón tiene el fondo cerrado.
- Se construyen en tierra y luego se transportan al sitio.
- Se hunden gradualmente llenando el interior con arena, balasto o concreto.
- Su costo es bajo.
- El estrato portante debe ser horizontal o nivelado por excavación.

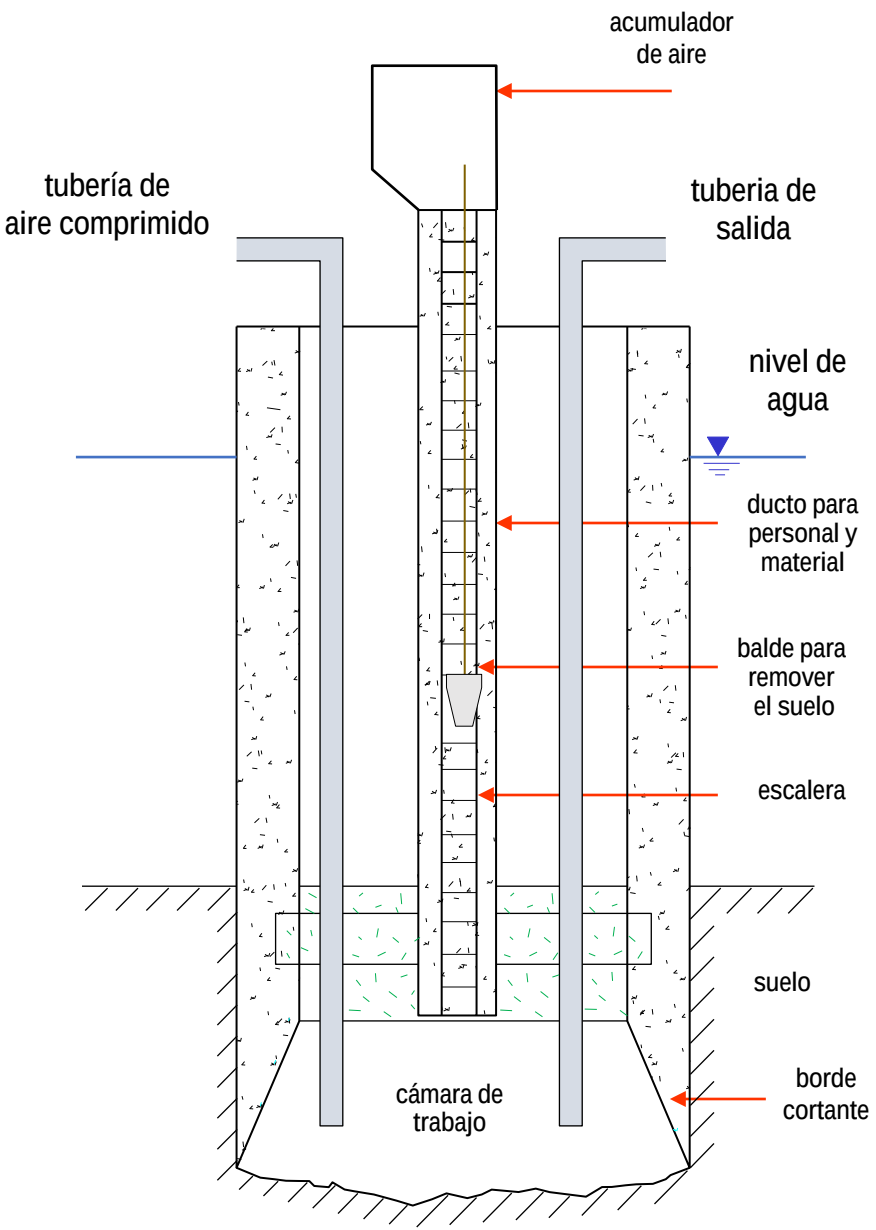


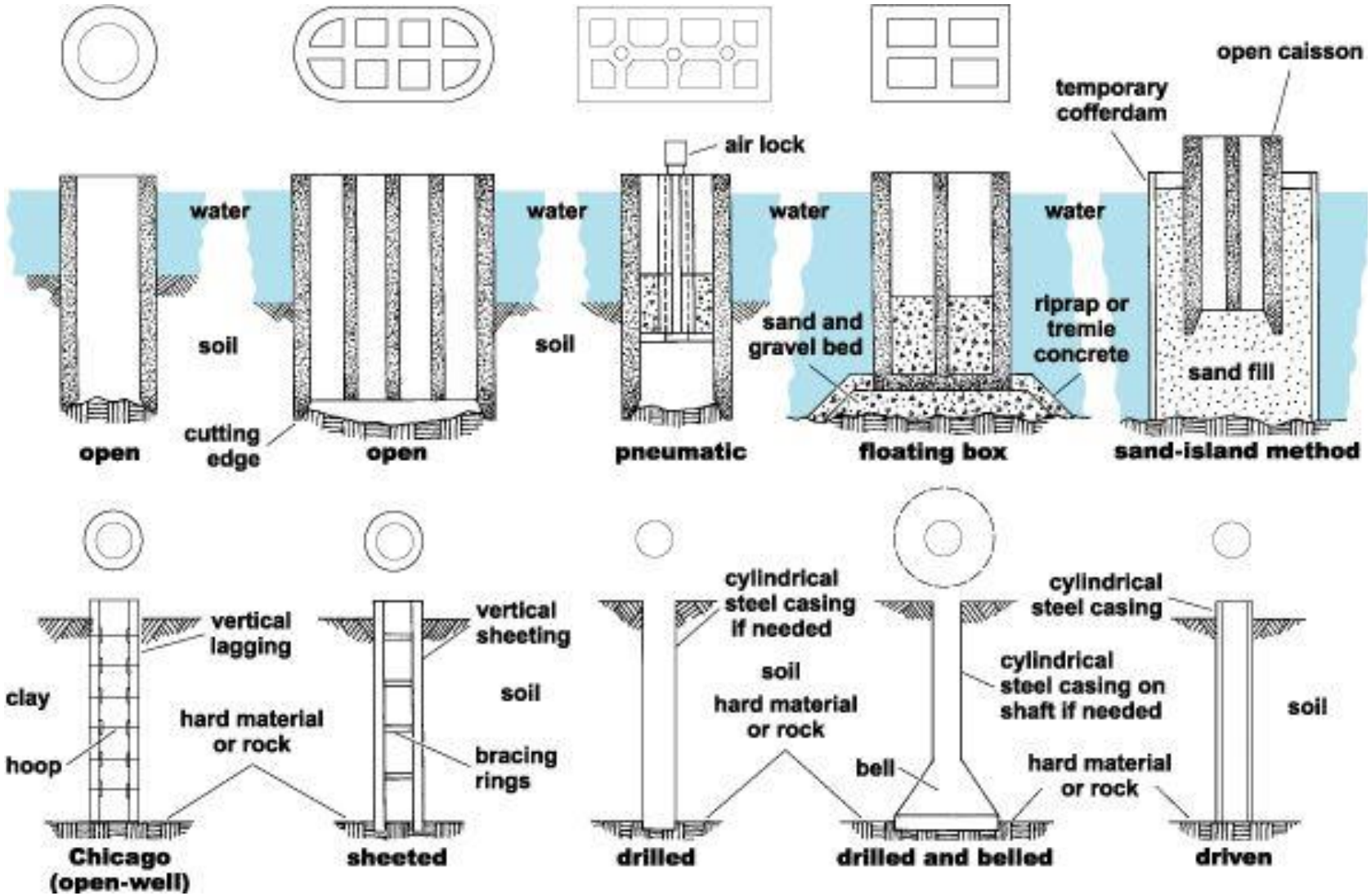
SECCION A-A´



Cajón Neumático

- Se utilizan para profundidades de 15 - 40 m. Cuando la excavación no puede mantenerse por el flujo de suelo.
- La cámara de trabajo tiene altura de 3 m y está bajo presión de aire para prevenir la entrada de suelo y agua.
- Hasta 15 psi (100 kN/m^2) no se requiere descompresión de trabajadores.
- Hasta 44 psi (300 kN/m^2) los trabajadores no pueden estar más de 2 horas, requiriéndose etapas de descompresión.
- Por el ducto bajan los trabajadores y sube el material de excavación.
- Pueden requerirse varios ductos con sus acumuladores de aire.





Tipos de cajones y diferentes formas de secciones

Análisis de la Cimentación con Cajones

Se presenta a continuación la metodología utilizada en el análisis de la capacidad portante y el asentamiento de la cimentación mediante cajones de cimentación (caissones) en puentes.

Capacidad de Carga en la Base del Cajón

La capacidad de carga en la base de **Suelos Cohesivos** es:

$$Q_B = A_B \, C_u \, N^*_c$$

Donde :

Q_B = capacidad de carga última del cajón en la base

A_B = área de la base

C_u = resistencia cortante no drenada

N^*_c = generalmente igual a 9

La capacidad de carga en la base de **Suelos Granulares** es:

Primera Metodología

$$Q_B = A_B \, \sigma'_v \, N^*_q$$

Donde :

Q_B = capacidad de carga última del cajón en la base

A_B = área de la base

σ'_v = esfuerzo efectivo vertical en la base

N^*_q = factor que depende del ángulo de fricción

Segunda Metodología

$$Q_B = A_B \left[\left(\frac{1 + 2K_0}{3} \right) N^*_\sigma \right] \sigma'_v$$

Donde :

A_B = área de la base

K_0 = coeficiente lateral de tierra = 1-sen ϕ'

ϕ' = ángulo de fricción interna

σ'_v = esfuerzo efectivo vertical en la base

El valor de N^*_σ se calcula en base al ángulo de fricción del terreno y el valor de I_{rr}

$$I_{rr} = \frac{E_s}{2(1+u)\sigma'_v \, tg\phi'}$$

Donde :

E_s = módulo de elasticidad

u = coeficiente de Poisson

I_{rr} = índice de rigidez reducido para el suelo

De las metodologías se escoge el menor valor.

Capacidad de Carga por Fricción en las Paredes

Suelos Cohesivos

$$Q_s = \sum_{0}^{L_1} \propto C_u \; p \, \Delta L$$

Donde :

Q_s = capacidad de carga última por fricción

$\propto$ = coeficiente que varía de 0.35 a 0.60

C_u = resistencia no drenada

p = perímetro del cajón

ΔL = tramo longitudinal analizado

Suelos Granulares

$$Q_s = \int_{L=0}^{L=L} p K_o \sigma'_v \; tg\delta \; \Delta L$$

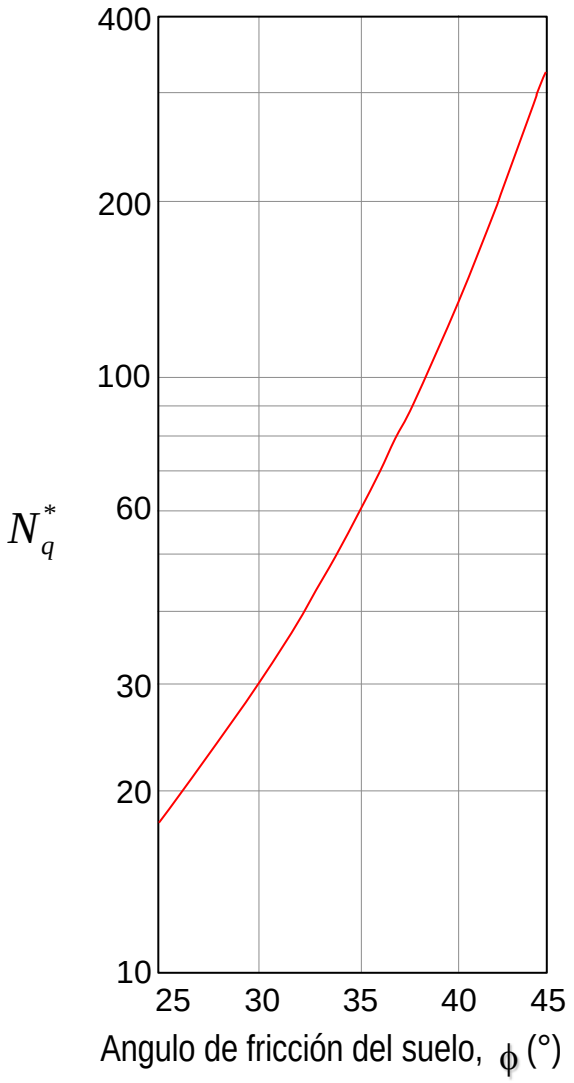
Donde :

K_o = coeficiente lateral de reposo = 1-senϕ'

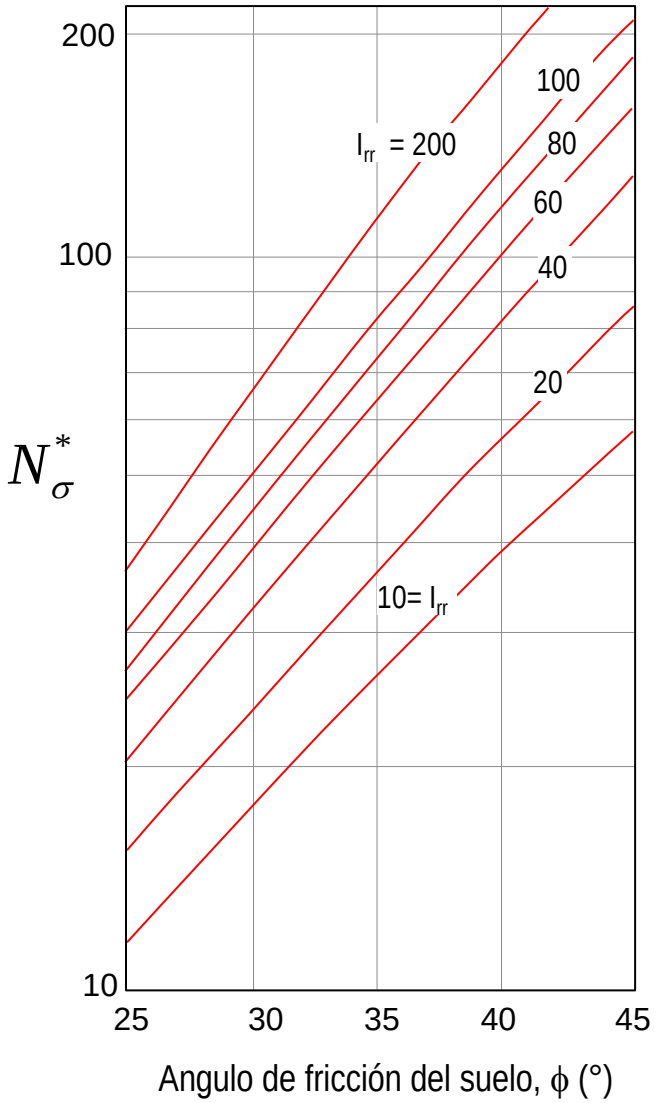
σ'_v = esfuerzo efectivo vertical a la profundidad Z

δ = 2/3 ϕ'

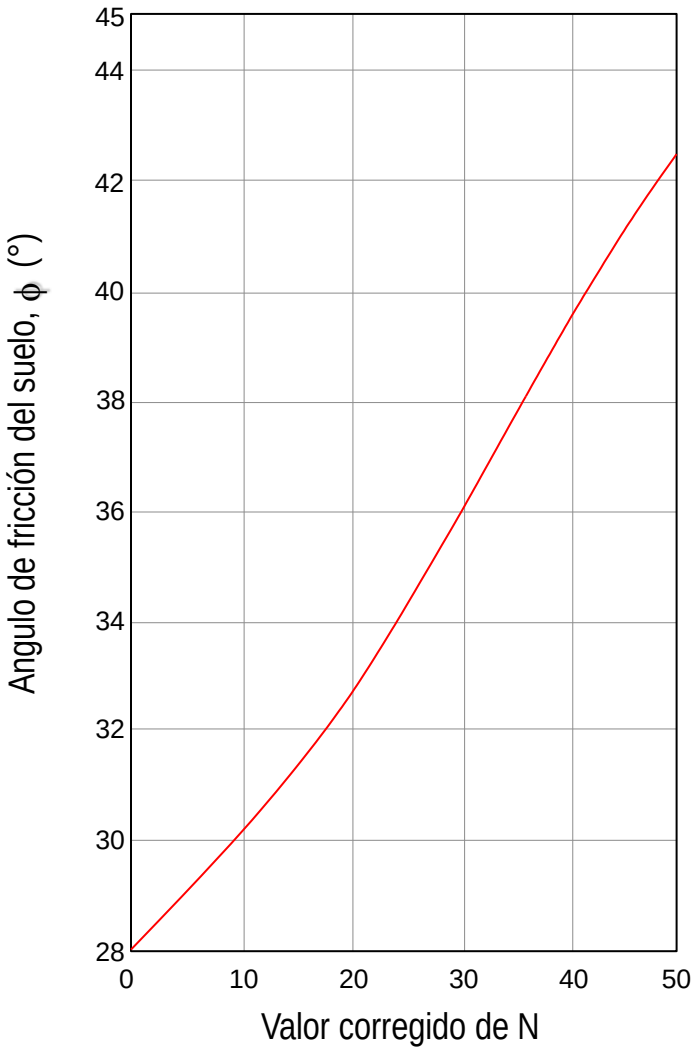
ΔL = tramo longitudinal analizado



Factor de capacidad portante N_q* de Vesic para cimentaciones profundas



Factor de capacidad de carga de Vesic, N_σ^*



Correlación entre el valor corregido de N y ϕ

Cálculo de la Capacidad Admisible

La capacidad admisible viene dada por la expresión:

$$Q_{ad} = \frac{Q_B + Q_S}{FS}$$

Donde :

Q_{ad} = capacidad admisible

Q_B = capacidad de carga última del cajón en la base

Q_s = capacidad de carga última por fricción

FS = factor de seguridad

Cálculo de Asentamientos

El asentamiento de un cajón bajo carga axial de trabajo viene dado por la siguiente expresión:

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3$$

Donde :

S_t = asentamiento total del cajón

S_1 = asentamiento por deformación axial

S_2 = asentamiento por carga de trabajo en la base

S_3 = asentamiento por carga de fricción

Asentamiento por Deformación Axial

$$S_i = \frac{(Q_{Bad} + \alpha\, Q_{Sad})\, L}{A_B\, E_c}$$

Donde :

Q_{Bad} = capacidad admisible en la base
Q_{Sad} = capacidad admisible por fricción
A_B = área de la base del cajón
α = coeficiente de distribución de presión lateral
E_c = módulo de Young del concreto
L = longitud del cajón

Asentamiento por Carga de Trabajo en la Base

$$S_2 = \frac{q_B\, B}{E_S}(1 - u^2)\, I_w\, I_p$$

Donde :

q_B = carga unitaria admisible en la base
B = lado del cajón
E_S = módulo de Young del suelo
u = relación de Poisson del suelo
I_w = factor de influencia de capa rígida
I_p = factor de influencia de profundidad de cimentación

Asentamiento por Carga de Fricción

$$S_3 = \frac{Q_{Sad}}{pL}\,\frac{B}{E_S} + (1 - u^2)\, I_f$$

Donde :

Q_{Sad} = capacidad de carga por fricción
p = perímetro del cajón
B = lado del caijón
I_f = factor de influencia

$$I_f = 2 + 0.35\sqrt{\frac{L}{B}}$$

Cálculo del Espesor del Sello de Concreto en Cajones Abiertos

$$t = 1.18\ Ri\sqrt{\frac{q}{fc}}$$ (cajón circular)

$$t = 0.866\,Bi\sqrt{\frac{q}{fc\left[1+1.61\left(\frac{Li}{Bi}\right)\right]}}$$ (cajón rectangular)

Donde:

R_i = radio interior del cajón circular

q = presión unitaria en la base del cajón

f_c = esfuerzo permisible del concreto a la flexión (0.1 - 0.2 f´c)

B_i = ancho interior del cajón rectangular

L_i = largo interior del cajón rectangular

$$q = H\gamma_w - t\,\gamma_c$$

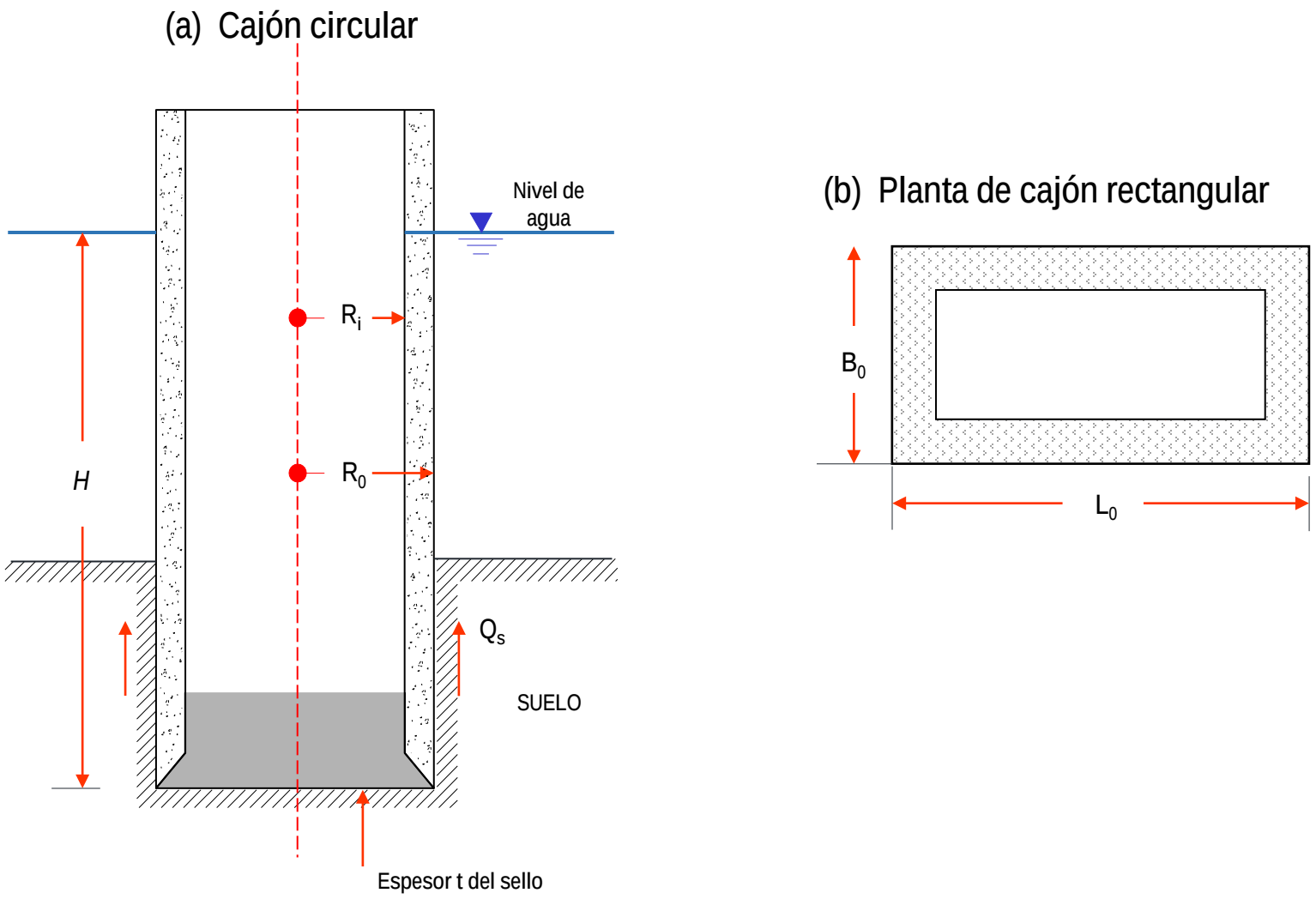
Donde :

γ_w = peso volumétrico del agua

H = altura del nivel freático

γ_c = peso volumétrico del concreto

t = espesor de la capa de suelo



Espesor del Sello de Concreto en Cajones Abiertos

Verificación de Corte Perimetral en el Contacto

$$v = \frac{A_i H \gamma_w - A_i t \gamma_c}{p_i \ t}$$

Donde : p_i = perímetro interior del cajón

$2\pi R_i$ (cajón circular)

$2 (L_i + B_i)$ (cajón rectangular)

A_i= área interior del cajón

$\pi \ R_i^2$ (cajón circular)

$L_i \ B_i$ (cajón rectangular)

La resistencia perimetral debe ser menor que el esfuerzo cortante permisible (v_u)

$$v_u \ (MN/m^2) = 0.17 \phi \sqrt{f'c (MN/m^2)}$$

Donde : $\phi = 0.85$

Verificación por Subpresión

Si el cajón se desagua completamente, las fuerzas de subpresión hacia arriba (Fu) pueden calcularse:

$$Fu = (\pi R^2_o)\ H\ \gamma_w \qquad \text{(cajón circular)}$$

$$Fu = (B_o\ L_o)\ H\ \gamma_w \qquad \text{(cajón rectangular)}$$

La fuerza hacia abajo (Fd) es causada por el peso del cajón, la capa de sello de espesor t y la resistencia a la fricción lateral en la interfase cajón-suelo (Q_s), luego:

$$Fd = W_c + W_s + Q_s$$

Donde :

W_c = peso del cajón

W_s = peso de la capa de sello

Q_s = resistencia a la fricción lateral

F_d debe ser mayor que Fu, en caso contrario, aumentar el espesor del sello

$$\Delta t = \frac{Fu - Fd}{A_i\ \gamma_c}$$

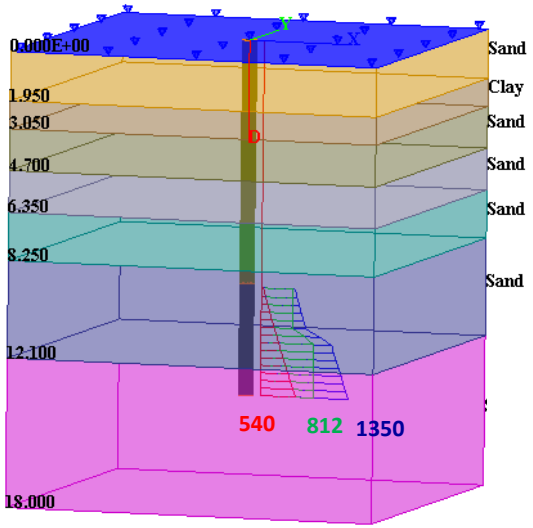
Evaluación de la Cimentación del Puente Ñácara con el Programa SHAFT 2017

Con propósitos ilustrativos se ha realizado el análisis de la cimentación del Puente Ñácara considerando el uso de pilotes perforados, correspondientes a la zona de los pilares y el estribo izquierdo. La evaluación se realizó mediante el programa SHAFT 2017, con la metodología ASD para un factor de seguridad de 2.5 y el método LRFD. Los cálculos fueron realizados con los datos de los sondajes 1, 2, 3 y 4, considerando 9.60 m de socavación en los 3 primeros sondajes y la posición del nivel freático en la superficie. En el caso del sondaje 4 se consideró una socavación de 5.6 m debido a que a esa profundidad se encontró material más competente.

Se obtuvieron las capacidades de carga alcanzadas para pilotes perforados de 0.6 , 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro, hasta los 14 m de profundidad.

Adicionalmente, se realizaron cálculos para cajones de cimentación de 2.7 m de diámetro y 14 m de profundidad, que son equivalentes en área a los cajones rectangulares existentes.

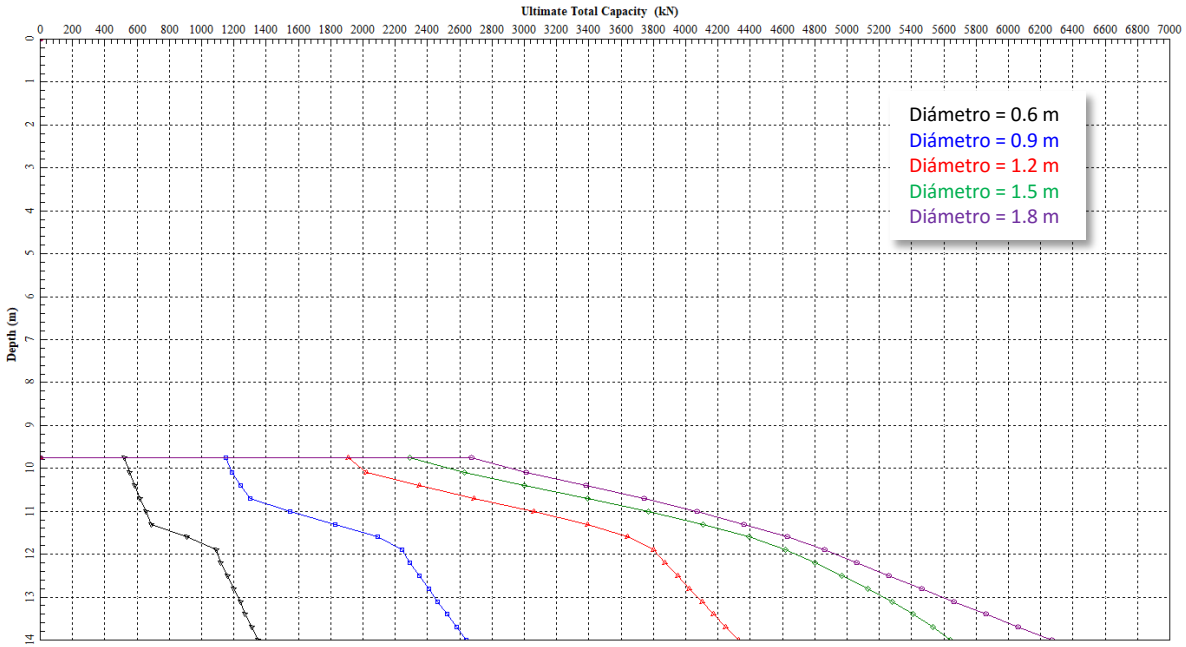
SONDAJE 1



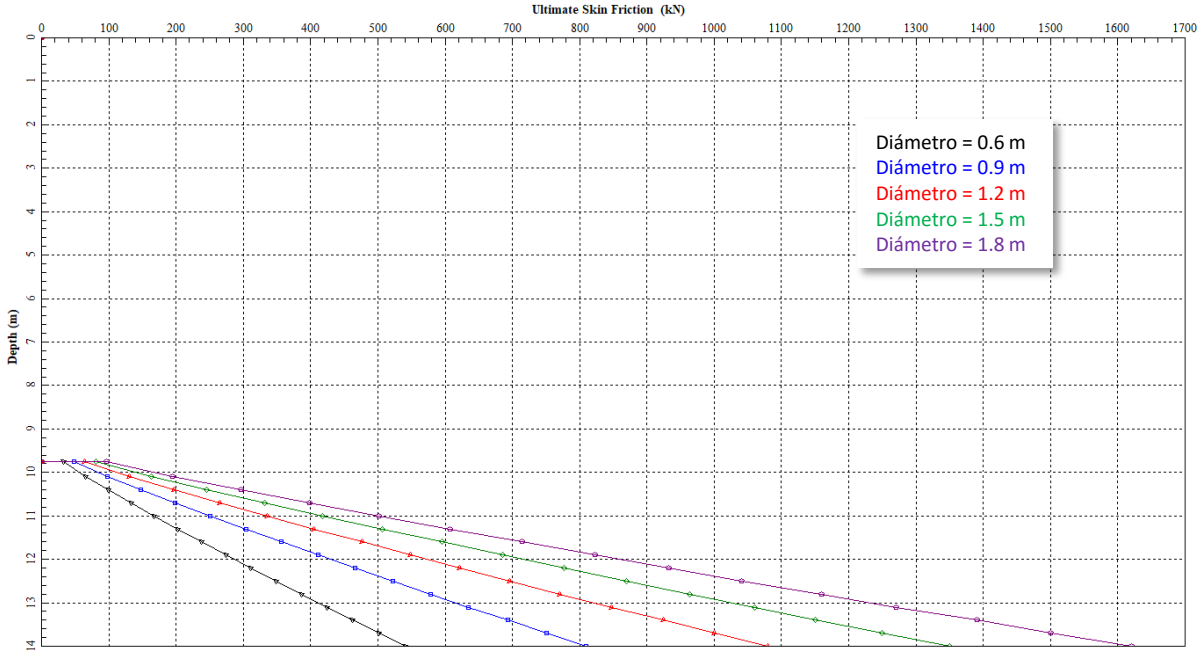
Resistencia última correspondiente a pilote de ∅=0.6 m

Skin Friction
Tip resistance
Total Resistance

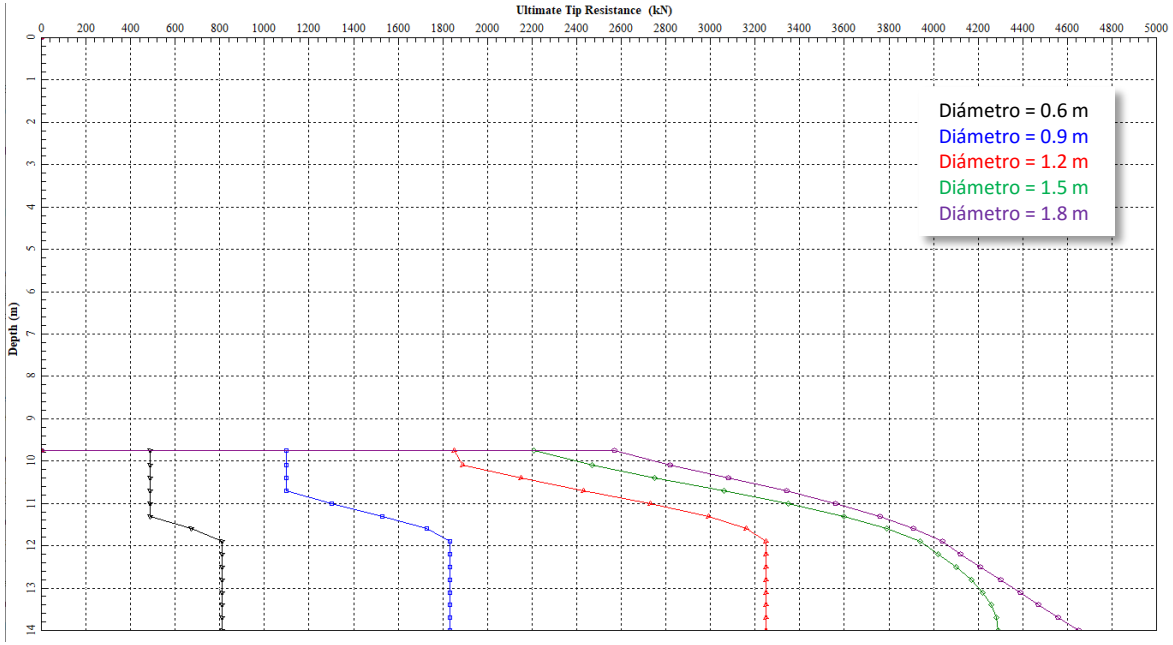
Resistencia total última vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Resistencia lateral última vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Resistencia por punta vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Método ASD
(Allowable Stress Design)

SONDAJE 1

```
QS     = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB     = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT     = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (FOR UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU     = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
QBD    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING A FACTOR OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE;
QDN    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING FACTORS OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE AND
         THE ULTIMATE BASE RESISTANCE.
```

FS = 2.5

Pilote Perforado de 0.60 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	2.8	58.8	487.4	546.2	253.8	218.5	193.12
10.5	3.0	113.9	487.4	601.3	308.8	240.5	202.46
11.0	3.1	170.4	487.4	657.8	365.4	263.1	211.45
11.5	3.3	228.4	622.8	851.2	477.5	340.5	261.41
12.0	3.4	287.7	812.4	1100.0	612.6	440.0	324.13
12.5	3.5	348.3	812.4	1160.7	673.3	464.3	328.35
13.0	3.7	410.3	812.4	1222.7	735.3	489.1	332.57
13.5	3.8	473.2	812.4	1285.6	798.2	514.3	336.73
14.0	4.0	537.0	812.4	1349.4	861.9	539.7	340.81

Pilote Perforado de 0.90 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	6.4	88.2	1096.7	1184.9	526.9	474.0	186.21
10.5	6.7	170.8	1096.7	1267.5	609.5	507.0	189.70
11.0	7.0	255.6	1316.8	1572.4	782.3	628.9	224.57
11.5	7.3	342.6	1674.2	2016.8	1012.3	806.7	275.46
12.0	7.6	431.5	1827.9	2259.4	1162.6	903.7	295.90
12.5	8.0	522.5	1827.9	2350.4	1253.6	940.1	295.50
13.0	8.3	615.5	1827.9	2443.4	1346.7	977.4	295.38
13.5	8.6	709.9	1827.9	2537.7	1441.0	1015.1	295.43
14.0	8.9	805.4	1827.9	2633.3	1536.6	1053.3	295.60

Pilote Perforado de 1.20 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	11.3	117.6	1882.2	1999.8	870.5	799.9	176.77
10.5	11.9	227.7	2275.2	2502.9	1137.8	1001.2	210.56
11.0	12.4	340.8	2750.1	3090.9	1440.8	1236.3	248.35
11.5	13.0	456.8	3116.0	3572.8	1703.2	1429.1	274.58
12.0	13.6	575.3	3249.5	3824.9	1875.1	1529.9	281.78
12.5	14.1	696.7	3249.5	3946.2	1996.5	1578.5	279.08
13.0	14.7	820.7	3249.5	4070.2	2120.5	1628.1	276.79
13.5	15.3	946.5	3249.5	4196.0	2246.3	1678.4	274.77
14.0	15.8	1073.9	3249.5	4323.5	2373.8	1729.4	273.00

Pilote Perforado de 1.50 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	17.7	147.0	2416.1	2563.1	1113.4	1025.2	144.94
10.5	18.6	284.7	2888.5	3173.2	1440.1	1269.3	170.86
11.0	19.4	426.0	3376.0	3802.0	1776.4	1520.8	195.52
11.5	20.3	571.0	3741.5	4312.5	2067.6	1725.0	212.12
12.0	21.2	719.1	3967.9	4687.0	2306.3	1874.8	220.96
12.5	22.1	870.8	4101.9	4972.7	2511.6	1989.1	225.07
13.0	23.0	1025.9	4201.2	5227.0	2706.3	2090.8	227.48
13.5	23.9	1183.1	4264.0	5447.1	2888.7	2178.9	228.28
14.0	24.7	1342.4	4292.4	5634.8	3059.4	2253.9	227.72

Pilote Perforado de 1.80 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	25.5	176.4	2769.9	2946.3	1284.4	1178.5	115.71
10.5	26.7	341.6	3197.3	3538.9	1620.5	1415.6	132.35
11.0	28.0	511.2	3581.3	4092.4	1943.7	1637.0	146.16
11.5	29.3	685.2	3871.4	4556.6	2233.8	1822.6	155.65
12.0	30.5	863.0	4069.6	4932.6	2490.8	1973.0	161.48
12.5	31.8	1045.0	4212.9	5257.9	2730.2	2103.2	165.26
13.0	33.1	1231.0	4356.2	5587.2	2973.5	2234.9	168.85
13.5	34.4	1419.7	4499.5	5919.3	3219.5	2367.7	172.26
14.0	35.6	1610.9	4642.8	6253.7	3468.0	2501.5	175.50

Método LRFD

(Load and Resistance Factor Design)

SONDAJE 1

```
QS      = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB      = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT      = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU      = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
LRFD QS = TOTAL SIDE FRICTION USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
LRFD QB = TOTAL BASE BEARING USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE
LRFD QU = TOTAL CAPACITY WITH LRFD RESISTANCE FACTOR.
```

Factor de resistencia de punta: φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral: φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

Pilote Perforado de 0.60 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	2.8	58.8	487.4	546.2	32.3	243.7	276.05
10.5	3.0	113.9	487.4	601.3	62.6	243.7	306.34
11.0	3.1	170.4	487.4	657.8	93.7	243.7	337.43
11.5	3.3	228.4	622.8	851.2	125.6	311.4	437.04
12.0	3.4	287.7	812.4	1100.0	158.2	406.2	564.40
12.5	3.5	348.3	812.4	1160.7	191.6	406.2	597.78
13.0	3.7	410.3	812.4	1222.7	225.7	406.2	631.88
13.5	3.8	473.2	812.4	1285.6	260.3	406.2	666.48
14.0	4.0	537.0	812.4	1349.4	295.3	406.2	701.53

Pilote Perforado de 0.90 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	6.4	88.2	1096.7	1184.9	48.5	548.4	596.87
10.5	6.7	170.8	1096.7	1267.5	93.9	548.4	642.30
11.0	7.0	255.6	1316.8	1572.4	140.6	658.4	798.97
11.5	7.3	342.6	1674.2	2016.8	188.4	837.1	1025.51
12.0	7.6	431.5	1827.9	2259.4	237.3	913.9	1151.25
12.5	8.0	522.5	1827.9	2350.4	287.4	913.9	1201.31
13.0	8.3	615.5	1827.9	2443.4	338.5	913.9	1252.47
13.5	8.6	709.9	1827.9	2537.7	390.4	913.9	1304.36
14.0	8.9	805.4	1827.9	2633.3	443.0	913.9	1356.93

Pilote Perforado de 1.20 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	11.3	117.6	1882.2	1999.8	64.7	941.1	1005.78
10.5	11.9	227.7	2275.2	2502.9	125.3	1137.6	1262.84
11.0	12.4	340.8	2750.1	3090.9	187.4	1375.0	1562.47
11.5	13.0	456.8	3116.0	3572.8	251.2	1558.0	1809.22
12.0	13.6	575.3	3249.5	3824.9	316.4	1624.8	1941.20
12.5	14.1	696.7	3249.5	3946.2	383.2	1624.8	2007.94
13.0	14.7	820.7	3249.5	4070.2	451.4	1624.8	2076.15
13.5	15.3	946.5	3249.5	4196.0	520.6	1624.8	2145.35
14.0	15.8	1073.9	3249.5	4323.5	590.7	1624.8	2215.44

Pilote Perforado de 1.50 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	17.7	147.0	2416.1	2563.1	80.8	1208.0	1288.89
10.5	18.6	284.7	2888.5	3173.2	156.6	1444.2	1600.82
11.0	19.4	426.0	3376.0	3802.0	234.3	1688.0	1922.28
11.5	20.3	571.0	3741.5	4312.5	314.0	1870.7	2184.78
12.0	21.2	719.1	3967.9	4687.0	395.5	1983.9	2379.46
12.5	22.1	870.8	4101.9	4972.7	479.0	2051.0	2529.91
13.0	23.0	1025.9	4201.2	5227.0	564.2	2100.6	2664.82
13.5	23.9	1183.1	4264.0	5447.1	650.7	2132.0	2782.72
14.0	24.7	1342.4	4292.4	5634.8	738.3	2146.2	2884.54

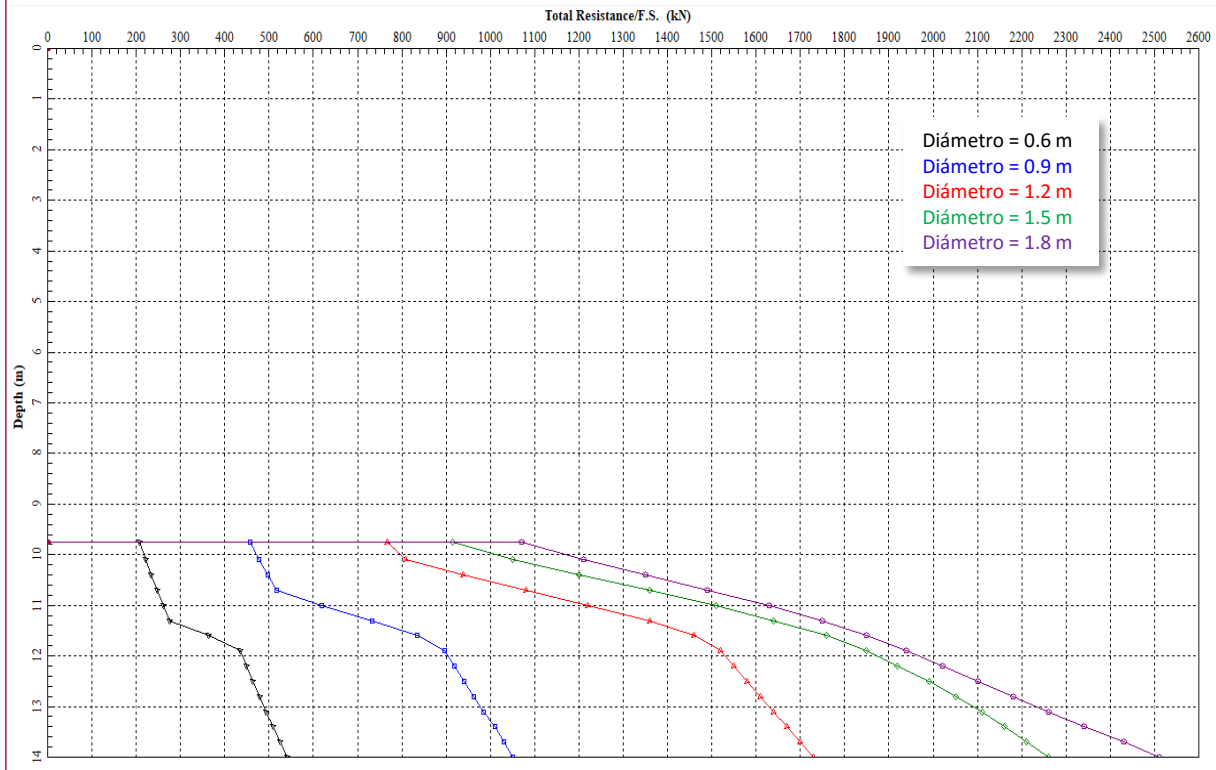
Pilote Perforado de 1.80 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	25.5	176.4	2769.9	2946.3	97.0	1385.0	1481.99
10.5	26.7	341.6	3197.3	3538.9	187.9	1598.7	1786.55
11.0	28.0	511.2	3581.3	4092.4	281.1	1790.6	2071.78
11.5	29.3	685.2	3871.4	4556.6	376.9	1935.7	2312.56
12.0	30.5	863.0	4069.6	4932.6	474.6	2034.8	2509.44
12.5	31.8	1045.0	4212.9	5257.9	574.7	2106.5	2681.21
13.0	33.1	1231.0	4356.2	5587.2	677.1	2178.1	2855.18
13.5	34.4	1419.7	4499.5	5919.3	780.9	2249.8	3030.62
14.0	35.6	1610.9	4642.8	6253.7	886.0	2321.4	3207.40

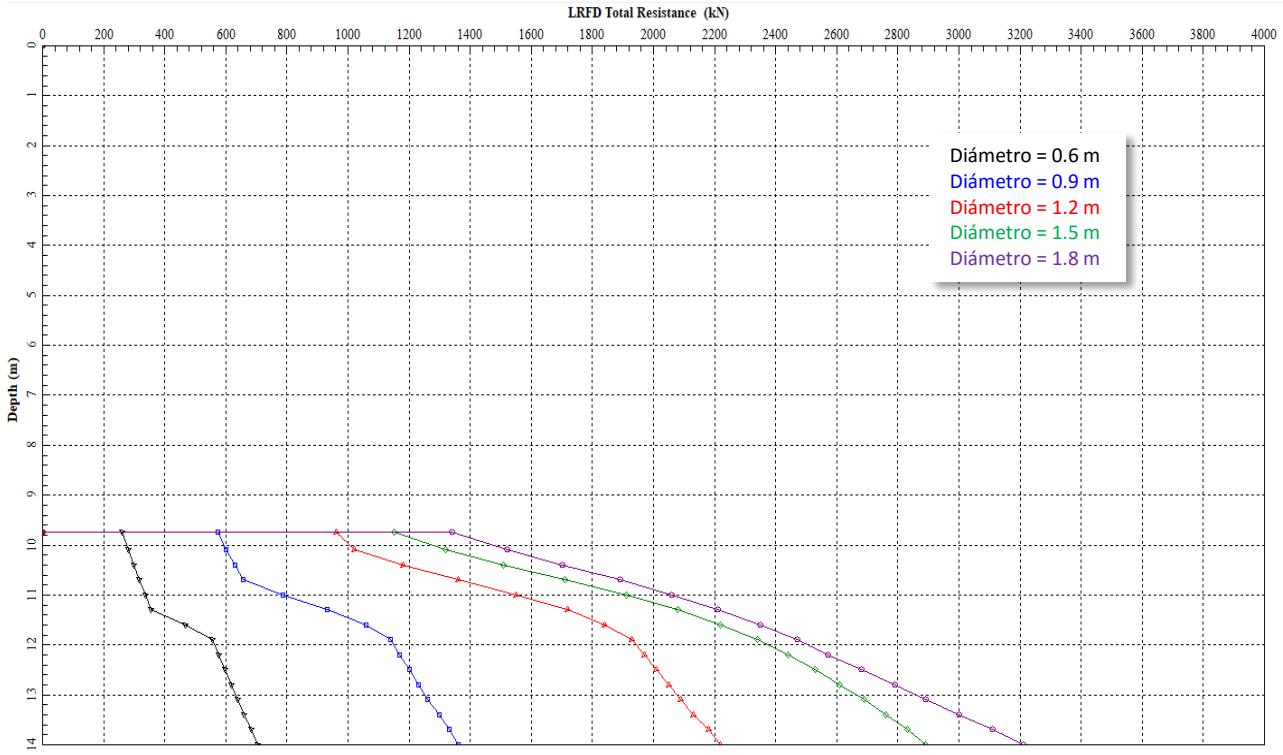
Carga Total Admisible vs. Profundidad

SONDAJE 1

Método ASD (Allowable Stress Design)



Método LRFD(Load and Resistance Factor Design)



Carga Axial Vs. Asentamiento

SONDAJE 1

Pilote Perforado de 0.60 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9204E-01	0.4116E-06	0.1204E-01	0.2540E-06
0.4602E+00	0.2058E-05	0.6018E-01	0.1270E-05
0.9204E+00	0.4116E-05	0.1204E+00	0.2540E-05
0.4651E+02	0.2066E-03	0.6018E+01	0.1270E-03
0.6976E+02	0.3099E-03	0.9027E+01	0.1905E-03
0.9301E+02	0.4132E-03	0.1204E+02	0.2540E-03
0.2270E+03	0.1024E-02	0.3009E+02	0.6350E-03
0.3918E+03	0.1945E-02	0.6018E+02	0.1270E-02
0.4935E+03	0.2760E-02	0.9027E+02	0.1905E-02
0.5648E+03	0.3524E-02	0.1204E+03	0.2540E-02
0.8164E+03	0.7812E-02	0.2935E+03	0.6350E-02
0.9938E+03	0.1452E-01	0.4716E+03	0.1270E-01
0.1063E+04	0.1783E-01	0.5412E+03	0.1588E-01
0.1152E+04	0.2198E-01	0.6304E+03	0.1984E-01
0.1345E+04	0.3252E-01	0.8245E+03	0.3000E-01

Pilote Perforado de 0.90 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9670E-01	0.3285E-06	0.1805E-01	0.2540E-06
0.4835E+00	0.1642E-05	0.9027E-01	0.1270E-05
0.9670E+00	0.3285E-05	0.1805E+00	0.2540E-05
0.4859E+02	0.1644E-03	0.9027E+01	0.1270E-03
0.7288E+02	0.2466E-03	0.1354E+02	0.1905E-03
0.9718E+02	0.3288E-03	0.1805E+02	0.2540E-03
0.2429E+03	0.8221E-03	0.4513E+02	0.6350E-03
0.4528E+03	0.1620E-02	0.9027E+02	0.1270E-02
0.6278E+03	0.2392E-02	0.1354E+03	0.1905E-02
0.7549E+03	0.3128E-02	0.1805E+03	0.2540E-02
0.1210E+04	0.7315E-02	0.4476E+03	0.6350E-02
0.1627E+04	0.1403E-01	0.8410E+03	0.1270E-01
0.1745E+04	0.1731E-01	0.9612E+03	0.1588E-01
0.1953E+04	0.2412E-01	0.1170E+04	0.2250E-01
0.2636E+04	0.4723E-01	0.1855E+04	0.4500E-01

Pilote Perforado de 1.20 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.1022E+00	0.2987E-06	0.2407E-01	0.2540E-06
0.5110E+00	0.1494E-05	0.1204E+00	0.1270E-05
0.1022E+01	0.2987E-05	0.2407E+00	0.2540E-05
0.5123E+02	0.1494E-03	0.1204E+02	0.1270E-03
0.7687E+02	0.2241E-03	0.1805E+02	0.1905E-03
0.1025E+03	0.2988E-03	0.2407E+02	0.2540E-03
0.2562E+03	0.7471E-03	0.6018E+02	0.6350E-03
0.5051E+03	0.1491E-02	0.1204E+03	0.1270E-02
0.7083E+03	0.2216E-02	0.1805E+03	0.1905E-02
0.8946E+03	0.2934E-02	0.2407E+03	0.2540E-02
0.1556E+04	0.7050E-02	0.6008E+03	0.6350E-02
0.2219E+04	0.1372E-01	0.1174E+04	0.1270E-01
0.2463E+04	0.1702E-01	0.1415E+04	0.1588E-01
0.3123E+04	0.3147E-01	0.2080E+04	0.3000E-01
0.4339E+04	0.6208E-01	0.3298E+04	0.6000E-01

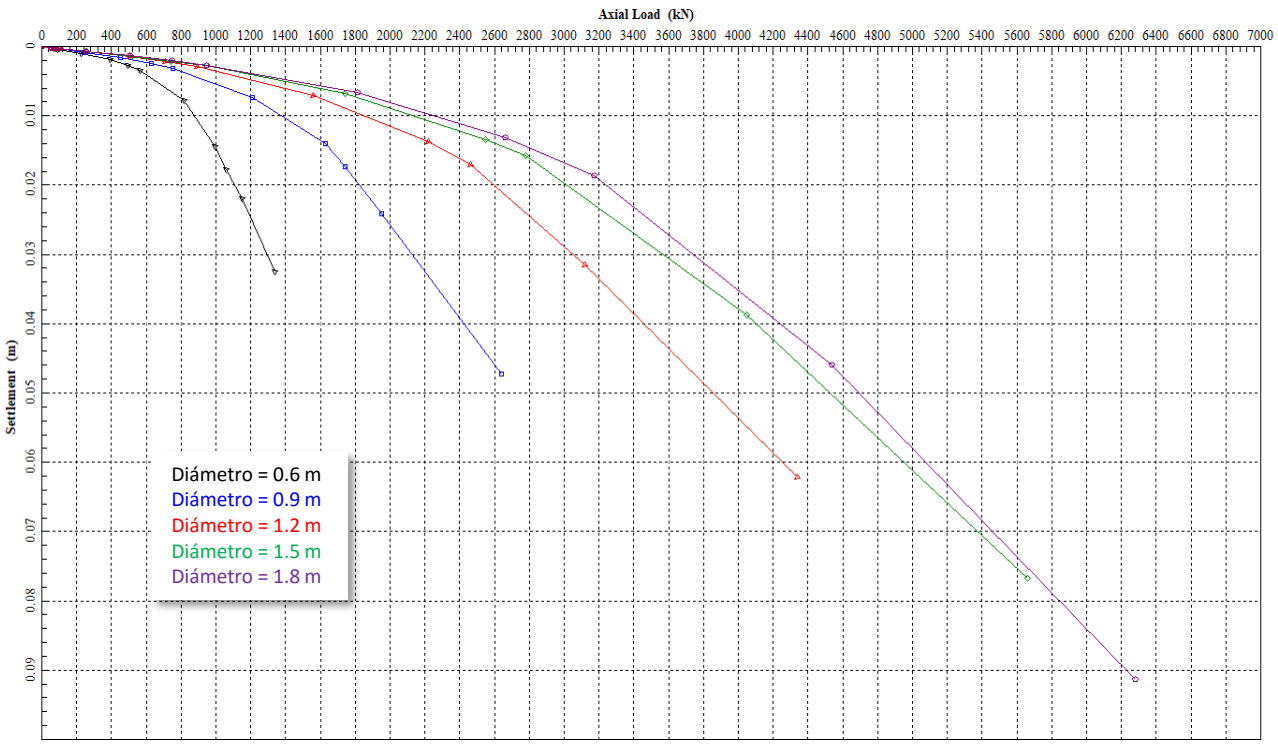
Pilote Perforado de 1.50 m

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.1032E+00	0.2830E-06	0.2544E-01	0.2540E-06
0.5162E+00	0.1415E-05	0.1272E+00	0.1270E-05
0.1032E+01	0.2830E-05	0.2544E+00	0.2540E-05
0.5170E+02	0.1415E-03	0.1272E+02	0.1270E-03
0.7757E+02	0.2123E-03	0.1908E+02	0.1905E-03
0.1034E+03	0.2830E-03	0.2544E+02	0.2540E-03
0.2586E+03	0.7076E-03	0.6361E+02	0.6350E-03
0.5172E+03	0.1415E-02	0.1272E+03	0.1270E-02
0.7410E+03	0.2113E-02	0.1908E+03	0.1905E-02
0.9470E+03	0.2807E-02	0.2544E+03	0.2540E-02
0.1737E+04	0.6848E-02	0.6361E+03	0.6350E-02
0.2553E+04	0.1345E-01	0.1257E+04	0.1270E-01
0.2784E+04	0.1582E-01	0.1481E+04	0.1500E-01
0.4052E+04	0.3873E-01	0.2747E+04	0.3750E-01
0.5658E+04	0.7674E-01	0.4357E+04	0.7500E-01

Pilote Perforado de 1.80 m

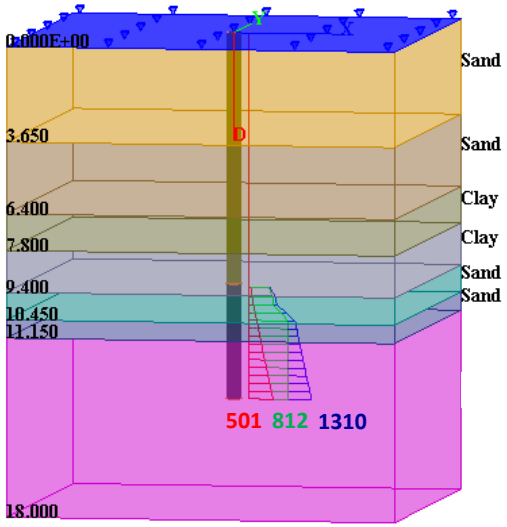
RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.1006E+00	0.2735E-06	0.2296E-01	0.2540E-06
0.5028E+00	0.1368E-05	0.1148E+00	0.1270E-05
0.1006E+01	0.2735E-05	0.2296E+00	0.2540E-05
0.5031E+02	0.1368E-03	0.1148E+02	0.1270E-03
0.7549E+02	0.2052E-03	0.1722E+02	0.1905E-03
0.1007E+03	0.2736E-03	0.2296E+02	0.2540E-03
0.2517E+03	0.6839E-03	0.5740E+02	0.6350E-03
0.5034E+03	0.1368E-02	0.1148E+03	0.1270E-02
0.7455E+03	0.2050E-02	0.1722E+03	0.1905E-02
0.9448E+03	0.2724E-02	0.2296E+03	0.2540E-02
0.1812E+04	0.6708E-02	0.5740E+03	0.6350E-02
0.2660E+04	0.1324E-01	0.1138E+04	0.1270E-01
0.3167E+04	0.1865E-01	0.1604E+04	0.1800E-01
0.4541E+04	0.4595E-01	0.2975E+04	0.4500E-01
0.6279E+04	0.9134E-01	0.4718E+04	0.9000E-01



Curva carga axial vs. asentamiento

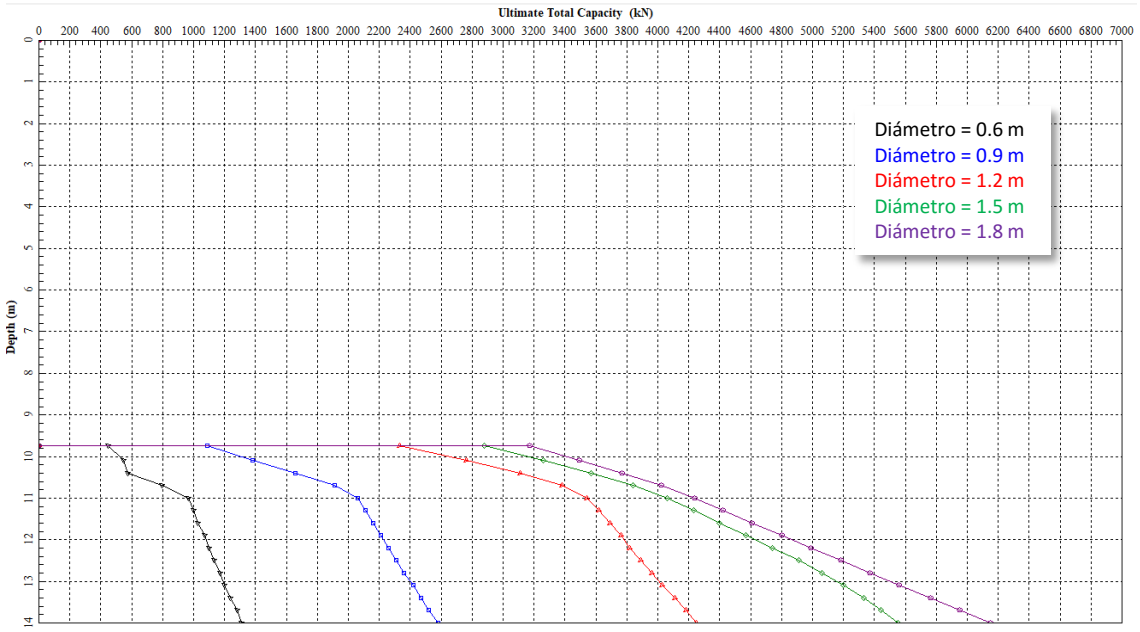
SONDAJE 2



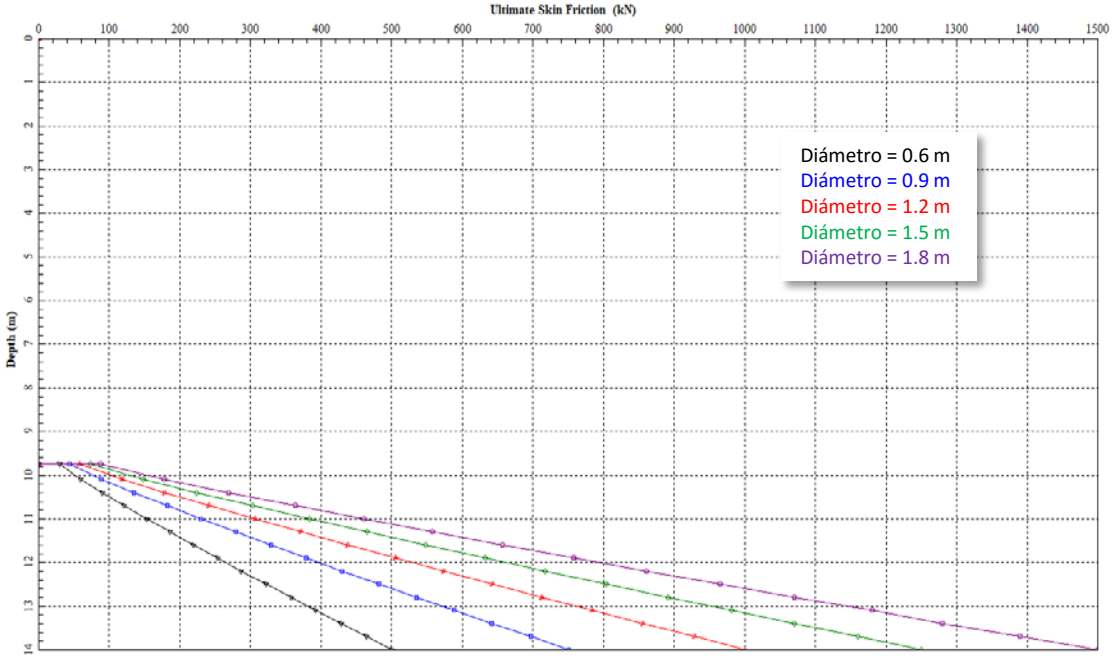
Resistencia última correspondiente a pilote de ∅=0.6 m

Skin Friction
Tip resistance
Total Resistance

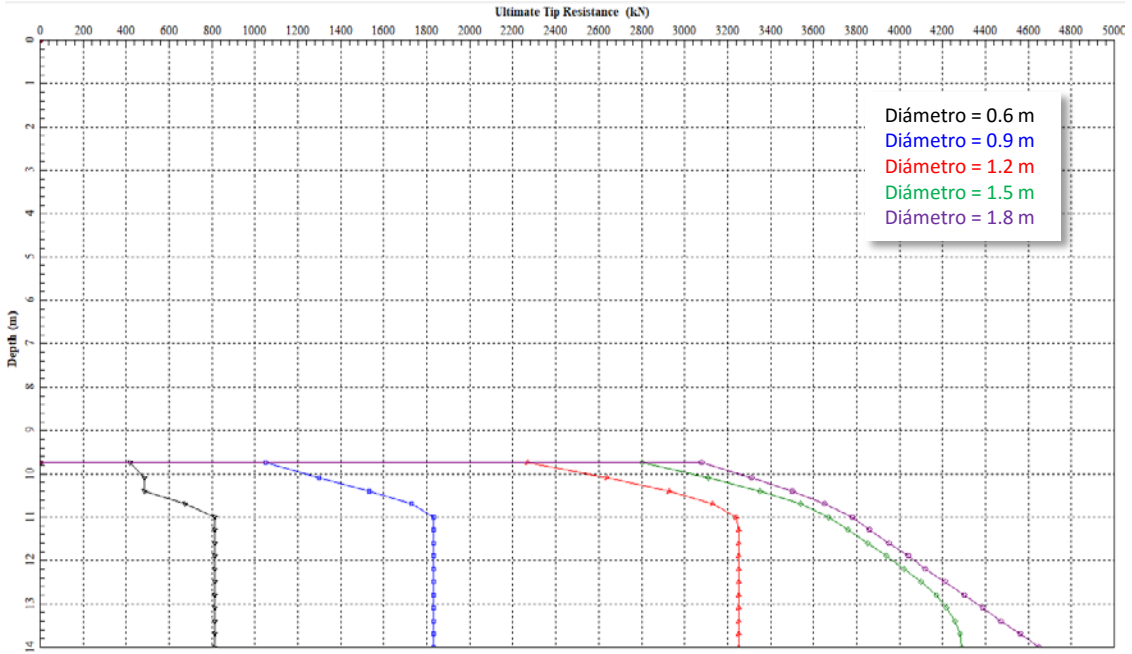
Resistencia total última vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Resistencia lateral última vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Resistencia por punta vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Método ASD
(Allowable Stress Design)

SONDAJE 2

QS = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (FOR UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
QBD = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING A FACTOR OF SAFETY APPLIED TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE;
QDN = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING FACTORS OF SAFETY APPLIED TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE AND THE ULTIMATE BASE RESISTANCE.

FS = 2.5

Pilote Perforado de 0.60 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	2.8	53.4	474.1	527.5	243.0	211.0	186.38
10.5	3.0	103.9	570.7	674.5	332.1	269.8	226.69
11.0	3.1	156.2	812.4	968.6	481.1	387.4	311.35
11.5	3.3	210.1	812.4	1022.5	535.1	409.0	314.39
12.0	3.4	265.4	812.4	1077.8	590.4	431.1	317.59
12.5	3.5	322.0	812.4	1134.4	647.0	453.8	320.90
13.0	3.7	379.8	812.4	1192.2	704.8	476.9	324.28
13.5	3.8	438.7	812.4	1251.1	763.6	500.4	327.68
14.0	4.0	498.4	812.4	1310.8	823.4	524.3	331.07

Pilote Perforado de 0.90 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	6.4	80.1	1248.3	1328.4	579.4	531.4	208.58
10.5	6.7	155.8	1618.2	1774.0	803.1	709.6	265.31
11.0	7.0	234.3	1827.9	2062.1	965.4	824.9	294.62
11.5	7.3	315.2	1827.9	2143.0	1046.3	857.2	292.87
12.0	7.6	398.2	1827.9	2226.0	1129.3	890.4	291.54
12.5	8.0	483.0	1827.9	2310.9	1214.2	924.4	290.54
13.0	8.3	569.8	1827.9	2397.6	1300.9	959.0	289.85
13.5	8.6	658.0	1827.9	2485.9	1389.1	994.3	289.39
14.0	8.9	747.6	1827.9	2575.5	1478.8	1030.2	289.11

Pilote Perforado de 1.20 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	11.3	106.8	2567.6	2674.5	1133.9	1069.8	236.28
10.5	11.9	207.7	3023.3	3231.0	1417.0	1292.4	271.92
11.0	12.4	312.3	3238.8	3551.1	1607.9	1420.5	285.39
11.5	13.0	420.2	3249.0	3669.2	1719.8	1467.7	282.07
12.0	13.6	530.9	3249.5	3780.4	1830.7	1512.2	278.51
12.5	14.1	644.0	3249.5	3893.6	1943.8	1557.4	275.36
13.0	14.7	759.7	3249.5	4009.2	2059.5	1603.7	272.64
13.5	15.3	877.3	3249.5	4126.9	2177.2	1650.8	270.24
14.0	15.8	996.8	3249.5	4246.4	2296.7	1698.6	268.13

Pilote Perforado de 1.50 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	17.7	133.5	3052.0	3185.6	1354.4	1274.2	180.15
10.5	18.6	259.6	3431.4	3691.0	1632.2	1476.4	198.82
11.0	19.4	390.4	3681.3	4071.7	1862.9	1628.7	209.42
11.5	20.3	525.3	3824.6	4349.9	2055.1	1739.9	213.99
12.0	21.2	663.6	3967.9	4631.5	2250.8	1852.6	218.35
12.5	22.1	805.0	4101.9	4906.9	2445.8	1962.8	222.09
13.0	23.0	949.6	4201.2	5150.8	2630.1	2060.3	224.16
13.5	23.9	1096.7	4264.0	5360.7	2802.3	2144.3	224.66
14.0	24.7	1246.1	4292.4	5538.5	2963.0	2215.4	223.82

Pilote Perforado de 1.80 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	25.5	160.3	3270.0	3430.2	1468.2	1372.1	134.73
10.5	26.7	311.6	3569.3	3880.9	1739.3	1552.3	145.18
11.0	28.0	468.5	3783.0	4251.5	1981.7	1700.6	151.85
11.5	29.3	630.3	3926.3	4556.7	2200.9	1822.7	155.66
12.0	30.5	796.3	4069.6	4865.9	2424.2	1946.4	159.30
12.5	31.8	966.0	4212.9	5178.9	2651.2	2071.6	162.78
13.0	33.1	1139.5	4356.2	5495.7	2882.0	2198.3	166.08
13.5	34.4	1316.0	4499.5	5815.5	3115.8	2326.2	169.24
14.0	35.6	1495.3	4642.8	6138.1	3352.4	2455.2	172.26

Método LRFD

(Load and Resistance Factor Design)

SONDAJE 2

```
QS      = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB      = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT      = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU      = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
LRFD QS = TOTAL SIDE FRICTION USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
LRFD QB = TOTAL BASE BEARING USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE
LRFD QU = TOTAL CAPACITY WITH LRFD RESISTANCE FACTOR.
```

Factor de resistencia de punta: φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral: φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

Pilote Perforado de 0.60 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	2.8	53.4	474.1	527.5	29.4	237.0	266.41
10.5	3.0	103.9	570.7	674.5	57.1	285.3	342.47
11.0	3.1	156.2	812.4	968.6	85.9	406.2	492.09
11.5	3.3	210.1	812.4	1022.5	115.6	406.2	521.76
12.0	3.4	265.4	812.4	1077.8	146.0	406.2	552.19
12.5	3.5	322.0	812.4	1134.4	177.1	406.2	583.30
13.0	3.7	379.8	812.4	1192.2	208.9	406.2	615.10
13.5	3.8	438.7	812.4	1251.1	241.3	406.2	647.46
14.0	4.0	498.4	812.4	1310.8	274.1	406.2	680.33

Pilote Perforado de 0.90 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	6.4	80.1	1248.3	1328.4	44.1	624.1	668.20
10.5	6.7	155.8	1618.2	1774.0	85.7	809.1	894.77
11.0	7.0	234.3	1827.9	2062.1	128.8	913.9	1042.78
11.5	7.3	315.2	1827.9	2143.0	173.3	913.9	1087.28
12.0	7.6	398.2	1827.9	2226.0	219.0	913.9	1132.92
12.5	8.0	483.0	1827.9	2310.9	265.7	913.9	1179.59
13.0	8.3	569.8	1827.9	2397.6	313.4	913.9	1227.30
13.5	8.6	658.0	1827.9	2485.9	361.9	913.9	1275.84
14.0	8.9	747.6	1827.9	2575.5	411.2	913.9	1325.14

Pilote Perforado de 1.20 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	11.3	106.8	2567.6	2674.5	58.8	1283.8	1342.57
10.5	11.9	207.7	3023.3	3231.0	114.2	1511.7	1625.90
11.0	12.4	312.3	3238.8	3551.1	171.8	1619.4	1791.19
11.5	13.0	420.2	3249.0	3669.2	231.1	1624.5	1855.62
12.0	13.6	530.9	3249.5	3780.4	292.0	1624.8	1916.76
12.5	14.1	644.0	3249.5	3893.6	354.2	1624.8	1978.98
13.0	14.7	759.7	3249.5	4009.2	417.8	1624.8	2042.59
13.5	15.3	877.3	3249.5	4126.9	482.5	1624.8	2107.31
14.0	15.8	996.8	3249.5	4246.4	548.3	1624.8	2173.04

Pilote Perforado de 1.50 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	17.7	133.5	3052.0	3185.6	73.4	1526.0	1599.46
10.5	18.6	259.6	3431.4	3691.0	142.8	1715.7	1858.50
11.0	19.4	390.4	3681.3	4071.7	214.7	1840.6	2055.38
11.5	20.3	525.3	3824.6	4349.9	288.9	1912.3	2201.19
12.0	21.2	663.6	3967.9	4631.5	365.0	1983.9	2348.92
12.5	22.1	805.0	4101.9	4906.9	442.8	2051.0	2493.71
13.0	23.0	949.6	4201.2	5150.8	522.3	2100.6	2622.87
13.5	23.9	1096.7	4264.0	5360.7	603.2	2132.0	2735.17
14.0	24.7	1246.1	4292.4	5538.5	685.3	2146.2	2831.55

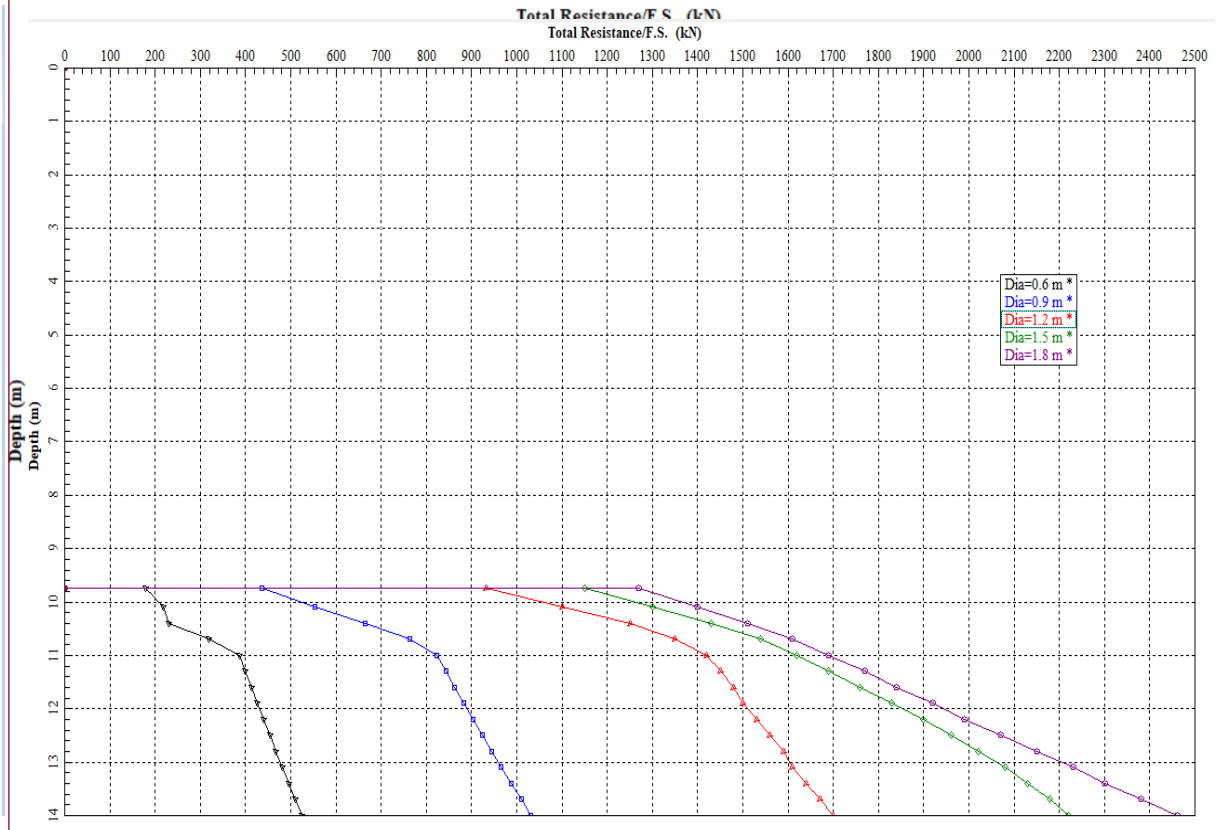
Pilote Perforado de 1.80 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	25.5	160.3	3270.0	3430.2	88.1	1635.0	1723.13
10.5	26.7	311.6	3569.3	3880.9	171.4	1784.7	1956.01
11.0	28.0	468.5	3783.0	4251.5	257.7	1891.5	2149.20
11.5	29.3	630.3	3926.3	4556.7	346.7	1963.2	2309.85
12.0	30.5	796.3	4069.6	4865.9	438.0	2034.8	2472.79
12.5	31.8	966.0	4212.9	5178.9	531.3	2106.5	2637.77
13.0	33.1	1139.5	4356.2	5495.7	626.7	2178.1	2804.84
13.5	34.4	1316.0	4499.5	5815.5	723.8	2249.8	2973.56
14.0	35.6	1495.3	4642.8	6138.1	822.4	2321.4	3143.81

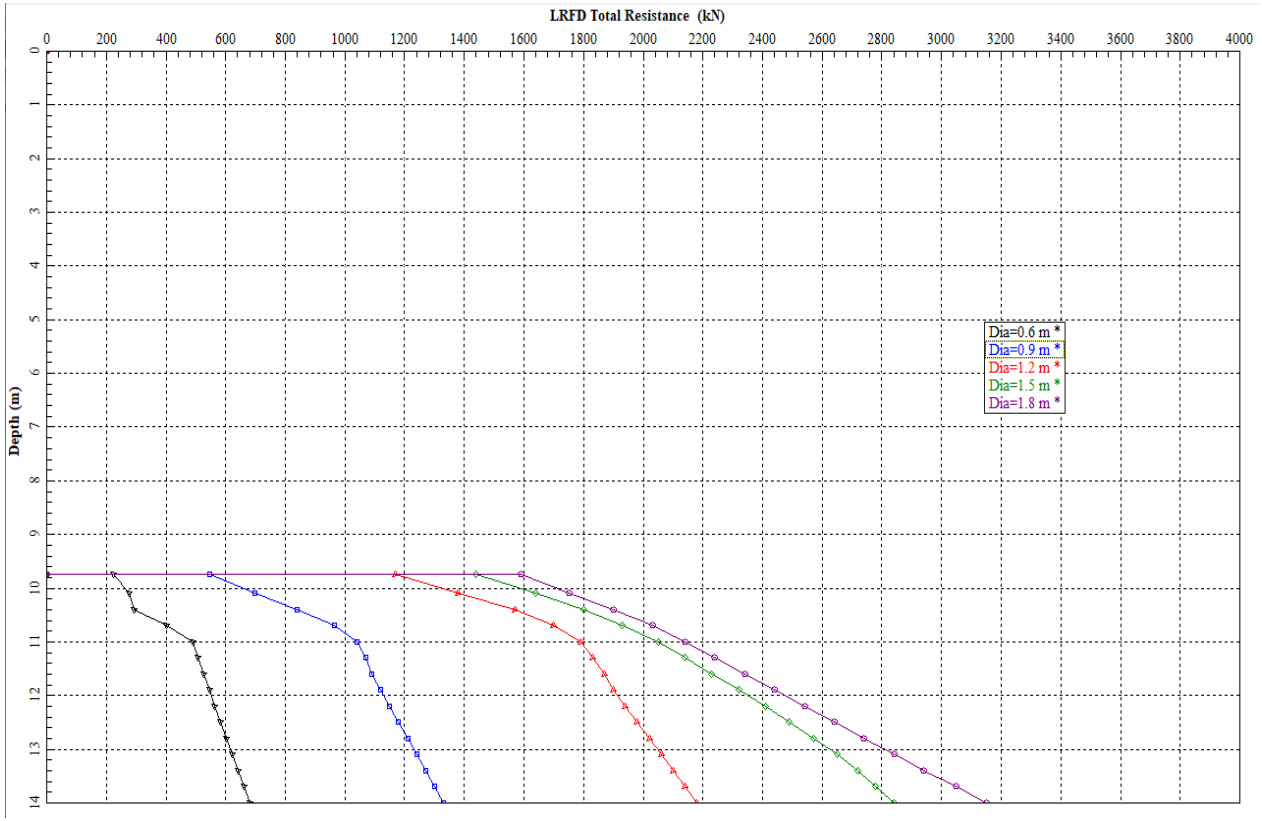
Carga Total Admisible vs. Profundidad

SONDAJE 2

Método ASD (Allowable Stress Design)



Método LRFD(Load and Resistance Factor Design)



Carga Axial vs. Asentamiento

SONDAJE 2

Pilote Perforado de 0.60 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.8599E-01	0.4016E-06	0.1204E-01	0.2540E-06
0.4300E+00	0.2008E-05	0.6018E-01	0.1270E-05
0.8599E+00	0.4016E-05	0.1204E+00	0.2540E-05
0.4342E+02	0.2015E-03	0.6018E+01	0.1270E-03
0.6513E+02	0.3022E-03	0.9027E+01	0.1905E-03
0.8684E+02	0.4030E-03	0.1204E+02	0.2540E-03
0.2122E+03	0.9995E-03	0.3009E+02	0.6350E-03
0.3669E+03	0.1904E-02	0.6018E+02	0.1270E-02
0.4635E+03	0.2710E-02	0.9027E+02	0.1905E-02
0.5317E+03	0.3469E-02	0.1204E+03	0.2540E-02
0.7778E+03	0.7748E-02	0.2935E+03	0.6350E-02
0.9552E+03	0.1445E-01	0.4716E+03	0.1270E-01
0.1025E+04	0.1777E-01	0.5412E+03	0.1588E-01
0.1113E+04	0.2191E-01	0.6304E+03	0.1984E-01
0.1306E+04	0.3245E-01	0.8245E+03	0.3000E-01

Pilote Perforado de 0.90 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9083E-01	0.3242E-06	0.1805E-01	0.2540E-06
0.4541E+00	0.1621E-05	0.9027E-01	0.1270E-05
0.9083E+00	0.3242E-05	0.1805E+00	0.2540E-05
0.4563E+02	0.1622E-03	0.9027E+01	0.1270E-03
0.6844E+02	0.2433E-03	0.1354E+02	0.1905E-03
0.9125E+02	0.3245E-03	0.1805E+02	0.2540E-03
0.2281E+03	0.8111E-03	0.4513E+02	0.6350E-03
0.4257E+03	0.1600E-02	0.9027E+02	0.1270E-02
0.5912E+03	0.2364E-02	0.1354E+03	0.1905E-02
0.7122E+03	0.3096E-02	0.1805E+03	0.2540E-02
0.1153E+04	0.7273E-02	0.4476E+03	0.6350E-02
0.1569E+04	0.1399E-01	0.8410E+03	0.1270E-01
0.1687E+04	0.1727E-01	0.9612E+03	0.1588E-01
0.1895E+04	0.2408E-01	0.1170E+04	0.2250E-01
0.2578E+04	0.4718E-01	0.1855E+04	0.4500E-01

Pilote Perforado de 1.20 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9639E-01	0.2963E-06	0.2407E-01	0.2540E-06
0.4820E+00	0.1481E-05	0.1204E+00	0.1270E-05
0.9639E+00	0.2963E-05	0.2407E+00	0.2540E-05
0.4831E+02	0.1482E-03	0.1204E+02	0.1270E-03
0.7249E+02	0.2223E-03	0.1805E+02	0.1905E-03
0.9666E+02	0.2964E-03	0.2407E+02	0.2540E-03
0.2416E+03	0.7410E-03	0.6018E+02	0.6350E-03
0.4765E+03	0.1479E-02	0.1204E+03	0.1270E-02
0.6691E+03	0.2200E-02	0.1805E+03	0.1905E-02
0.8462E+03	0.2914E-02	0.2407E+03	0.2540E-02
0.1486E+04	0.7021E-02	0.6008E+03	0.6350E-02
0.2142E+04	0.1369E-01	0.1174E+04	0.1270E-01
0.2386E+04	0.1699E-01	0.1415E+04	0.1588E-01
0.3046E+04	0.3144E-01	0.2080E+04	0.3000E-01
0.4262E+04	0.6205E-01	0.3298E+04	0.6000E-01

Pilote Perforado de 1.50 m

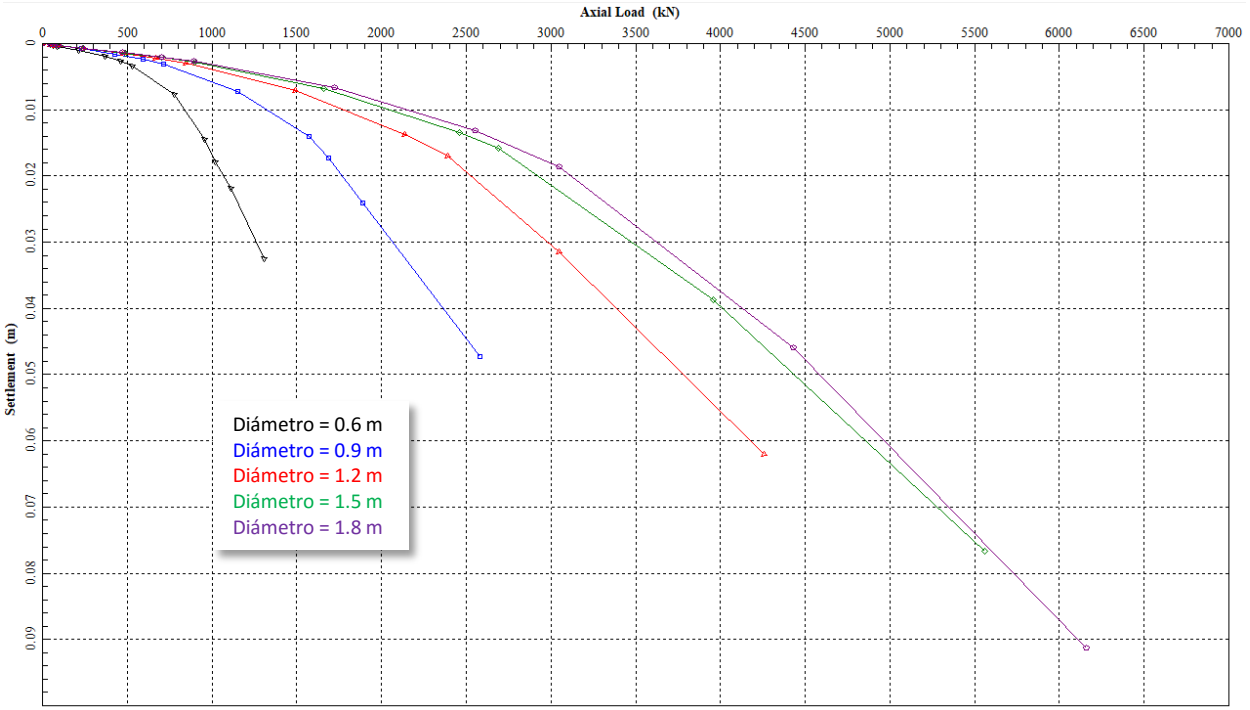
RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9748E-01	0.2814E-06	0.2544E-01	0.2540E-06
0.4874E+00	0.1407E-05	0.1272E+00	0.1270E-05
0.9748E+00	0.2814E-05	0.2544E+00	0.2540E-05
0.4880E+02	0.1407E-03	0.1272E+02	0.1270E-03
0.7323E+02	0.2111E-03	0.1908E+02	0.1905E-03
0.9765E+02	0.2815E-03	0.2544E+02	0.2540E-03
0.2441E+03	0.7037E-03	0.6361E+02	0.6350E-03
0.4883E+03	0.1407E-02	0.1272E+03	0.1270E-02
0.7002E+03	0.2103E-02	0.1908E+03	0.1905E-02
0.8957E+03	0.2793E-02	0.2544E+03	0.2540E-02
0.1655E+04	0.6827E-02	0.6361E+03	0.6350E-02
0.2457E+04	0.1342E-01	0.1257E+04	0.1270E-01
0.2688E+04	0.1580E-01	0.1481E+04	0.1500E-01
0.3956E+04	0.3870E-01	0.2747E+04	0.3750E-01
0.5562E+04	0.7671E-01	0.4357E+04	0.7500E-01

Pilote Perforado de 1.80 m

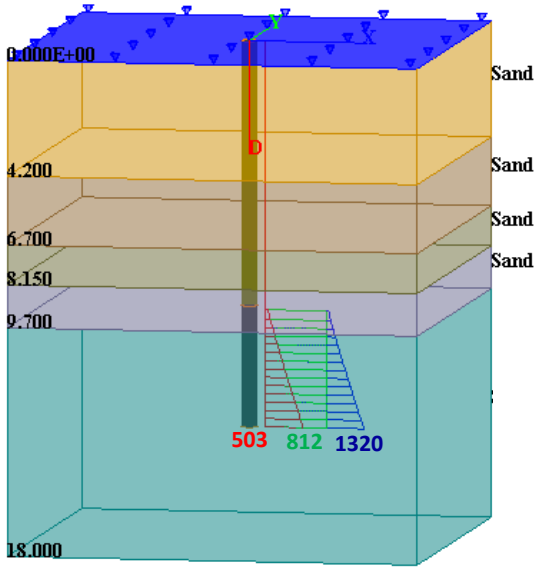
RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9481E-01	0.2725E-06	0.2296E-01	0.2540E-06
0.4740E+00	0.1362E-05	0.1148E+00	0.1270E-05
0.9481E+00	0.2725E-05	0.2296E+00	0.2540E-05
0.4743E+02	0.1362E-03	0.1148E+02	0.1270E-03
0.7117E+02	0.2044E-03	0.1722E+02	0.1905E-03
0.9491E+02	0.2725E-03	0.2296E+02	0.2540E-03
0.2373E+03	0.6812E-03	0.5740E+02	0.6350E-03
0.4746E+03	0.1362E-02	0.1148E+03	0.1270E-02
0.7030E+03	0.2042E-02	0.1722E+03	0.1905E-02
0.8919E+03	0.2714E-02	0.2296E+03	0.2540E-02
0.1721E+04	0.6691E-02	0.5740E+03	0.6350E-02
0.2547E+04	0.1322E-01	0.1138E+04	0.1270E-01
0.3052E+04	0.1863E-01	0.1604E+04	0.1800E-01
0.4425E+04	0.4593E-01	0.2975E+04	0.4500E-01
0.6164E+04	0.9132E-01	0.4718E+04	0.9000E-01



Curva carga axial vs. asentamiento

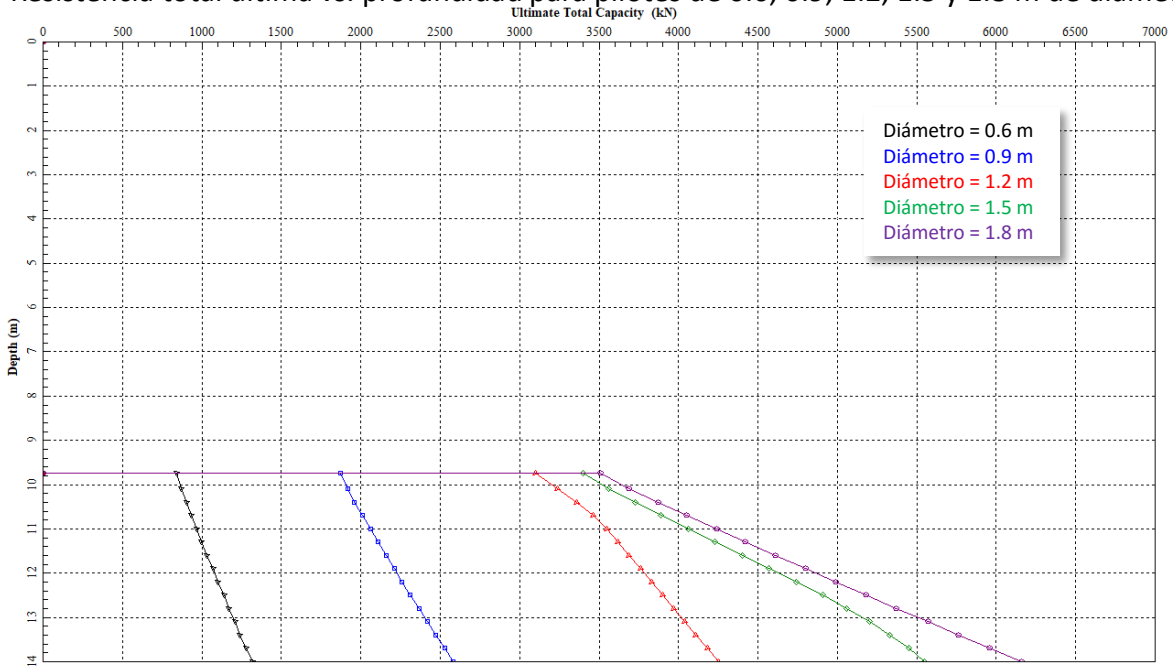
SONDAJE 3



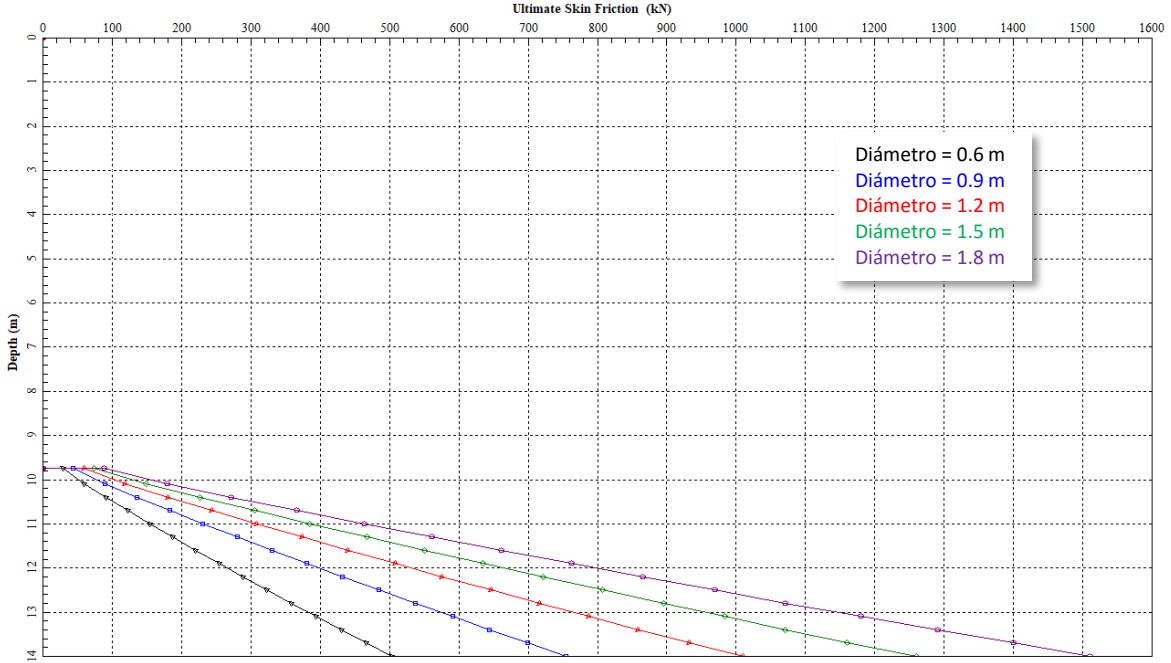
Resistencia última correspondiente a pilote de ∅=0.6 m

Skin Friction
Tip resistance
Total Resistance

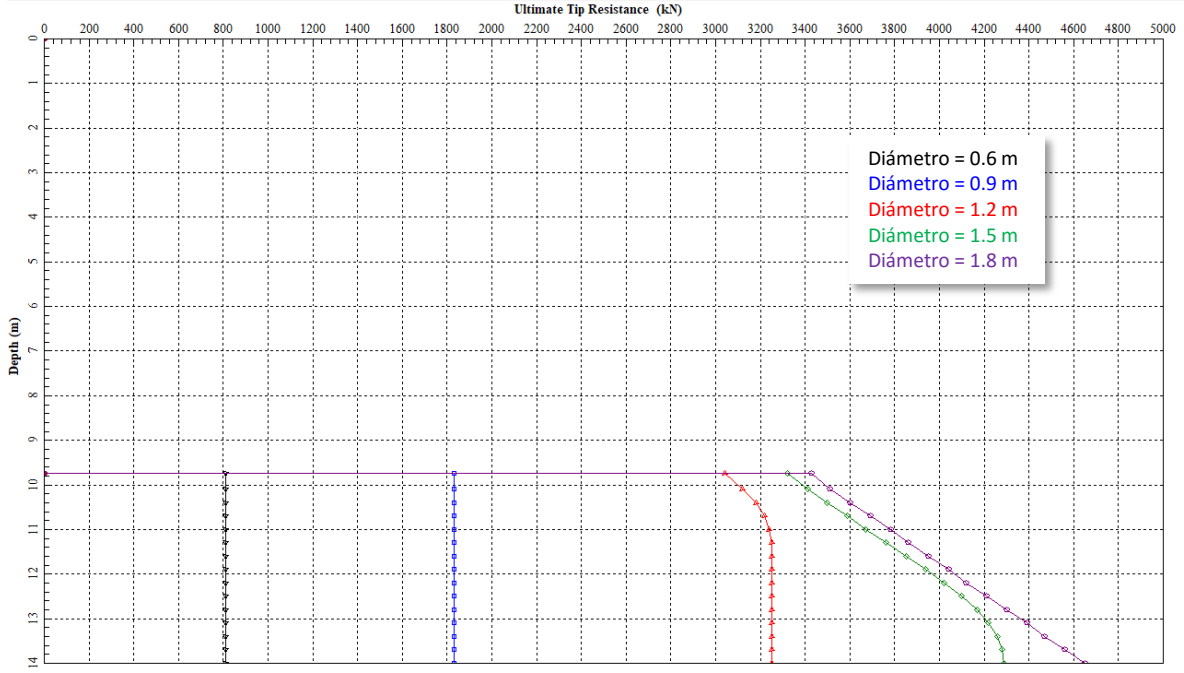
Resistencia total última vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Resistencia lateral última vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Resistencia por punta vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2 , 1.5 y 1.8 m de diámetro



Método ASD

(Allowable Stress Design)

SONDAJE 3

QS = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (FOR UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
QBD = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING A FACTOR OF SAFETY APPLIED TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE;
QDN = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING FACTORS OF SAFETY APPLIED TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE AND THE ULTIMATE BASE RESISTANCE.

FS = 2.5

Pilote Perforado de 0.60 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	2.8	53.8	812.4	866.2	378.7	346.5	306.27
10.5	3.0	104.6	812.4	917.0	429.6	366.8	308.81
11.0	3.1	157.1	812.4	969.5	482.1	387.8	311.64
11.5	3.3	211.2	812.4	1023.6	536.1	409.4	314.72
12.0	3.4	266.6	812.4	1079.0	591.6	431.6	317.94
12.5	3.5	323.3	812.4	1135.7	648.3	454.3	321.27
13.0	3.7	381.3	812.4	1193.7	706.2	477.5	324.67
13.5	3.8	440.2	812.4	1252.6	765.2	501.0	328.09
14.0	4.0	500.1	812.4	1312.5	825.1	525.0	331.50

Pilote Perforado de 0.90 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	6.4	80.7	1827.9	1908.5	811.8	763.4	299.95
10.5	6.7	157.0	1827.9	1984.8	888.1	793.9	297.09
11.0	7.0	235.6	1827.9	2063.5	966.8	825.4	294.82
11.5	7.3	316.8	1827.9	2144.6	1047.9	857.9	293.09
12.0	7.6	399.9	1827.9	2227.8	1131.1	891.1	291.77
12.5	8.0	485.0	1827.9	2312.8	1216.1	925.1	290.78
13.0	8.3	571.9	1827.9	2399.8	1303.1	959.9	290.11
13.5	8.6	660.3	1827.9	2488.2	1391.5	995.3	289.66
14.0	8.9	750.1	1827.9	2578.0	1481.3	1031.2	289.40

Pilote Perforado de 1.20 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	11.3	107.5	3104.0	3211.6	1349.1	1284.6	283.89
10.5	11.9	209.3	3193.4	3402.7	1486.6	1361.1	286.47
11.0	12.4	314.2	3238.8	3553.0	1609.7	1421.2	285.54
11.5	13.0	422.3	3249.0	3671.3	1721.9	1468.5	282.23
12.0	13.6	533.3	3249.5	3782.8	1833.1	1513.1	278.68
12.5	14.1	646.6	3249.5	3896.2	1946.5	1558.5	275.54
13.0	14.7	762.5	3249.5	4012.1	2062.4	1604.8	272.83
13.5	15.3	880.4	3249.5	4130.0	2180.3	1652.0	270.45
14.0	15.8	1000.2	3249.5	4249.7	2300.0	1699.9	268.35

Pilote Perforado de 1.50 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	17.7	134.4	3394.7	3529.1	1492.3	1411.6	199.65
10.5	18.6	261.6	3538.0	3799.6	1676.8	1519.8	204.71
11.0	19.4	392.7	3681.3	4074.0	1865.3	1629.6	209.53
11.5	20.3	527.9	3824.6	4352.5	2057.8	1741.0	214.12
12.0	21.2	666.6	3967.9	4634.4	2253.7	1853.8	218.49
12.5	22.1	808.3	4101.9	4910.2	2449.1	1964.1	222.24
13.0	23.0	953.2	4201.2	5154.4	2633.7	2061.7	224.32
13.5	23.9	1100.6	4264.0	5364.6	2806.2	2145.8	224.82
14.0	24.7	1250.2	4292.4	5542.7	2967.2	2217.1	223.99

Pilote Perforado de 1.80 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	25.5	161.3	3496.4	3657.7	1559.9	1463.1	143.70
10.5	26.7	313.9	3639.7	3953.7	1769.8	1581.5	147.92
11.0	28.0	471.3	3783.0	4254.3	1984.5	1701.7	151.95
11.5	29.3	633.5	3926.3	4559.8	2204.0	1823.9	155.77
12.0	30.5	799.9	4069.6	4869.5	2427.7	1947.8	159.42
12.5	31.8	970.0	4212.9	5182.9	2655.1	2073.2	162.90
13.0	33.1	1143.8	4356.2	5500.0	2886.3	2200.0	166.21
13.5	34.4	1320.7	4499.5	5820.2	3120.5	2328.1	169.38
14.0	35.6	1500.3	4642.8	6143.1	3357.4	2457.2	172.40

Método LRFD
(Load and Resistance Factor Design)

SONDAJE 3

```
QS      = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB      = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT      = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU      = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
LRFD QS = TOTAL SIDE FRICTION USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
LRFD QB = TOTAL BASE BEARING USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE
LRFD QU = TOTAL CAPACITY WITH LRFD RESISTANCE FACTOR.
```

Factor de resistencia de punta: φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral: φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

Pilote Perforado de 0.60 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	2.8	53.8	812.4	866.2	29.6	406.2	435.77
10.5	3.0	104.6	812.4	917.0	57.6	406.2	463.75
11.0	3.1	157.1	812.4	969.5	86.4	406.2	492.60
11.5	3.3	211.2	812.4	1023.6	116.1	406.2	522.34
12.0	3.4	266.6	812.4	1079.0	146.6	406.2	552.84
12.5	3.5	323.3	812.4	1135.7	177.8	406.2	584.02
13.0	3.7	381.3	812.4	1193.7	209.7	406.2	615.89
13.5	3.8	440.2	812.4	1252.6	242.1	406.2	648.32
14.0	4.0	500.1	812.4	1312.5	275.1	406.2	681.25

Pilote Perforado de 0.90 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	6.4	80.7	1827.9	1908.5	44.4	913.9	958.30
10.5	6.7	157.0	1827.9	1984.8	86.3	913.9	1000.26
11.0	7.0	235.6	1827.9	2063.5	129.6	913.9	1043.54
11.5	7.3	316.8	1827.9	2144.6	174.2	913.9	1088.15
12.0	7.6	399.9	1827.9	2227.8	220.0	913.9	1133.90
12.5	8.0	485.0	1827.9	2312.8	266.7	913.9	1180.67
13.0	8.3	571.9	1827.9	2399.8	314.5	913.9	1228.48
13.5	8.6	660.3	1827.9	2488.2	363.2	913.9	1277.12
14.0	8.9	750.1	1827.9	2578.0	412.6	913.9	1326.52

Pilote Perforado de 1.20 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	11.3	107.5	3104.0	3211.6	59.1	1552.0	1611.15
10.5	11.9	209.3	3193.4	3402.7	115.1	1596.7	1711.80
11.0	12.4	314.2	3238.8	3553.0	172.8	1619.4	1792.20
11.5	13.0	422.3	3249.0	3671.3	232.3	1624.5	1856.79
12.0	13.6	533.3	3249.5	3782.8	293.3	1624.8	1918.07
12.5	14.1	646.6	3249.5	3896.2	355.6	1624.8	1980.42
13.0	14.7	762.5	3249.5	4012.1	419.4	1624.8	2044.17
13.5	15.3	880.4	3249.5	4130.0	484.2	1624.8	2109.02
14.0	15.8	1000.2	3249.5	4249.7	550.1	1624.8	2174.88

Pilote Perforado de 1.50 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	17.7	134.4	3394.7	3529.1	73.9	1697.3	1771.28
10.5	18.6	261.6	3538.0	3799.6	143.9	1769.0	1912.87
11.0	19.4	392.7	3681.3	4074.0	216.0	1840.6	2056.65
11.5	20.3	527.9	3824.6	4352.5	290.4	1912.3	2202.65
12.0	21.2	666.6	3967.9	4634.4	366.6	1983.9	2350.55
12.5	22.1	808.3	4101.9	4910.2	444.6	2051.0	2495.51
13.0	23.0	953.2	4201.2	5154.4	524.2	2100.6	2624.84
13.5	23.9	1100.6	4264.0	5364.6	605.3	2132.0	2737.31
14.0	24.7	1250.2	4292.4	5542.7	687.6	2146.2	2833.85

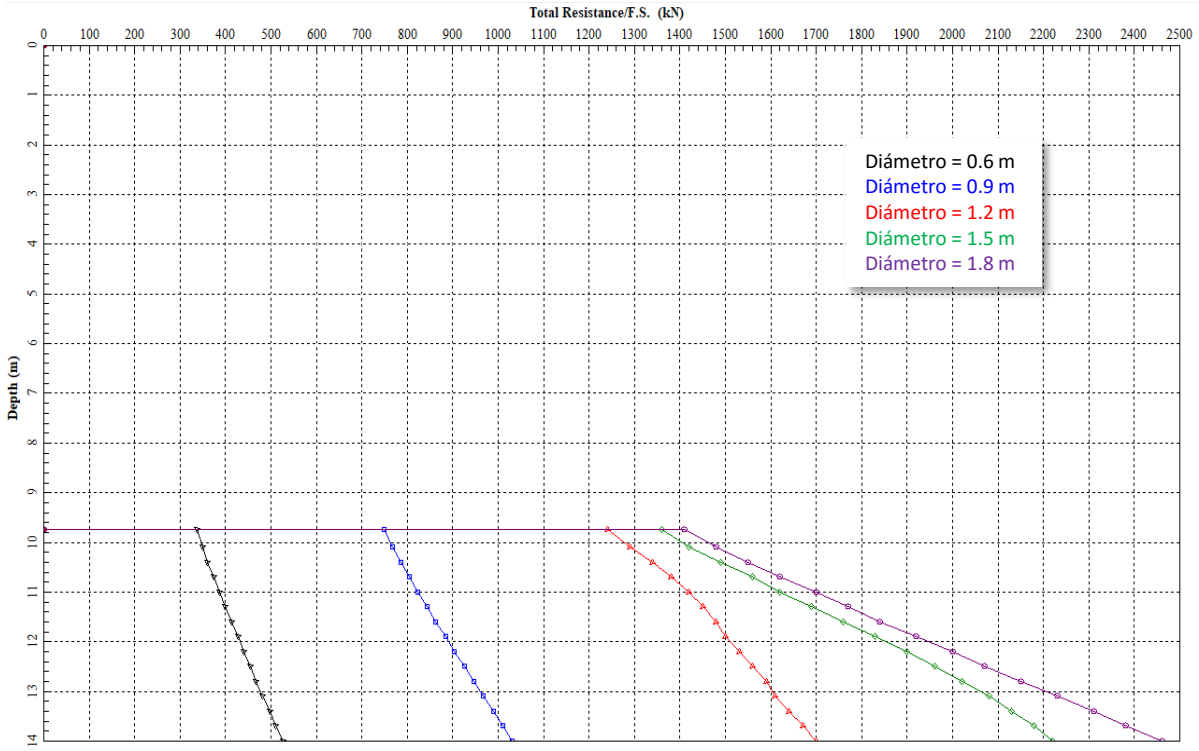
Pilote Perforado de 1.80 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	25.5	161.3	3496.4	3657.7	88.7	1748.2	1836.94
10.5	26.7	313.9	3639.7	3953.7	172.7	1819.9	1992.52
11.0	28.0	471.3	3783.0	4254.3	259.2	1891.5	2150.73
11.5	29.3	633.5	3926.3	4559.8	348.4	1963.2	2311.60
12.0	30.5	799.9	4069.6	4869.5	439.9	2034.8	2474.75
12.5	31.8	970.0	4212.9	5182.9	533.5	2106.5	2639.94
13.0	33.1	1143.8	4356.2	5500.0	629.1	2178.1	2807.21
13.5	34.4	1320.7	4499.5	5820.2	726.4	2249.8	2976.13
14.0	35.6	1500.3	4642.8	6143.1	825.2	2321.4	3146.57

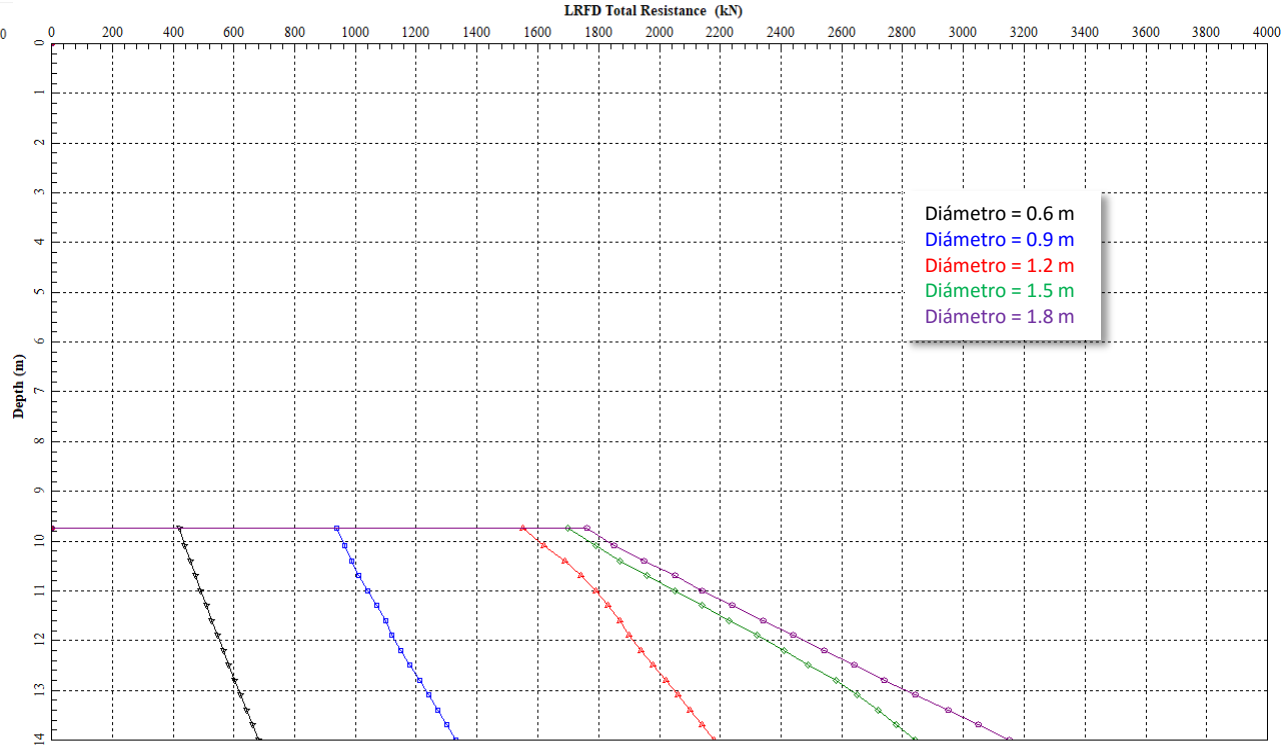
Carga Total Admisible vs. Profundidad

SONDAJE 3

Método ASD (Allowable Stress Design)



Método LRFD(Load and Resistance Factor Design)



Carga Axial Vs. Asentamiento

SONDAJE 3

Pilote Perforado de 0.60 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.8622E-01	0.4020E-06	0.1204E-01	0.2540E-06
0.4311E+00	0.2010E-05	0.6018E-01	0.1270E-05
0.8622E+00	0.4020E-05	0.1204E+00	0.2540E-05
0.4354E+02	0.2017E-03	0.6018E+01	0.1270E-03
0.6531E+02	0.3025E-03	0.9027E+01	0.1905E-03
0.8707E+02	0.4034E-03	0.1204E+02	0.2540E-03
0.2127E+03	0.1000E-02	0.3009E+02	0.6350E-03
0.3679E+03	0.1905E-02	0.6018E+02	0.1270E-02
0.4646E+03	0.2712E-02	0.9027E+02	0.1905E-02
0.5330E+03	0.3471E-02	0.1204E+03	0.2540E-02
0.7792E+03	0.7750E-02	0.2935E+03	0.6350E-02
0.9567E+03	0.1445E-01	0.4716E+03	0.1270E-01
0.1026E+04	0.1777E-01	0.5412E+03	0.1588E-01
0.1115E+04	0.2191E-01	0.6304E+03	0.1984E-01
0.1308E+04	0.3246E-01	0.8245E+03	0.3000E-01

Pilote Perforado de 0.90 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9105E-01	0.3243E-06	0.1805E-01	0.2540E-06
0.4552E+00	0.1622E-05	0.9027E-01	0.1270E-05
0.9105E+00	0.3243E-05	0.1805E+00	0.2540E-05
0.4574E+02	0.1623E-03	0.9027E+01	0.1270E-03
0.6861E+02	0.2435E-03	0.1354E+02	0.1905E-03
0.9147E+02	0.3246E-03	0.1805E+02	0.2540E-03
0.2287E+03	0.8116E-03	0.4513E+02	0.6350E-03
0.4267E+03	0.1600E-02	0.9027E+02	0.1270E-02
0.5925E+03	0.2366E-02	0.1354E+03	0.1905E-02
0.7138E+03	0.3097E-02	0.1805E+03	0.2540E-02
0.1155E+04	0.7275E-02	0.4476E+03	0.6350E-02
0.1571E+04	0.1399E-01	0.8410E+03	0.1270E-01
0.1689E+04	0.1727E-01	0.9612E+03	0.1588E-01
0.1897E+04	0.2408E-01	0.1170E+04	0.2250E-01
0.2580E+04	0.4719E-01	0.1855E+04	0.4500E-01

Pilote Perforado de 1.20 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9661E-01	0.2964E-06	0.2407E-01	0.2540E-06
0.4830E+00	0.1482E-05	0.1204E+00	0.1270E-05
0.9661E+00	0.2964E-05	0.2407E+00	0.2540E-05
0.4842E+02	0.1482E-03	0.1204E+02	0.1270E-03
0.7266E+02	0.2224E-03	0.1805E+02	0.1905E-03
0.9688E+02	0.2965E-03	0.2407E+02	0.2540E-03
0.2422E+03	0.7412E-03	0.6018E+02	0.6350E-03
0.4776E+03	0.1480E-02	0.1204E+03	0.1270E-02
0.6706E+03	0.2200E-02	0.1805E+03	0.1905E-02
0.8480E+03	0.2915E-02	0.2407E+03	0.2540E-02
0.1488E+04	0.7022E-02	0.6008E+03	0.6350E-02
0.2145E+04	0.1369E-01	0.1174E+04	0.1270E-01
0.2389E+04	0.1699E-01	0.1415E+04	0.1588E-01
0.3049E+04	0.3144E-01	0.2080E+04	0.3000E-01
0.4265E+04	0.6205E-01	0.3298E+04	0.6000E-01

Pilote Perforado de 1.50 m

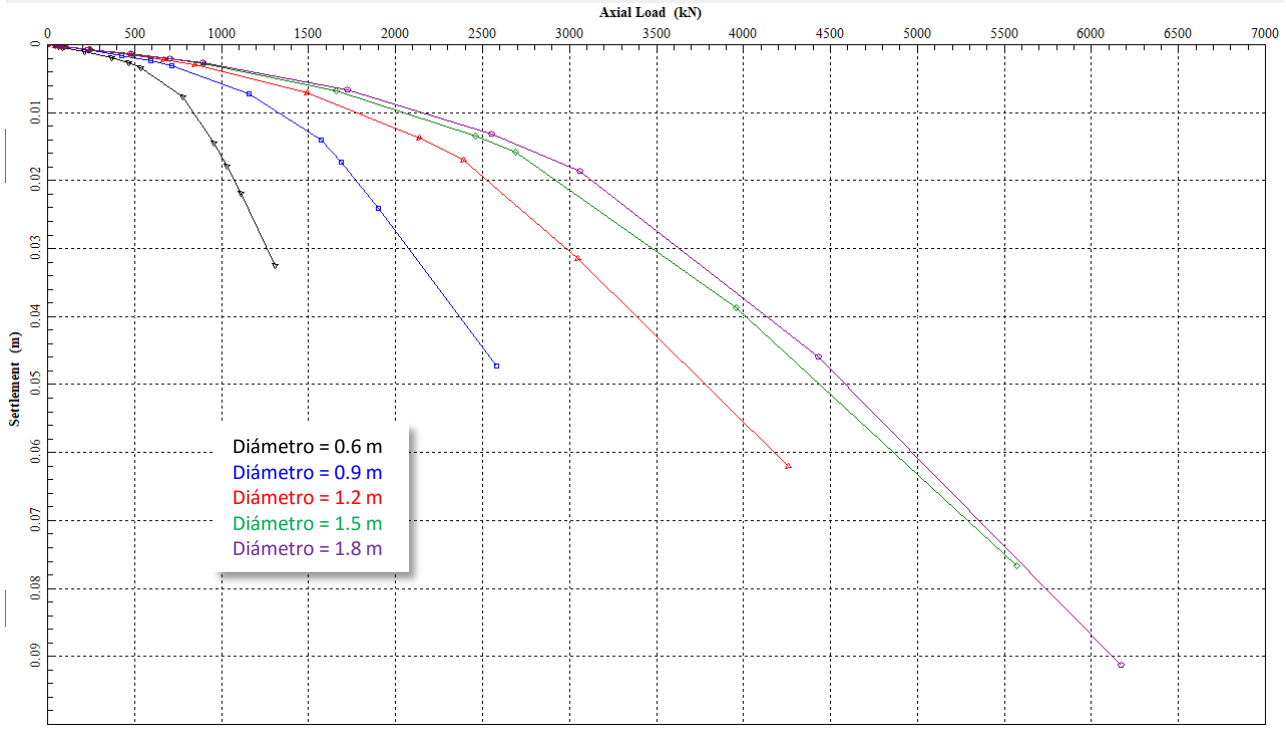
RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9770E-01	0.2815E-06	0.2544E-01	0.2540E-06
0.4885E+00	0.1407E-05	0.1272E+00	0.1270E-05
0.9770E+00	0.2815E-05	0.2544E+00	0.2540E-05
0.4891E+02	0.1408E-03	0.1272E+02	0.1270E-03
0.7339E+02	0.2112E-03	0.1908E+02	0.1905E-03
0.9787E+02	0.2815E-03	0.2544E+02	0.2540E-03
0.2447E+03	0.7039E-03	0.6361E+02	0.6350E-03
0.4894E+03	0.1408E-02	0.1272E+03	0.1270E-02
0.7017E+03	0.2103E-02	0.1908E+03	0.1905E-02
0.8976E+03	0.2794E-02	0.2544E+03	0.2540E-02
0.1658E+04	0.6827E-02	0.6361E+03	0.6350E-02
0.2461E+04	0.1342E-01	0.1257E+04	0.1270E-01
0.2692E+04	0.1580E-01	0.1481E+04	0.1500E-01
0.3960E+04	0.3870E-01	0.2747E+04	0.3750E-01
0.5566E+04	0.7672E-01	0.4357E+04	0.7500E-01

Pilote Perforado de 1.80 m

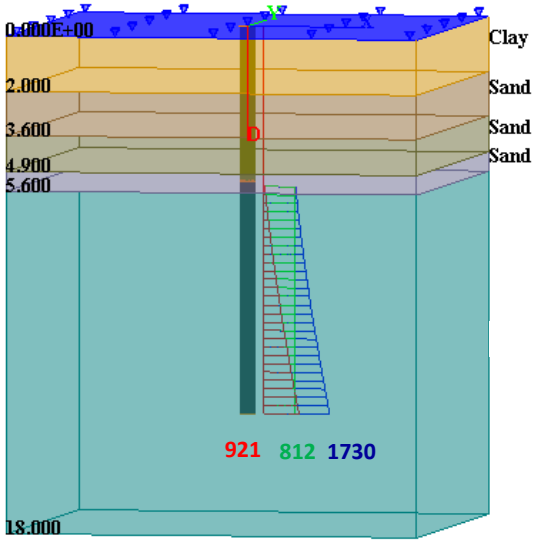
RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.9502E-01	0.2725E-06	0.2296E-01	0.2540E-06
0.4751E+00	0.1363E-05	0.1148E+00	0.1270E-05
0.9502E+00	0.2725E-05	0.2296E+00	0.2540E-05
0.4754E+02	0.1363E-03	0.1148E+02	0.1270E-03
0.7133E+02	0.2044E-03	0.1722E+02	0.1905E-03
0.9513E+02	0.2725E-03	0.2296E+02	0.2540E-03
0.2378E+03	0.6813E-03	0.5740E+02	0.6350E-03
0.4757E+03	0.1363E-02	0.1148E+03	0.1270E-02
0.7046E+03	0.2042E-02	0.1722E+03	0.1905E-02
0.8938E+03	0.2715E-02	0.2296E+03	0.2540E-02
0.1724E+04	0.6692E-02	0.5740E+03	0.6350E-02
0.2552E+04	0.1322E-01	0.1138E+04	0.1270E-01
0.3056E+04	0.1863E-01	0.1604E+04	0.1800E-01
0.4430E+04	0.4593E-01	0.2975E+04	0.4500E-01
0.6168E+04	0.9132E-01	0.4718E+04	0.9000E-01



Curva carga axial vs. asentamiento

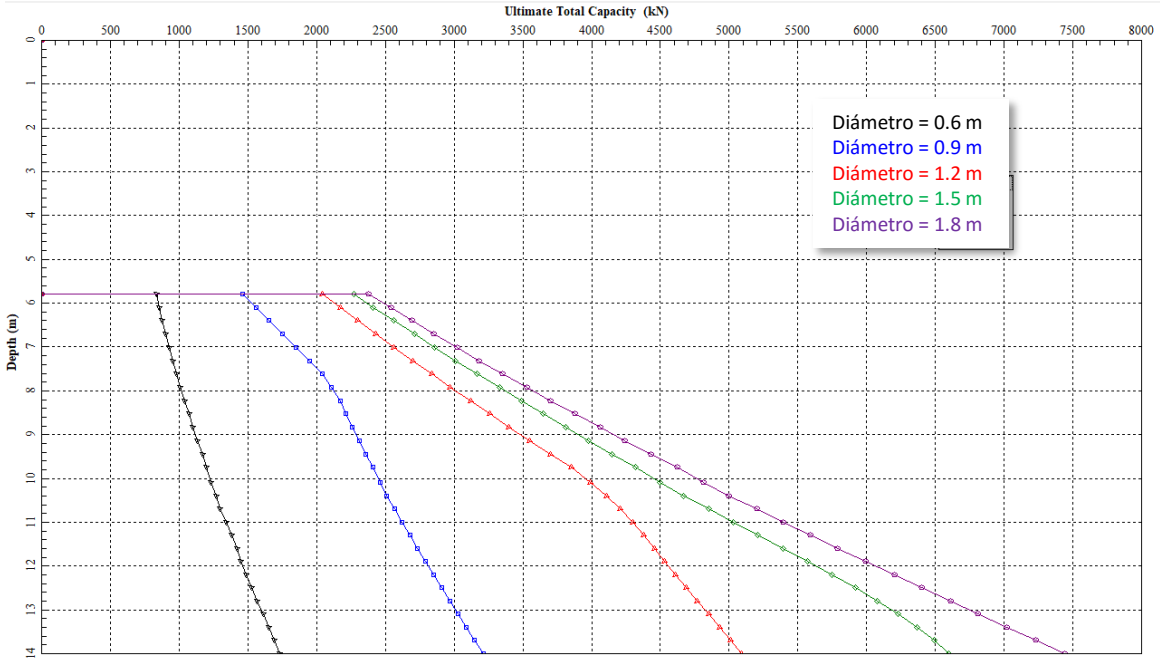
SONDAJE 4



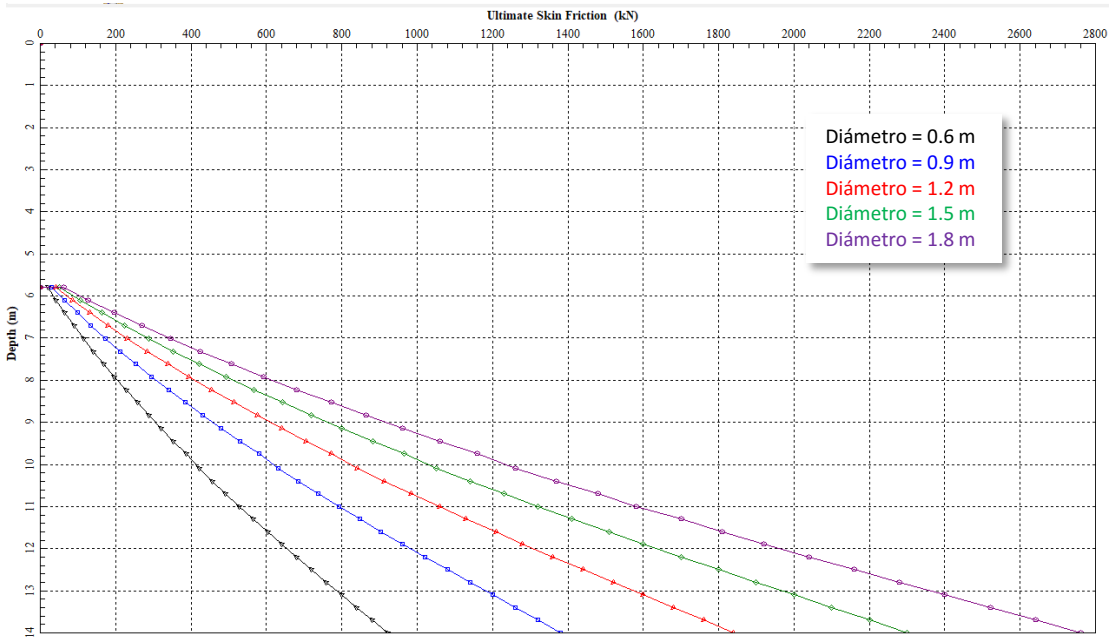
Resistencia última correspondiente a pilote de ∅=0.6 m

Skin Friction
Tip resistance
Total Resistance

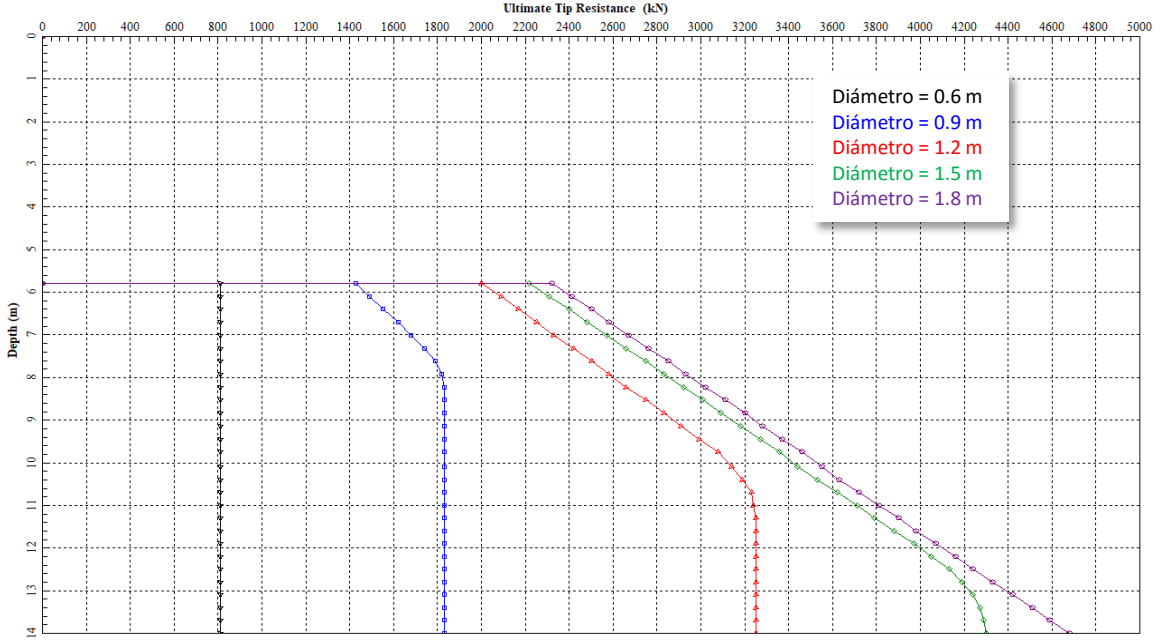
Resistencia total última vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Resistencia lateral última vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Resistencia por punta vs. profundidad para pilotes de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro



Método ASD
(Allowable Stress Design)

SONDAJE 4

QS = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (FOR UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
QBD = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING A FACTOR OF SAFETY APPLIED TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE;
QDN = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING FACTORS OF SAFETY APPLIED TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE AND THE ULTIMATE BASE RESISTANCE.

FS = 2.5

Pilote Perforado de 0.60 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
6.0	1.7	35.5	812.4	847.9	360.5	339.2	499.85
6.5	1.8	73.3	812.4	885.7	398.3	354.3	481.92
7.0	2.0	114.1	812.4	926.5	439.0	370.6	468.01
7.5	2.1	158.0	812.4	970.3	482.9	388.1	457.54
8.0	2.3	204.4	812.4	1016.8	529.4	406.7	449.46
8.5	2.4	253.4	812.4	1065.8	578.4	426.3	443.39
9.0	2.5	304.9	812.4	1117.3	629.9	446.9	439.00
9.5	2.7	358.5	812.4	1170.9	683.5	468.4	435.85
10.0	2.8	414.3	812.4	1226.7	739.3	490.7	433.77
10.5	3.0	472.0	812.4	1284.4	797.0	513.8	432.55
11.0	3.1	531.5	812.4	1343.8	856.4	537.5	431.99
11.5	3.3	592.6	812.4	1405.0	917.6	562.0	432.01
12.0	3.4	655.3	812.4	1467.6	980.2	587.1	432.47
12.5	3.5	719.2	812.4	1531.6	1044.2	612.6	433.26
13.0	3.7	784.5	812.4	1596.9	1109.5	638.8	434.36
13.5	3.8	850.9	812.4	1663.3	1175.8	665.3	435.65
14.0	4.0	918.2	812.4	1730.6	1243.2	692.2	437.10

Pilote Perforado de 0.90 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
6.0	3.8	53.3	1472.4	1525.7	642.3	610.3	399.57
6.5	4.1	110.0	1573.9	1683.9	739.5	673.6	407.09
7.0	4.5	171.1	1675.5	1846.6	841.3	738.6	414.57
7.5	4.8	236.9	1768.4	2005.3	944.3	802.1	420.18
8.0	5.1	306.6	1818.2	2124.9	1033.9	849.9	417.46
8.5	5.4	380.1	1827.7	2207.9	1111.2	883.1	408.23
9.0	5.7	457.4	1827.9	2285.3	1188.5	914.1	399.09
9.5	6.0	537.8	1827.9	2365.7	1269.0	946.3	391.37
10.0	6.4	621.5	1827.9	2449.3	1352.6	979.7	384.95
10.5	6.7	708.0	1827.9	2535.9	1439.2	1014.4	379.58
11.0	7.0	797.2	1827.9	2625.0	1528.3	1050.0	375.05
11.5	7.3	888.9	1827.9	2716.8	1620.1	1086.7	371.28
12.0	7.6	982.9	1827.9	2810.7	1714.0	1124.3	368.12
12.5	8.0	1078.8	1827.9	2906.7	1810.0	1162.7	365.45
13.0	8.3	1176.8	1827.9	3004.6	1907.9	1201.9	363.24
13.5	8.6	1276.3	1827.9	3104.2	2007.5	1241.7	361.37
14.0	8.9	1377.3	1827.9	3205.2	2108.5	1282.1	359.80

Pilote Perforado de 1.20 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
6.0	6.8	71.1	2059.0	2130.1	894.7	852.0	313.81
6.5	7.4	146.6	2194.4	2341.1	1024.4	936.4	318.36
7.0	7.9	228.2	2329.8	2558.0	1160.1	1023.2	323.04
7.5	8.5	315.9	2465.2	2781.1	1302.0	1112.5	327.78
8.0	9.0	408.8	2600.6	3009.5	1449.1	1203.8	332.53
8.5	9.6	506.8	2736.0	3242.9	1601.3	1297.1	337.25
9.0	10.2	609.8	2871.4	3481.3	1758.4	1392.5	341.92
9.5	10.7	717.1	3006.8	3723.9	1919.8	1489.6	346.51
10.0	11.3	828.6	3130.3	3958.9	2080.7	1583.6	349.96
10.5	11.9	944.1	3209.4	4153.5	2227.8	1661.4	349.70
11.0	12.4	1062.9	3244.6	4307.5	2360.7	1723.0	346.17
11.5	13.0	1185.2	3249.5	4434.8	2485.0	1773.9	340.92
12.0	13.6	1310.5	3249.5	4560.1	2610.3	1824.0	335.94
12.5	14.1	1438.4	3249.5	4688.0	2738.2	1875.2	331.54
13.0	14.7	1569.0	3249.5	4818.6	2868.8	1927.4	327.68
13.5	15.3	1701.7	3249.5	4951.3	3001.6	1980.5	324.23
14.0	15.8	1836.4	3249.5	5086.0	3136.2	2034.4	321.15

Pilote Perforado de 1.50 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
6.0	10.6	88.8	2280.8	2369.7	1001.2	947.9	223.42
6.5	11.5	183.3	2424.1	2607.4	1152.9	1043.0	226.93
7.0	12.4	285.2	2567.4	2852.6	1312.2	1141.1	230.56
7.5	13.3	394.9	2710.7	3105.6	1479.2	1242.2	234.25
8.0	14.1	511.0	2854.0	3365.1	1652.6	1346.0	237.96
8.5	15.0	633.5	2997.3	3630.9	1832.5	1452.4	241.67
9.0	15.9	762.3	3140.6	3902.9	2018.6	1561.2	245.33
9.5	16.8	896.4	3283.9	4180.3	2209.9	1672.1	248.95
10.0	17.7	1035.8	3427.2	4463.0	2406.7	1785.2	252.49
10.5	18.6	1180.1	3570.5	4750.6	2608.3	1900.2	255.96
11.0	19.4	1328.6	3713.8	5042.4	2814.2	2017.0	259.35
11.5	20.3	1481.5	3857.1	5338.6	3024.4	2135.5	262.64
12.0	21.2	1638.1	3999.7	5637.9	3238.0	2255.1	265.80
12.5	22.1	1798.0	4128.1	5926.1	3449.3	2370.4	268.22
13.0	23.0	1961.3	4219.1	6180.3	3648.9	2472.1	268.97
13.5	23.9	2127.2	4273.3	6400.5	3836.5	2560.2	268.24
14.0	24.7	2295.5	4295.4	6590.9	4013.7	2636.4	266.35

Pilote Perforado de 1.80 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
6.0	15.3	106.6	2382.6	2489.2	1059.6	995.7	162.98
6.5	16.5	219.9	2525.9	2745.8	1230.3	1098.3	165.95
7.0	17.8	342.2	2669.2	3011.4	1409.9	1204.6	169.02
7.5	19.1	473.9	2812.5	3286.3	1598.8	1314.5	172.14
8.0	20.4	613.2	2955.8	3569.0	1795.5	1427.6	175.27
8.5	21.6	760.3	3099.1	3859.3	1999.9	1543.7	178.38
9.0	22.9	914.8	3242.4	4157.1	2211.7	1662.9	181.46
9.5	24.2	1075.6	3385.7	4461.3	2429.9	1784.5	184.50
10.0	25.5	1242.9	3529.0	4771.9	2654.5	1908.8	187.48
10.5	26.7	1416.1	3672.3	5088.4	2885.0	2035.3	190.39
11.0	28.0	1594.4	3815.6	5409.9	3120.6	2164.0	193.23
11.5	29.3	1777.8	3958.9	5736.7	3361.4	2294.7	195.98
12.0	30.5	1965.8	4102.2	6067.9	3606.6	2427.2	198.66
12.5	31.8	2157.6	4245.5	6403.1	3855.8	2561.2	201.26
13.0	33.1	2353.5	4388.8	6742.3	4109.0	2696.9	203.76
13.5	34.4	2552.6	4532.1	7084.7	4365.4	2833.9	206.18
14.0	35.6	2754.6	4675.4	7430.0	4624.8	2972.0	208.51

Método LRFD
(Load and Resistance Factor Design)

SONDAJE 4

```
QS      = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB      = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT      = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU      = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
LRFD QS = TOTAL SIDE FRICTION USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
LRFD QB = TOTAL BASE BEARING USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE
LRFD QU = TOTAL CAPACITY WITH LRFD RESISTANCE FACTOR.
```

Factor de resistencia de punta: φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral: φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

Pilote Perforado de 0.60 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
6.0	1.7	35.5	812.4	847.9	19.5	406.2	425.74
6.5	1.8	73.3	812.4	885.7	40.3	406.2	446.52
7.0	2.0	114.1	812.4	926.5	62.7	406.2	468.94
7.5	2.1	158.0	812.4	970.3	86.9	406.2	493.07
8.0	2.3	204.4	812.4	1016.8	112.4	406.2	518.62
8.5	2.4	253.4	812.4	1065.8	139.4	406.2	545.57
9.0	2.5	304.9	812.4	1117.3	167.7	406.2	573.90
9.5	2.7	358.5	812.4	1170.9	197.2	406.2	603.39
10.0	2.8	414.3	812.4	1226.7	227.9	406.2	634.06
10.5	3.0	472.0	812.4	1284.4	259.6	406.2	665.81
11.0	3.1	531.5	812.4	1343.8	292.3	406.2	698.49
11.5	3.3	592.6	812.4	1405.0	325.9	406.2	732.13
12.0	3.4	655.3	812.4	1467.6	360.4	406.2	766.58
12.5	3.5	719.2	812.4	1531.6	395.6	406.2	801.76
13.0	3.7	784.5	812.4	1596.9	431.5	406.2	837.67
13.5	3.8	850.9	812.4	1663.3	468.0	406.2	874.17
14.0	4.0	918.2	812.4	1730.6	505.0	406.2	911.21

Pilote Perforado de 0.90 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
6.0	3.8	53.3	1472.4	1525.7	29.3	736.2	765.50
6.5	4.1	110.0	1573.9	1683.9	60.5	787.0	847.45
7.0	4.5	171.1	1675.5	1846.6	94.1	837.7	931.85
7.5	4.8	236.9	1768.4	2005.3	130.3	884.2	1014.50
8.0	5.1	306.6	1818.2	2124.9	168.6	909.1	1077.76
8.5	5.4	380.1	1827.7	2207.9	209.1	913.9	1122.93
9.0	5.7	457.4	1827.9	2285.3	251.6	913.9	1165.49
9.5	6.0	537.8	1827.9	2365.7	295.8	913.9	1209.74
10.0	6.4	621.5	1827.9	2449.3	341.8	913.9	1255.74
10.5	6.7	708.0	1827.9	2535.9	389.4	913.9	1303.36
11.0	7.0	797.2	1827.9	2625.0	438.4	913.9	1352.38
11.5	7.3	888.9	1827.9	2716.8	488.9	913.9	1402.84
12.0	7.6	982.9	1827.9	2810.7	540.6	913.9	1454.52
12.5	8.0	1078.8	1827.9	2906.7	593.3	913.9	1507.28
13.0	8.3	1176.8	1827.9	3004.6	647.2	913.9	1561.16
13.5	8.6	1276.3	1827.9	3104.2	702.0	913.9	1615.91
14.0	8.9	1377.3	1827.9	3205.2	757.5	913.9	1671.46

Pilote Perforado de 1.20 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
6.0	6.8	71.1	2059.0	2130.1	39.1	1029.5	1068.61
6.5	7.4	146.6	2194.4	2341.1	80.6	1097.2	1177.87
7.0	7.9	228.2	2329.8	2558.0	125.5	1164.9	1290.41
7.5	8.5	315.9	2465.2	2781.1	173.7	1232.6	1406.37
8.0	9.0	408.8	2600.6	3009.5	224.9	1300.3	1525.17
8.5	9.6	506.8	2736.0	3242.9	278.8	1368.0	1646.78
9.0	10.2	609.8	2871.4	3481.3	335.4	1435.7	1771.13
9.5	10.7	717.1	3006.8	3723.9	394.4	1503.4	1897.81
10.0	11.3	828.6	3130.3	3958.9	455.7	1565.1	2020.89
10.5	11.9	944.1	3209.4	4153.5	519.2	1604.7	2123.93
11.0	12.4	1062.9	3244.6	4307.5	584.6	1622.3	2206.87
11.5	13.0	1185.2	3249.5	4434.8	651.9	1624.8	2276.65
12.0	13.6	1310.5	3249.5	4560.1	720.8	1624.8	2345.55
12.5	14.1	1438.4	3249.5	4688.0	791.1	1624.8	2415.90
13.0	14.7	1569.0	3249.5	4818.6	863.0	1624.8	2487.74
13.5	15.3	1701.7	3249.5	4951.3	936.0	1624.8	2560.74
14.0	15.8	1836.4	3249.5	5086.0	1010.0	1624.8	2634.81

Pilote Perforado de 1.50 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
6.0	10.6	88.8	2280.8	2369.7	48.9	1140.4	1189.28
6.5	11.5	183.3	2424.1	2607.4	100.8	1212.1	1312.88
7.0	12.4	285.2	2567.4	2852.6	156.9	1283.7	1440.58
7.5	13.3	394.9	2710.7	3105.6	217.2	1355.4	1572.55
8.0	14.1	511.0	2854.0	3365.1	281.1	1427.0	1708.08
8.5	15.0	633.5	2997.3	3630.9	348.5	1498.7	1847.12
9.0	15.9	762.3	3140.6	3902.9	419.3	1570.3	1989.58
9.5	16.8	896.4	3283.9	4180.3	493.0	1642.0	2134.97
10.0	17.7	1035.8	3427.2	4463.0	569.7	1713.6	2283.29
10.5	18.6	1180.1	3570.5	4750.6	649.0	1785.3	2434.30
11.0	19.4	1328.6	3713.8	5042.4	730.7	1856.9	2587.65
11.5	20.3	1481.5	3857.1	5338.6	814.8	1928.6	2743.40
12.0	21.2	1638.1	3999.7	5637.9	901.0	1999.9	2900.84
12.5	22.1	1798.0	4128.1	5926.1	988.9	2064.0	3052.95
13.0	23.0	1961.3	4219.1	6180.3	1078.7	2109.5	3188.23
13.5	23.9	2127.2	4273.3	6400.5	1170.0	2136.7	3306.60
14.0	24.7	2295.5	4295.4	6590.9	1262.5	2147.7	3410.24

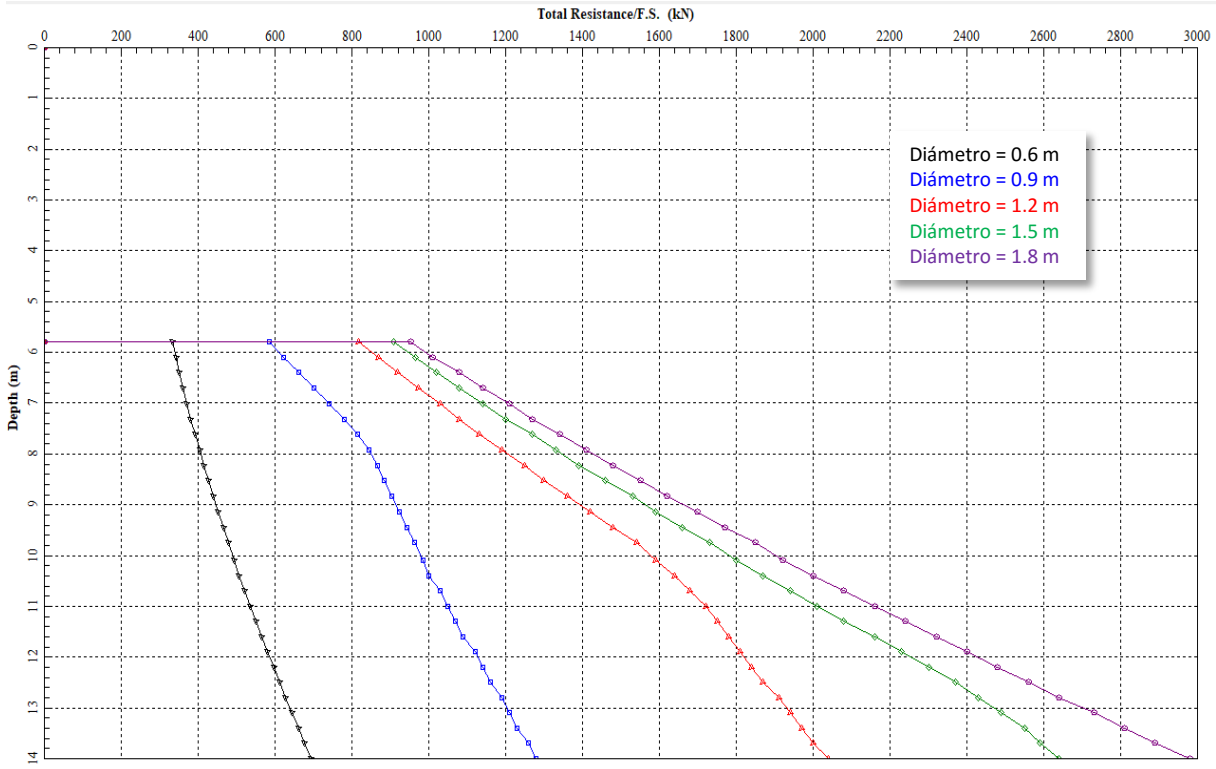
Pilote Perforado de 1.80 m

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
6.0	15.3	106.6	2382.6	2489.2	58.6	1191.3	1249.93
6.5	16.5	219.9	2525.9	2745.8	121.0	1262.9	1383.91
7.0	17.8	342.2	2669.2	3011.4	188.2	1334.6	1522.82
7.5	19.1	473.9	2812.5	3286.3	260.6	1406.2	1666.86
8.0	20.4	613.2	2955.8	3569.0	337.3	1477.9	1815.17
8.5	21.6	760.3	3099.1	3859.3	418.1	1549.5	1967.68
9.0	22.9	914.8	3242.4	4157.1	503.1	1621.2	2124.31
9.5	24.2	1075.6	3385.7	4461.3	591.6	1692.8	2284.44
10.0	25.5	1242.9	3529.0	4771.9	683.6	1764.5	2448.10
10.5	26.7	1416.1	3672.3	5088.4	778.8	1836.1	2614.98
11.0	28.0	1594.4	3815.6	5409.9	876.9	1907.8	2784.68
11.5	29.3	1777.8	3958.9	5736.7	977.8	1979.4	2957.24
12.0	30.5	1965.8	4102.2	6067.9	1081.2	2051.1	3132.25
12.5	31.8	2157.6	4245.5	6403.1	1186.7	2122.7	3309.42
13.0	33.1	2353.5	4388.8	6742.3	1294.4	2194.4	3488.82
13.5	34.4	2552.6	4532.1	7084.7	1403.9	2266.0	3669.97
14.0	35.6	2754.6	4675.4	7430.0	1515.0	2337.7	3852.72

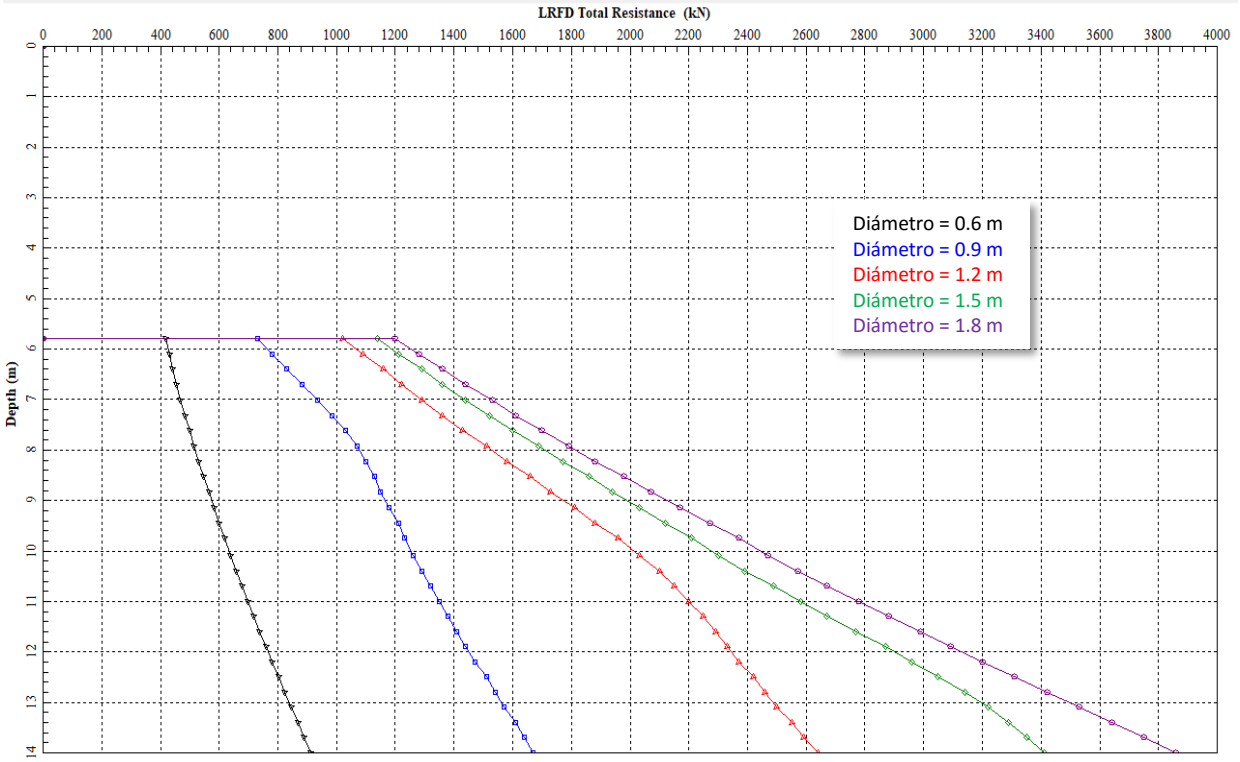
Carga Total Admisible vs. Profundidad

SONDAJE 4

Método ASD (Allowable Stress Design)



Método LRFD(Load and Resistance Factor Design)



Carga Axial Vs. Asentamiento

SONDAJE 4

Pilote Perforado de 0.60 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.1539E+00	0.4801E-06	0.1204E-01	0.2540E-06
0.7696E+00	0.2401E-05	0.6018E-01	0.1270E-05
0.1539E+01	0.4801E-05	0.1204E+00	0.2540E-05
0.7769E+02	0.2410E-03	0.6018E+01	0.1270E-03
0.1165E+03	0.3615E-03	0.9027E+01	0.1905E-03
0.1554E+03	0.4819E-03	0.1204E+02	0.2540E-03
0.3723E+03	0.1185E-02	0.3009E+02	0.6350E-03
0.6239E+03	0.2203E-02	0.6018E+02	0.1270E-02
0.7655E+03	0.3063E-02	0.9027E+02	0.1905E-02
0.8647E+03	0.3858E-02	0.1204E+03	0.2540E-02
0.1156E+04	0.8191E-02	0.2935E+03	0.6350E-02
0.1332E+04	0.1489E-01	0.4716E+03	0.1270E-01
0.1401E+04	0.1821E-01	0.5412E+03	0.1588E-01
0.1489E+04	0.2235E-01	0.6304E+03	0.1984E-01
0.1682E+04	0.3289E-01	0.8245E+03	0.3000E-01

Pilote Perforado de 0.90 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.1523E+00	0.3560E-06	0.1805E-01	0.2540E-06
0.7617E+00	0.1780E-05	0.9027E-01	0.1270E-05
0.1523E+01	0.3560E-05	0.1805E+00	0.2540E-05
0.7649E+02	0.1782E-03	0.9027E+01	0.1270E-03
0.1147E+03	0.2673E-03	0.1354E+02	0.1905E-03
0.1530E+03	0.3564E-03	0.1805E+02	0.2540E-03
0.3825E+03	0.8909E-03	0.4513E+02	0.6350E-03
0.7031E+03	0.1743E-02	0.9027E+02	0.1270E-02
0.9589E+03	0.2556E-02	0.1354E+03	0.1905E-02
0.1138E+04	0.3318E-02	0.1805E+03	0.2540E-02
0.1706E+04	0.7561E-02	0.4476E+03	0.6350E-02
0.2135E+04	0.1428E-01	0.8410E+03	0.1270E-01
0.2252E+04	0.1756E-01	0.9612E+03	0.1588E-01
0.2459E+04	0.2437E-01	0.1170E+04	0.2250E-01
0.3141E+04	0.4748E-01	0.1855E+04	0.4500E-01

Pilote Perforado de 1.20 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.1556E+00	0.3136E-06	0.2407E-01	0.2540E-06
0.7780E+00	0.1568E-05	0.1204E+00	0.1270E-05
0.1556E+01	0.3136E-05	0.2407E+00	0.2540E-05
0.7797E+02	0.1568E-03	0.1204E+02	0.1270E-03
0.1170E+03	0.2353E-03	0.1805E+02	0.1905E-03
0.1560E+03	0.3137E-03	0.2407E+02	0.2540E-03
0.3900E+03	0.7843E-03	0.6018E+02	0.6350E-03
0.7640E+03	0.1563E-02	0.1204E+03	0.1270E-02
0.1064E+04	0.2315E-02	0.1805E+03	0.1905E-02
0.1328E+04	0.3055E-02	0.2407E+03	0.2540E-02
0.2181E+04	0.7224E-02	0.6008E+03	0.6350E-02
0.2896E+04	0.1391E-01	0.1174E+04	0.1270E-01
0.3142E+04	0.1721E-01	0.1415E+04	0.1588E-01
0.3799E+04	0.3166E-01	0.2080E+04	0.3000E-01
0.5012E+04	0.6227E-01	0.3298E+04	0.6000E-01

Pilote Perforado de 1.50 m

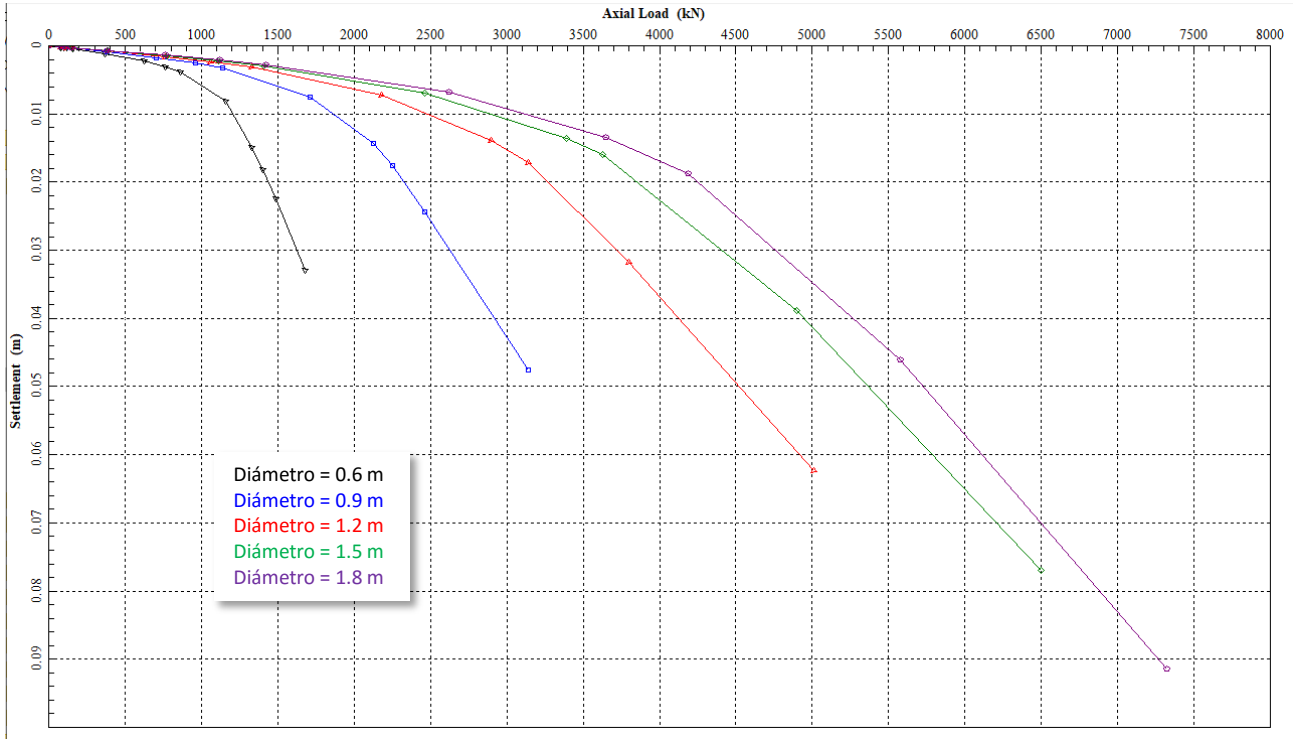
RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.1555E+00	0.2923E-06	0.2546E-01	0.2540E-06
0.7774E+00	0.1461E-05	0.1273E+00	0.1270E-05
0.1555E+01	0.2923E-05	0.2546E+00	0.2540E-05
0.7782E+02	0.1462E-03	0.1273E+02	0.1270E-03
0.1168E+03	0.2193E-03	0.1909E+02	0.1905E-03
0.1557E+03	0.2923E-03	0.2546E+02	0.2540E-03
0.3893E+03	0.7309E-03	0.6365E+02	0.6350E-03
0.7786E+03	0.1462E-02	0.1273E+03	0.1270E-02
0.1107E+04	0.2179E-02	0.1909E+03	0.1905E-02
0.1407E+04	0.2889E-02	0.2546E+03	0.2540E-02
0.2456E+04	0.6977E-02	0.6365E+03	0.6350E-02
0.3393E+04	0.1360E-01	0.1258E+04	0.1270E-01
0.3629E+04	0.1597E-01	0.1482E+04	0.1500E-01
0.4899E+04	0.3888E-01	0.2749E+04	0.3750E-01
0.6503E+04	0.7689E-01	0.4360E+04	0.7500E-01

Pilote Perforado de 1.80 m

RESULT FROM TREND (AVERAGED) LINE

TOP LOAD KN.	TOP MOVEMENT M.	TIP LOAD KN.	TIP MOVEMENT M.
0.1522E+00	0.2800E-06	0.2312E-01	0.2540E-06
0.7610E+00	0.1400E-05	0.1156E+00	0.1270E-05
0.1522E+01	0.2800E-05	0.2312E+00	0.2540E-05
0.7612E+02	0.1400E-03	0.1156E+02	0.1270E-03
0.1142E+03	0.2100E-03	0.1734E+02	0.1905E-03
0.1523E+03	0.2800E-03	0.2312E+02	0.2540E-03
0.3809E+03	0.6999E-03	0.5780E+02	0.6350E-03
0.7618E+03	0.1400E-02	0.1156E+03	0.1270E-02
0.1124E+04	0.2097E-02	0.1734E+03	0.1905E-02
0.1418E+04	0.2783E-02	0.2312E+03	0.2540E-02
0.2622E+04	0.6809E-02	0.5780E+03	0.6350E-02
0.3655E+04	0.1336E-01	0.1146E+04	0.1270E-01
0.4191E+04	0.1877E-01	0.1615E+04	0.1800E-01
0.5575E+04	0.4608E-01	0.2996E+04	0.4500E-01
0.7323E+04	0.9147E-01	0.4751E+04	0.9000E-01



Curva carga axial vs. asentamiento

Resumen de resultados de análisis ejecutados en los sondajes Sondaje 1, 2, 3 y 4, utilizando el programa SHAFT 2017, para pilotes perforados de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 y 1.8 m de diámetro, para 12 y 14 m de longitud

Sondaje 1

Diámetro de pilote (m)	Longitud pilote (m)	Resistencia última (kN)	Método ASD Carga total admisible (kN)	Método LRFD Resistencia factorada (kN)
0.6	12	1100.0	440.0	564.4
0.9		2259.4	903.7	1151.25
1.2		3824.9	1529.9	1941.20
1.5		4687.0	1874.8	2379.46
1.8		4932.6	1973.0	2509.44
0.6	14	1349.4	539.7	701.53
0.9		2633.3	1053.3	1356.93
1.2		4323.5	1729.4	2215.44
1.5		5634.8	2253.9	2884.54
1.8		6253.7	2501.5	3207.40

Sondaje 2

Diámetro de pilote (m)	Longitud pilote (m)	Resistencia última (kN)	Método ASD Carga total admisible (kN)	Método LRFD Resistencia factorada (kN)
0.6	12	1077.8	431.1	552.19
0.9		2226.0	890.4	1132.92
1.2		3780.4	1512.2	1916.76
1.5		4631.5	1852.6	2348.92
1.8		4865.9	1946.4	2472.79
0.6	14	1310.8	524.3	680.33
0.9		2575.5	1030.2	1325.14
1.2		4246.4	1698.6	2173.04
1.5		5538.5	2215.4	2831.55
1.8		6138.1	2455.2	3143.81

Sondaje 3

Diámetro de pilote (m)	Longitud pilote (m)	Resistencia última (kN)	Método ASD Carga total admisible (kN)	Método LRFD Resistencia factorada (kN)
0.6	12	1079.0	431.6	552.84
0.9		2227.8	891.1	1133.90
1.2		3782.8	1513.1	1918.07
1.5		4634.4	1853.8	2350.55
1.8		4869.5	1947.8	2474.75
0.6	14	1312.5	525.0	681.25
0.9		2578.0	1031.2	1326.52
1.2		4249.7	1699.9	2174.88
1.5		5542.7	2217.1	2833.85
1.8		6143.1	2457.2	3146.57

Sondaje 4

Diámetro de pilote (m)	Longitud pilote (m)	Resistencia última (kN)	Método ASD Carga total admisible (kN)	Método LRFD Resistencia factorada (kN)
0.6	12	1467.6	587.1	766.58
0.9		2810.7	1124.3	1454.52
1.2		4560.1	1824.0	2345.55
1.5		5637.9	2255.1	2900.84
1.8		6067.9	2427.2	3132.25
0.6	14	1730.6	692.2	911.21
0.9		3205.2	1282.1	1671.46
1.2		5086.0	2034.4	2634.81
1.5		6590.9	2636.4	3410.24
1.8		7430.0	2972.0	3852.72

CAJÓN ∅ = 2.7 m

SONDAJE 1

Método ASD (Allowable Stress Design)

FS = 2.5

```
PREDICTED RESULTS
-----------------

QS     = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB     = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT     = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (FOR UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU     = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
QBD    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING A FACTOR OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE;
QDN    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING FACTORS OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE AND
         THE ULTIMATE BASE RESISTANCE.
```

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	57.3	264.6	3488.1	3752.7	1659.8	1501.1	65.51
10.5	60.1	512.4	3763.5	4275.9	2017.8	1710.4	71.09
11.0	63.0	766.8	4005.6	4772.4	2369.0	1909.0	75.75
11.5	65.9	1027.8	4209.2	5237.0	2711.5	2094.8	79.51
12.0	68.7	1294.4	4375.1	5669.5	3044.5	2267.8	82.49
12.5	71.6	1567.5	4518.4	6085.9	3374.9	2434.4	85.02
13.0	74.4	1846.5	4661.7	6508.2	3711.2	2603.3	87.41
13.5	77.3	2129.6	4805.0	6934.6	4051.6	2773.8	89.69
14.0	80.2	2416.3	4948.3	7364.6	4395.7	2945.9	91.86

Método LRFD(Load and Resistance Factor Design)

Factor de resistencia de punta: φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral: φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

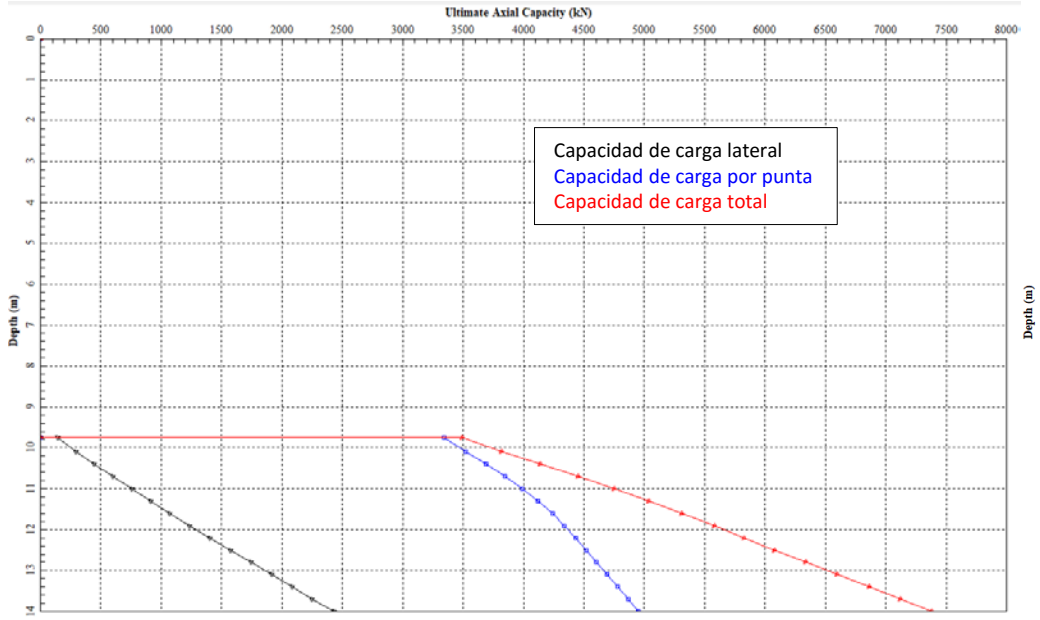
```
PREDICTED RESULTS
-----------------

QS      = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB      = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT      = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU      = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
LRFD QS = TOTAL SIDE FRICTION USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
LRFD QB = TOTAL BASE BEARING USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE
LRFD QU = TOTAL CAPACITY WITH LRFD RESISTANCE FACTOR.
```

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	57.3	264.6	3488.1	3752.7	145.5	1744.1	1889.59
10.5	60.1	512.4	3763.5	4275.9	281.8	1881.8	2163.58
11.0	63.0	766.8	4005.6	4772.4	421.7	2002.8	2424.54
11.5	65.9	1027.8	4209.2	5237.0	565.3	2104.6	2669.90
12.0	68.7	1294.4	4375.1	5669.5	711.9	2187.5	2899.50
12.5	71.6	1567.5	4518.4	6085.9	862.1	2259.2	3121.32
13.0	74.4	1846.5	4661.7	6508.2	1015.6	2330.8	3346.44
13.5	77.3	2129.6	4805.0	6934.6	1171.3	2402.5	3573.78
14.0	80.2	2416.3	4948.3	7364.6	1329.0	2474.1	3803.14

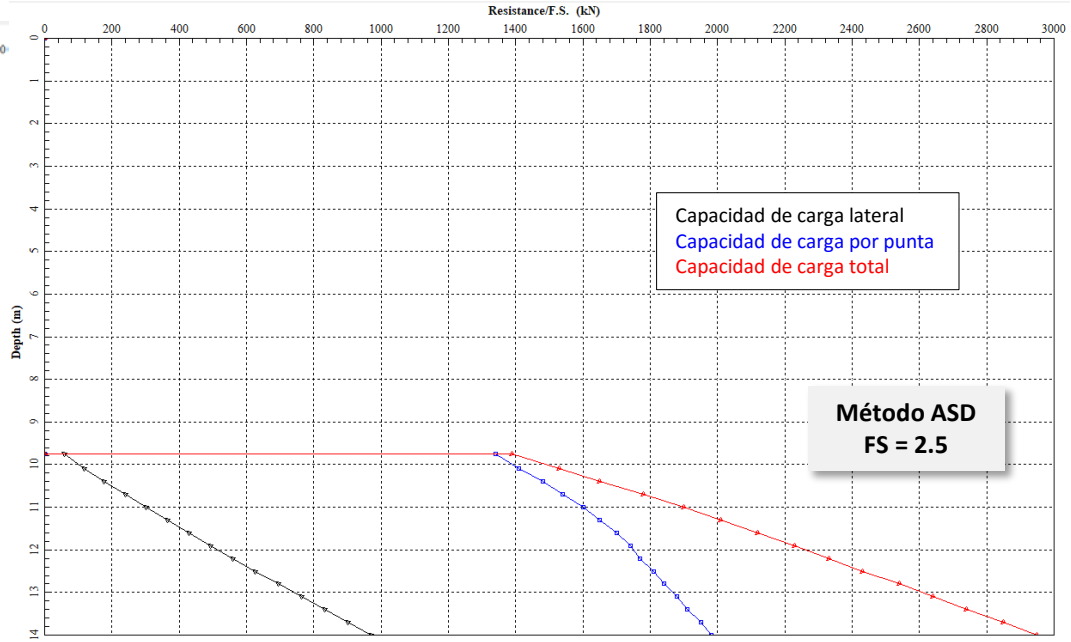
CAJÓN ∅ = 2.7 m

SONDAJE 1

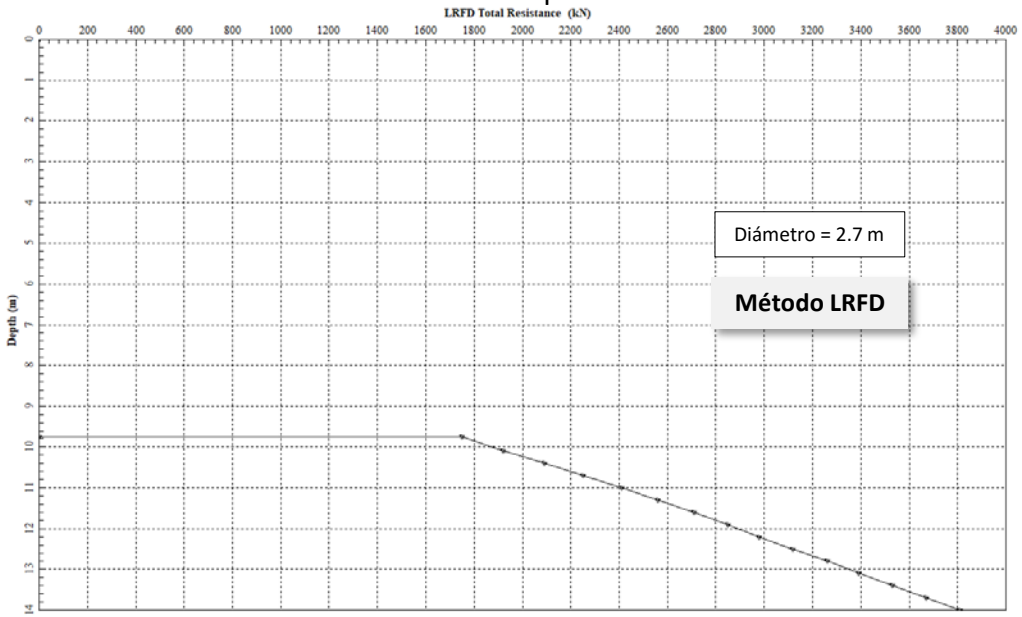
Capacidad de carga última vs. profundidad



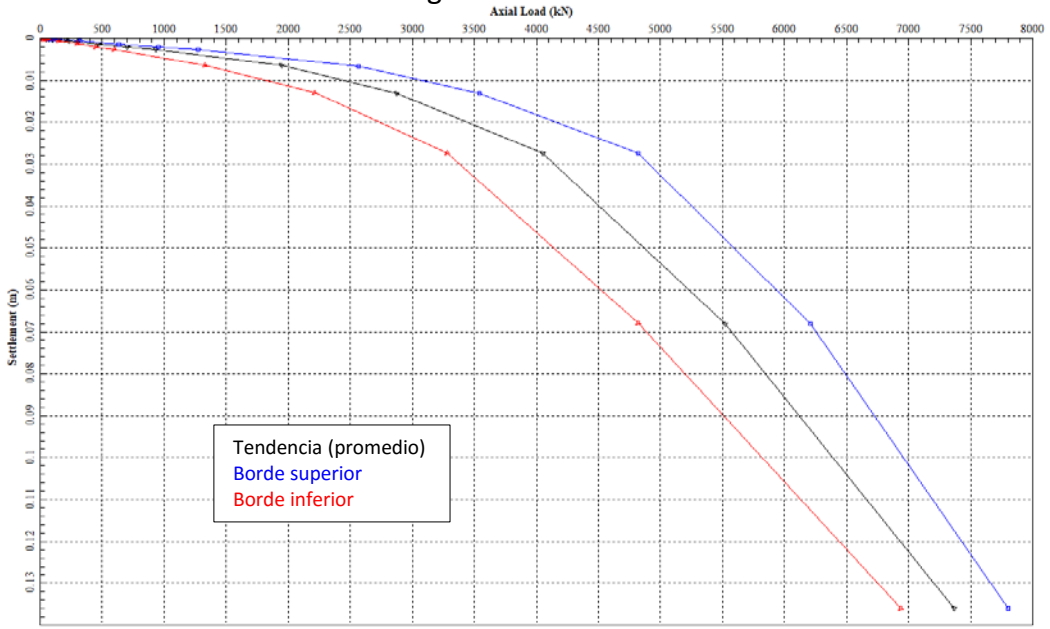
Capacidad de carga admisible vs. profundidad



Resistencia factorada vs. profundidad



Carga axial vs. asentamiento



Factor de resistencia de punta:

φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral:

φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

CAJÓN ∅ = 2.7 m

SONDAJE 2

Método ASD (Allowable Stress Design)

FS = 2.5

```
PREDICTED RESULTS
-----------------

QS     = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB     = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT     = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (FOR UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU     = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
QBD    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING A FACTOR OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE;
QDN    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING FACTORS OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE AND
         THE ULTIMATE BASE RESISTANCE.
```

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	57.3	240.4	3708.9	3949.3	1723.9	1579.7	68.95
10.5	60.1	467.3	3916.3	4383.6	2033.9	1753.4	72.89
11.0	63.0	702.8	4088.5	4791.3	2338.2	1916.5	76.06
11.5	65.9	945.5	4231.8	5177.3	2638.2	2070.9	78.61
12.0	68.7	1194.5	4375.1	5569.6	2944.5	2227.8	81.04
12.5	71.6	1449.0	4518.4	5967.4	3256.4	2387.0	83.36
13.0	74.4	1709.3	4661.7	6370.9	3573.9	2548.4	85.57
13.5	77.3	1974.0	4805.0	6779.0	3896.0	2711.6	87.68
14.0	80.2	2242.9	4948.3	7191.2	4222.2	2876.5	89.69

Método LRFD(Load and Resistance Factor Design)

Factor de resistencia de punta: φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral: φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

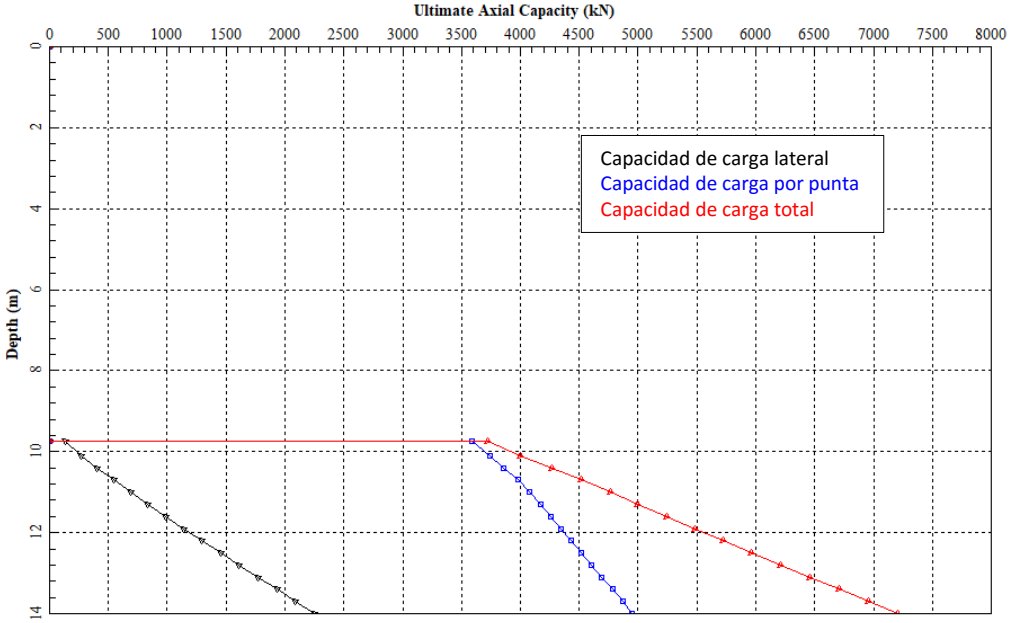
```
PREDICTED RESULTS
-----------------

QS      = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB      = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT      = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU      = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
LRFD QS = TOTAL SIDE FRICTION USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
LRFD QB = TOTAL BASE BEARING USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE
LRFD QU = TOTAL CAPACITY WITH LRFD RESISTANCE FACTOR.
```

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	57.3	240.4	3708.9	3949.3	132.2	1854.4	1986.66
10.5	60.1	467.3	3916.3	4383.6	257.0	1958.1	2215.18
11.0	63.0	702.8	4088.5	4791.3	386.5	2044.3	2430.78
11.5	65.9	945.5	4231.8	5177.3	520.0	2115.9	2635.93
12.0	68.7	1194.5	4375.1	5569.6	657.0	2187.5	2844.51
12.5	71.6	1449.0	4518.4	5967.4	797.0	2259.2	3056.16
13.0	74.4	1709.3	4661.7	6370.9	940.1	2330.8	3270.94
13.5	77.3	1974.0	4805.0	6779.0	1085.7	2402.5	3488.20
14.0	80.2	2242.9	4948.3	7191.2	1233.6	2474.1	3707.74

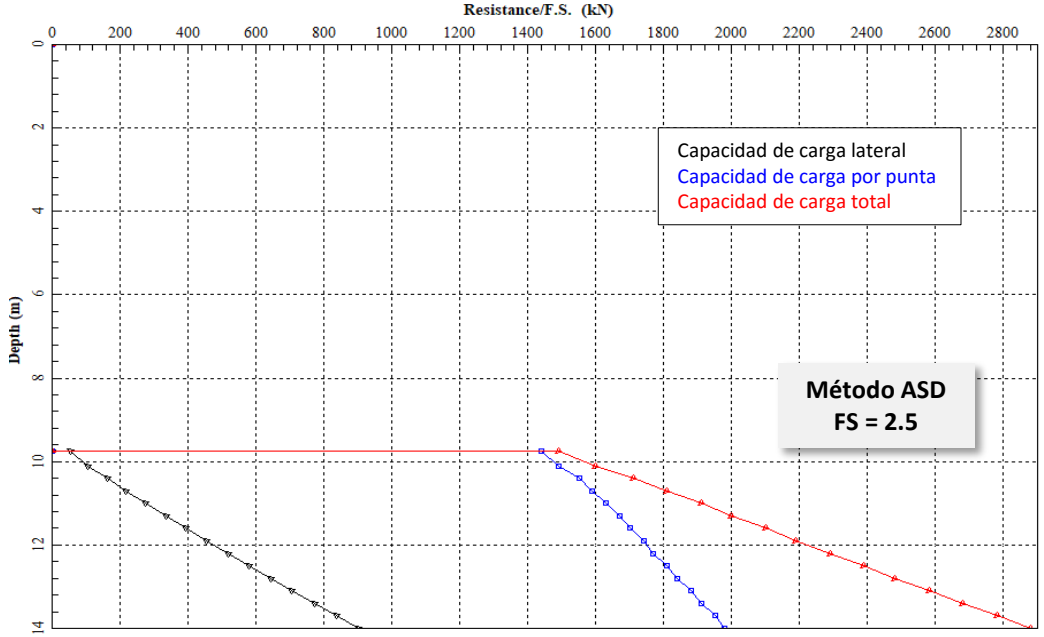
CAJÓN ∅ = 2.7 m

SONDAJE 2

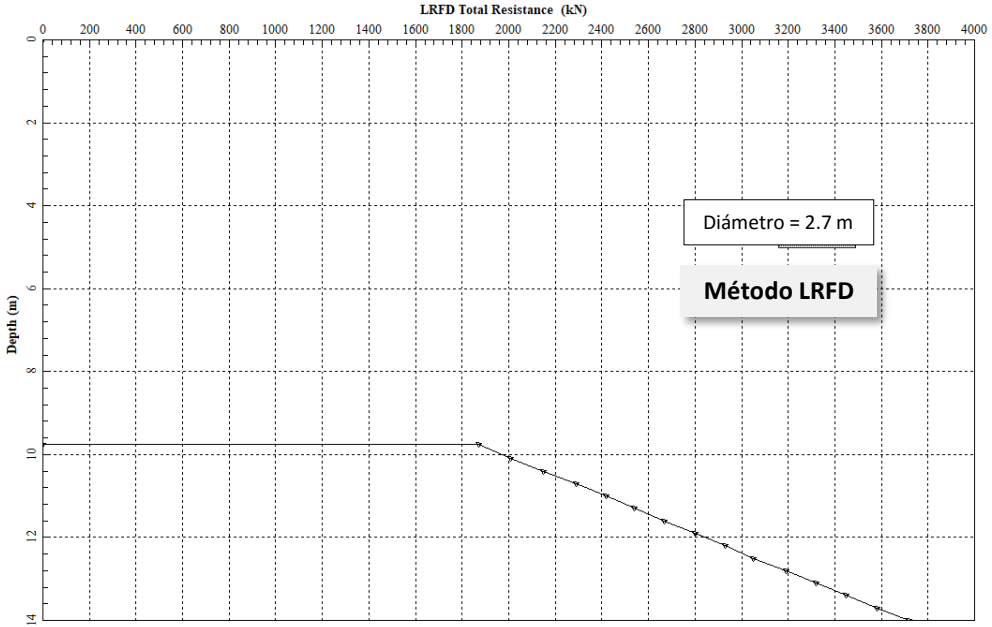
Capacidad de carga última vs. profundidad



Capacidad de carga admisible vs. profundidad



Resistencia factorada vs. profundidad



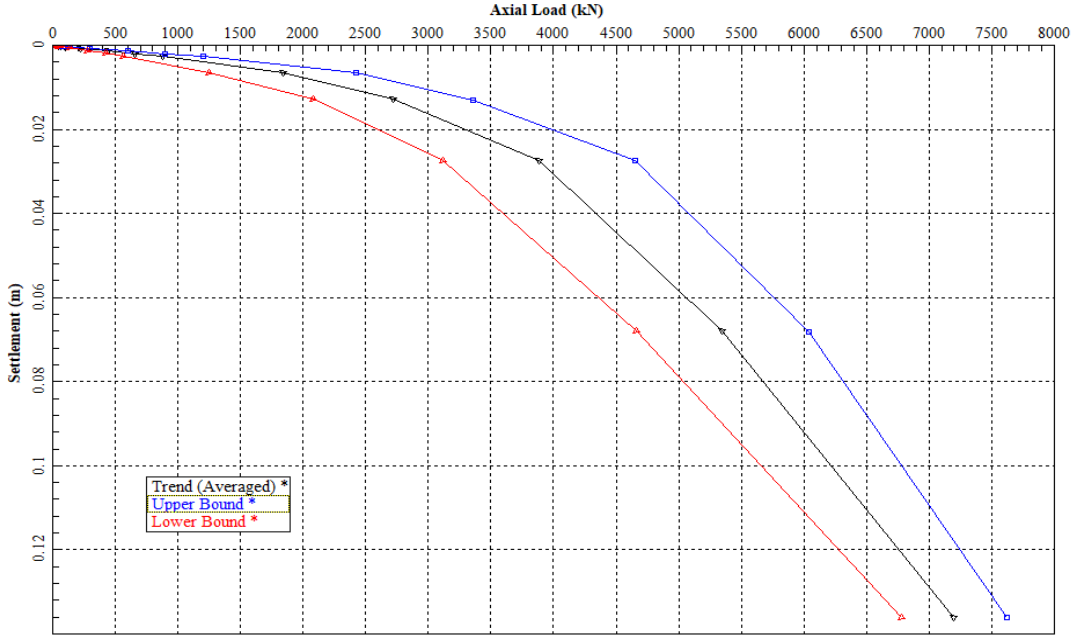
Factor de resistencia de punta:

φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral:

φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

Carga axial vs. asentamiento



CAJÓN ∅ = 2.7 m

SONDAJE 3

Método ASD (Allowable Stress Design)

FS = 2.5

```
PREDICTED RESULTS
-----------------

QS     = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB     = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT     = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (FOR UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU     = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
QBD    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING A FACTOR OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE;
QDN    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING FACTORS OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE AND
         THE ULTIMATE BASE RESISTANCE.
```

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
10.0	57.3	242.0	3801.9	4043.9	1762.7	1617.6	70.61
10.5	60.1	470.9	3945.2	4416.1	2049.0	1766.4	73.43
11.0	63.0	706.9	4088.5	4795.4	2342.3	1918.2	76.12
11.5	65.9	950.3	4231.8	5182.1	2643.0	2072.8	78.68
12.0	68.7	1199.8	4375.1	5574.9	2949.9	2230.0	81.12
12.5	71.6	1454.9	4518.4	5973.3	3262.3	2389.3	83.44
13.0	74.4	1715.7	4661.7	6377.4	3580.4	2551.0	85.66
13.5	77.3	1981.0	4805.0	6786.0	3903.0	2714.4	87.77
14.0	80.2	2250.4	4948.3	7198.7	4229.8	2879.5	89.79

Método LRFD(Load and Resistance Factor Design)

Factor de resistencia de punta: φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral: φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

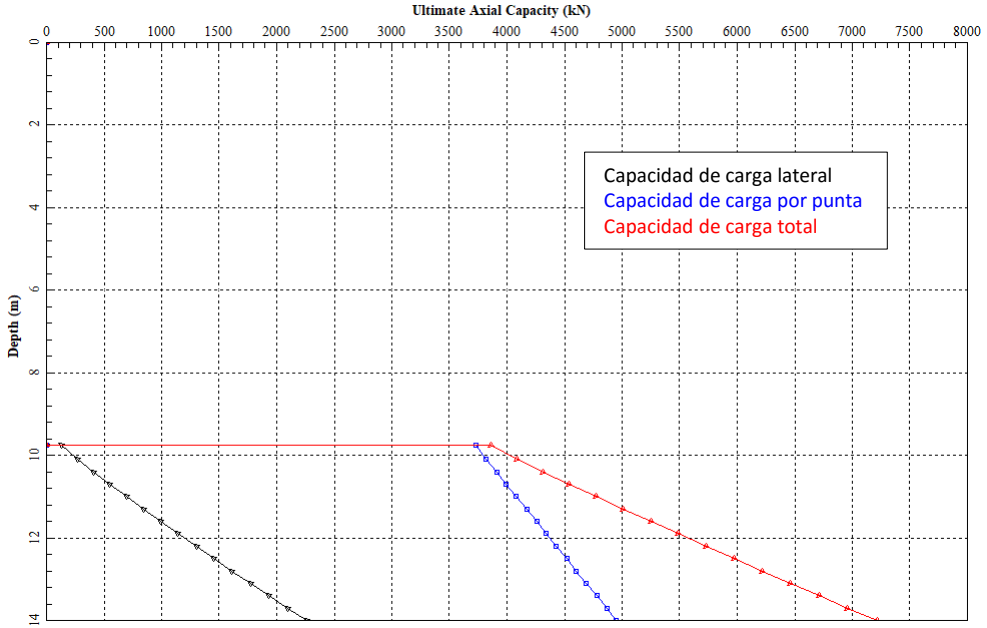
```
PREDICTED RESULTS
-----------------

QS      = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB      = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT      = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU      = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
LRFD QS = TOTAL SIDE FRICTION USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
LRFD QB = TOTAL BASE BEARING USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE
LRFD QU = TOTAL CAPACITY WITH LRFD RESISTANCE FACTOR.
```

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
10.0	57.3	242.0	3801.9	4043.9	133.1	1901.0	2034.04
10.5	60.1	470.9	3945.2	4416.1	259.0	1972.6	2231.59
11.0	63.0	706.9	4088.5	4795.4	388.8	2044.3	2433.07
11.5	65.9	950.3	4231.8	5182.1	522.6	2115.9	2638.55
12.0	68.7	1199.8	4375.1	5574.9	659.9	2187.5	2847.45
12.5	71.6	1454.9	4518.4	5973.3	800.2	2259.2	3059.41
13.0	74.4	1715.7	4661.7	6377.4	943.6	2330.8	3274.49
13.5	77.3	1981.0	4805.0	6786.0	1089.6	2402.5	3492.05
14.0	80.2	2250.4	4948.3	7198.7	1237.7	2474.1	3711.88

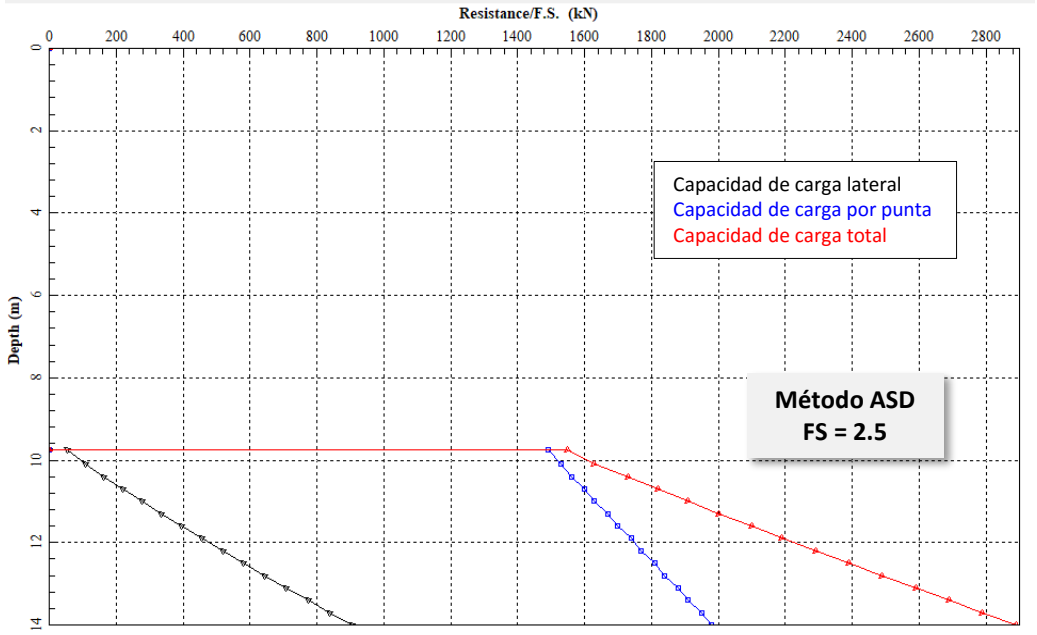
CAJÓN ∅ = 2.7 m

SONDAJE 3

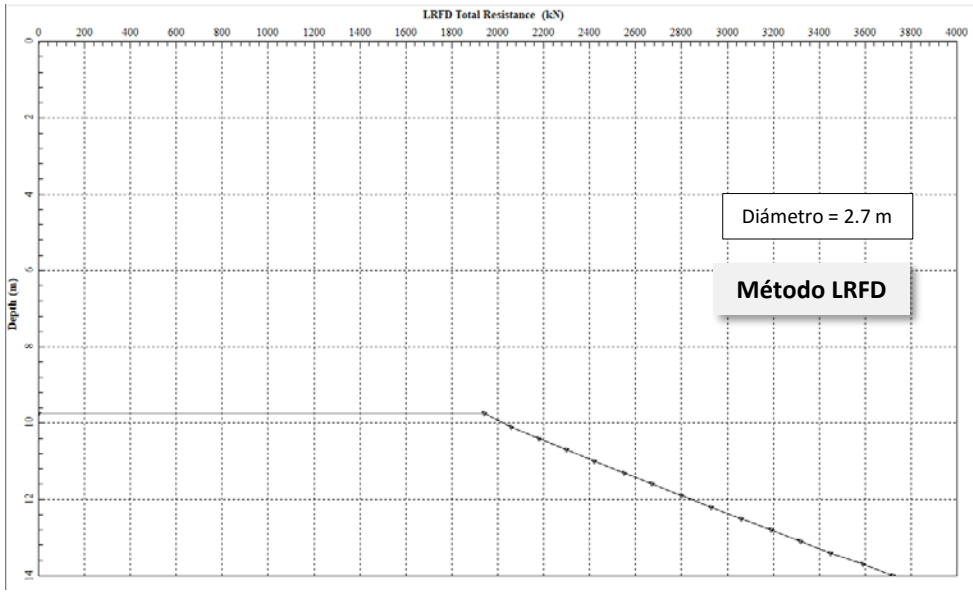
Capacidad de carga última vs. profundidad



Capacidad de carga admisible vs. profundidad



Resistencia factorada vs. profundidad



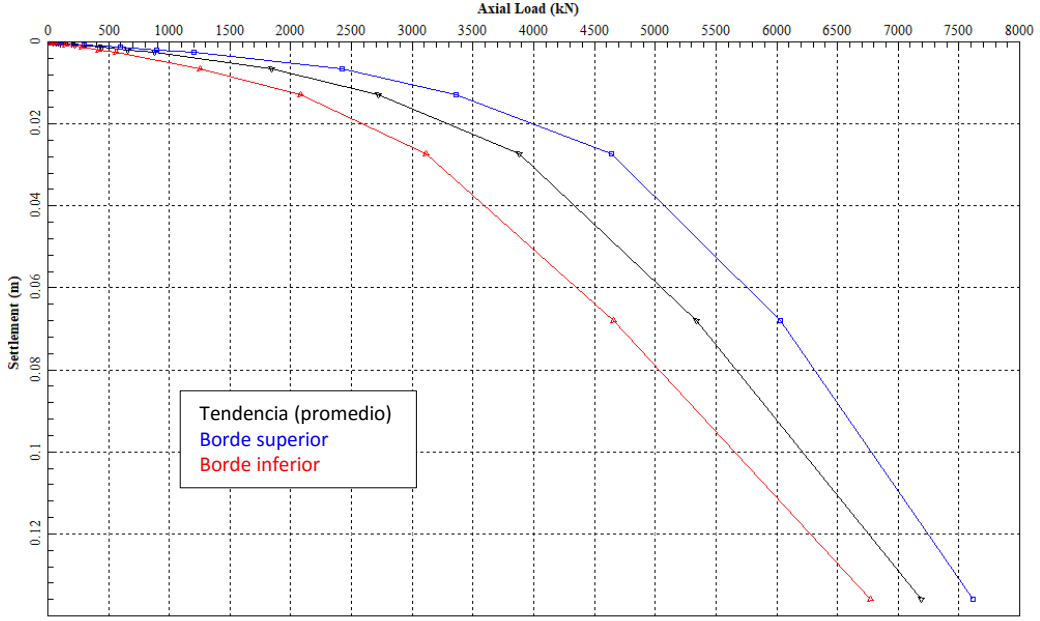
Factor de resistencia de punta:

φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral:

φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

Carga axial vs. asentamiento



CAJÓN ∅ = 2.7 m

SONDAJE 4

Método ASD (Allowable Stress Design)

FS = 2.5

```
PREDICTED RESULTS
-----------------

QS     = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB     = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT     = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (FOR UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU     = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
QBD    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING A FACTOR OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE;
QDN    = TOTAL ALLOWABLE LOAD USING FACTORS OF SAFETY
         APPLIED TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE AND
         THE ULTIMATE BASE RESISTANCE.
```

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	QBD (KN)	QDN (KN)	QU/VOLUME (KN /CU.M)
6.0	34.4	159.9	2688.1	2848.0	1235.1	1139.2	82.87
6.5	37.2	329.9	2831.4	3161.3	1462.5	1264.5	84.91
7.0	40.1	513.3	2974.7	3488.0	1703.2	1395.2	87.01
7.5	43.0	710.8	3118.0	3828.7	1958.0	1531.5	89.13
8.0	45.8	919.9	3261.3	4181.1	2224.4	1672.4	91.25
8.5	48.7	1140.4	3404.6	4544.9	2502.2	1818.0	93.36
9.0	51.5	1372.1	3547.9	4920.0	2791.3	1968.0	95.45
9.5	54.4	1613.5	3691.1	5304.6	3089.9	2121.8	97.50
10.0	57.3	1864.4	3834.4	5698.8	3398.2	2279.5	99.51
10.5	60.1	2124.1	3977.7	6101.9	3715.2	2440.7	101.47
11.0	63.0	2391.5	4121.0	6512.6	4039.9	2605.0	103.38
11.5	65.9	2666.7	4264.3	6931.1	4372.5	2772.4	105.24
12.0	68.7	2948.6	4407.6	7356.3	4711.7	2942.5	107.04
12.5	71.6	3236.4	4550.9	7787.4	5056.8	3114.9	108.79
13.0	74.4	3530.3	4694.2	8224.5	5408.0	3289.8	110.47
13.5	77.3	3828.9	4837.5	8666.5	5763.9	3466.6	112.09
14.0	80.2	4131.9	4980.8	9112.8	6124.3	3645.1	113.66

Método LRFD(Load and Resistance Factor Design)

Factor de resistencia de punta: φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

Factor de resistencia lateral: φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

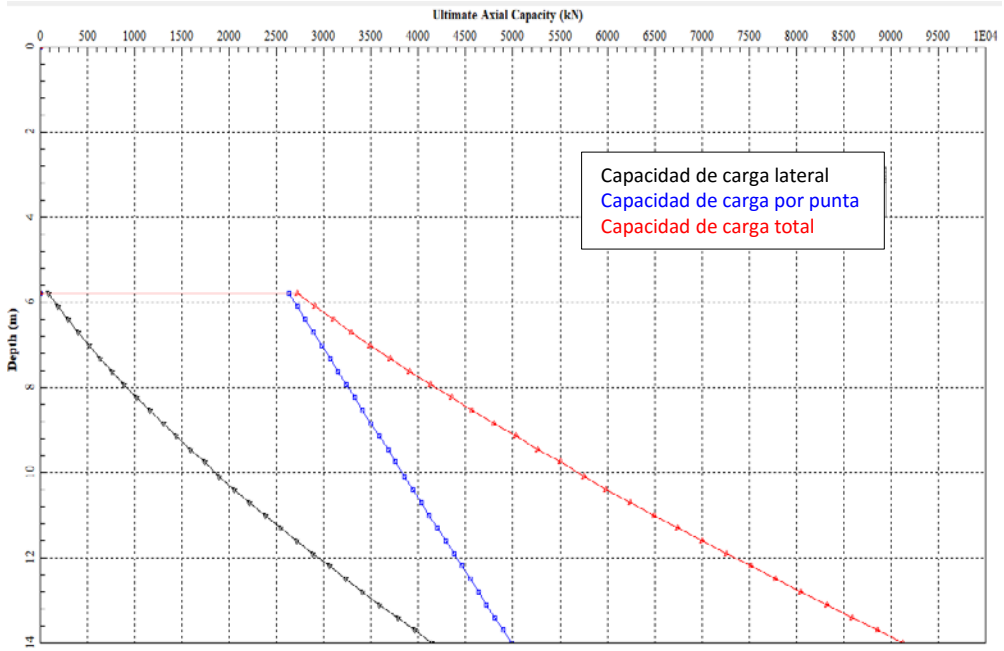
```
PREDICTED RESULTS
-----------------

QS      = ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
QB      = ULTIMATE BASE RESISTANCE;
WT      = WEIGHT OF DRILLED SHAFT (UPLIFT CAPACITY ONLY);
QU      = TOTAL ULTIMATE RESISTANCE;
LRFD QS = TOTAL SIDE FRICTION USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE SIDE RESISTANCE;
LRFD QB = TOTAL BASE BEARING USING LRFD RESISTANCE FACTOR
          TO THE ULTIMATE BASE RESISTANCE
LRFD QU = TOTAL CAPACITY WITH LRFD RESISTANCE FACTOR.
```

LENGTH (M)	VOLUME (CU.M)	QS (KN)	QB (KN)	QU (KN)	LRFD QS (KN)	LRFD QB (KN)	LRFD QU (KN /CU.M)
6.0	34.4	159.9	2688.1	2848.0	87.9	1344.0	1431.98
6.5	37.2	329.9	2831.4	3161.3	181.5	1415.7	1597.13
7.0	40.1	513.3	2974.7	3488.0	282.3	1487.3	1769.67
7.5	43.0	710.8	3118.0	3828.7	390.9	1559.0	1949.91
8.0	45.8	919.9	3261.3	4181.1	505.9	1630.6	2136.55
8.5	48.7	1140.4	3404.6	4544.9	627.2	1702.3	2329.49
9.0	51.5	1372.1	3547.9	4920.0	754.7	1773.9	2528.60
9.5	54.4	1613.5	3691.1	5304.6	887.4	1845.6	2732.98
10.0	57.3	1864.4	3834.4	5698.8	1025.4	1917.2	2942.64
10.5	60.1	2124.1	3977.7	6101.9	1168.3	1988.9	3157.14
11.0	63.0	2391.5	4121.0	6512.6	1315.3	2060.5	3375.86
11.5	65.9	2666.7	4264.3	6931.1	1466.7	2132.2	3598.88
12.0	68.7	2948.6	4407.6	7356.3	1621.7	2203.8	3825.56
12.5	71.6	3236.4	4550.9	7787.4	1780.0	2275.5	4055.50
13.0	74.4	3530.3	4694.2	8224.5	1941.7	2347.1	4288.78
13.5	77.3	3828.9	4837.5	8666.5	2105.9	2418.8	4524.68
14.0	80.2	4131.9	4980.8	9112.8	2272.6	2490.4	4762.98

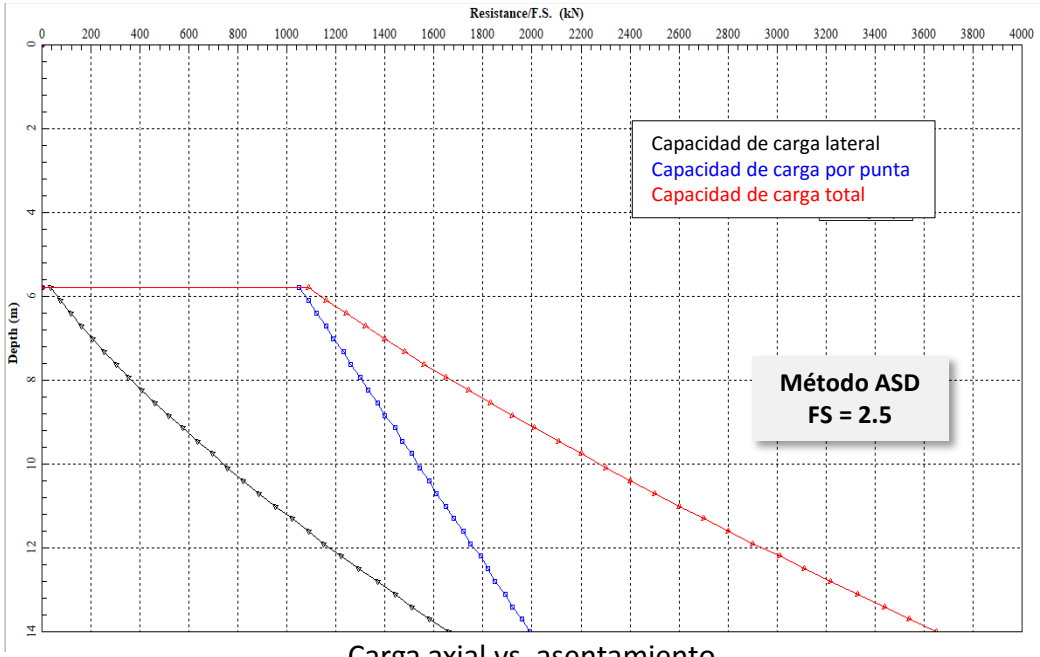
CAJÓN ∅ = 2.7 m

SONDAJE 4

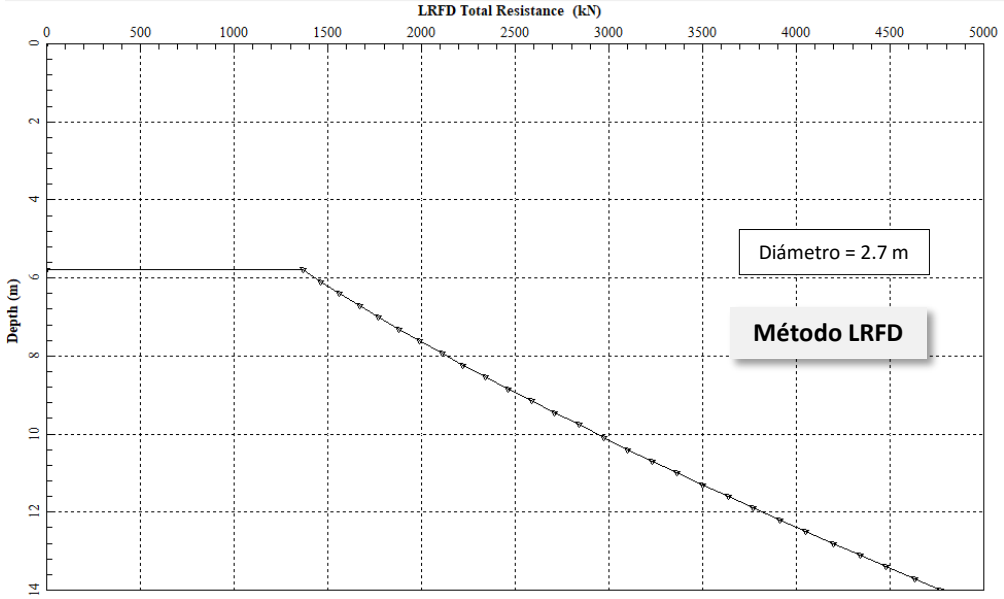
Capacidad de carga última vs. profundidad



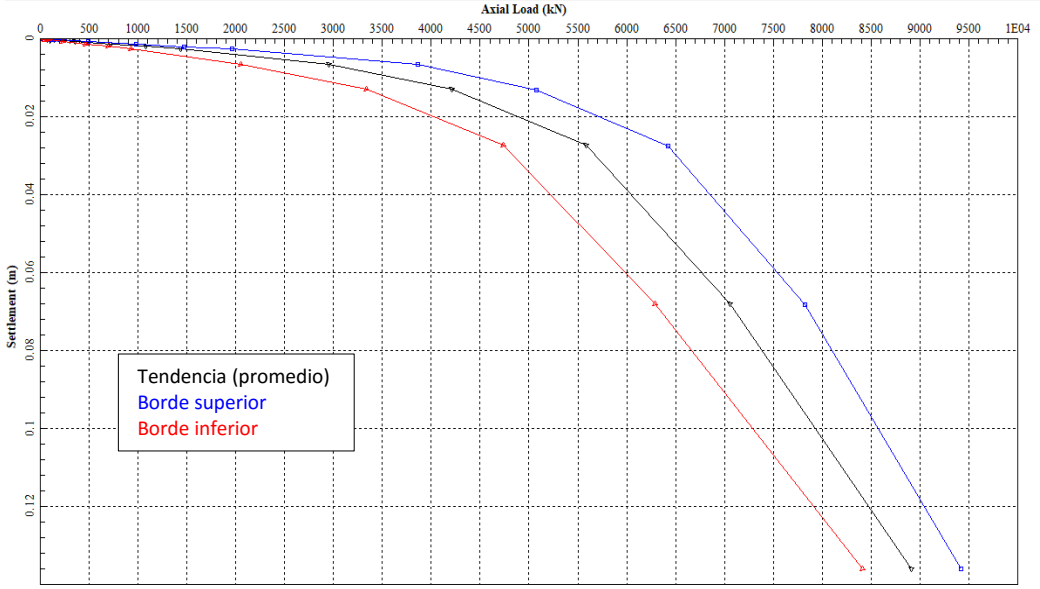
Capacidad de carga admisible vs. profundidad



Resistencia factorada vs. profundidad



Carga axial vs. asentamiento



Factor de resistencia de punta:

φ_{qp} = 0.40 (arcilla)
φ_{qp} = 0.50 (arena)

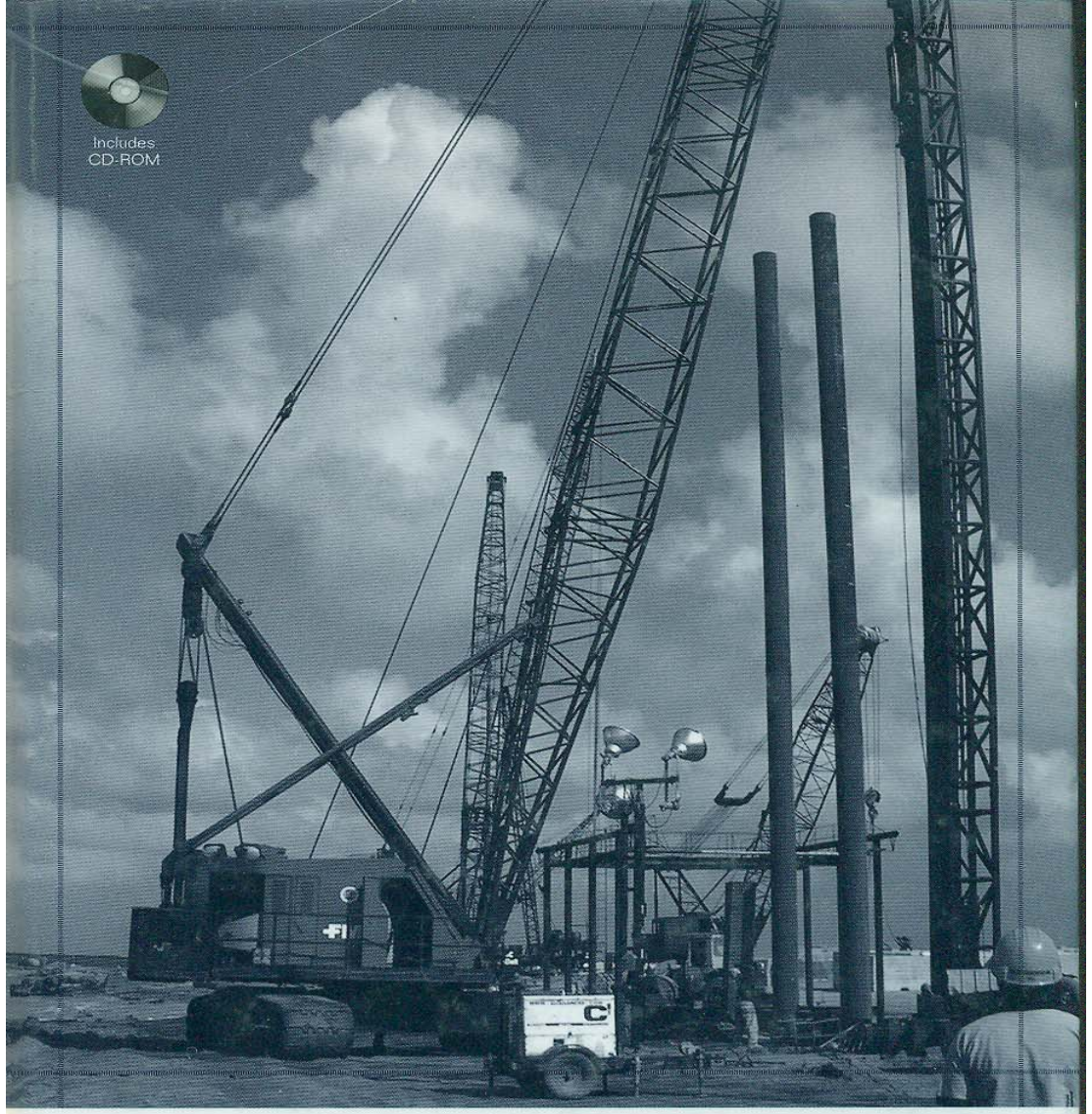
Factor de resistencia lateral:

φ_{qs} = 0.45 (arcilla)
φ_{qs} = 0.55 (arena)

Resumen de resultados de análisis ejecutados en los sondajes Sondaje 1, 2, 3 y 4, utilizando el programa SHAFT 2017, para cajón de 2.7 m de diámetro, para 12 y 14 m de longitud

Sondaje	Longitud pilote (m)	Resistencia última (kN)	Método ASD Carga total admisible (kN)	Método LRFD Resistencia factorada (kN)
Sondaje 1	12	5669.5	2267.8	2899.50
Sondaje 2		5569.6	2227.8	2844.51
Sondaje 3		5574.9	2230.0	2847.45
Sondaje 4		7356.3	2942.5	3825.56
Sondaje 1	14	7364.6	2945.9	3803.14
Sondaje 2		7191.2	2876.5	3707.74
Sondaje 3		7198.7	2879.5	3711.88
Sondaje 4		9112.8	3645.1	4762.98

REFERENCIAS



ANALYSIS AND DESIGN OF

Shallow and Deep FOUNDATIONS

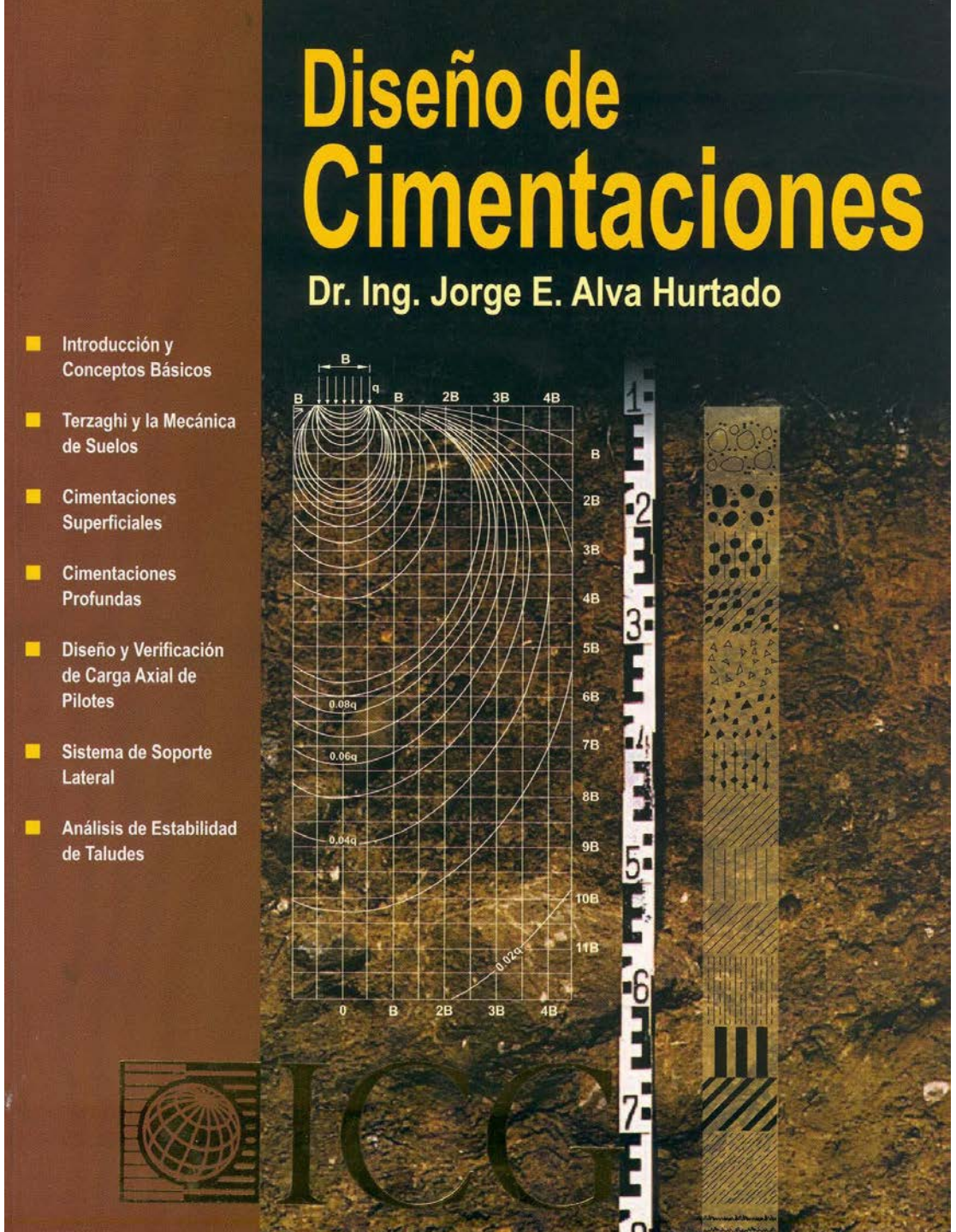
LYMON C. REESE, WILLIAM M. ISENHOWER, AND SHIN-TOWER WANG

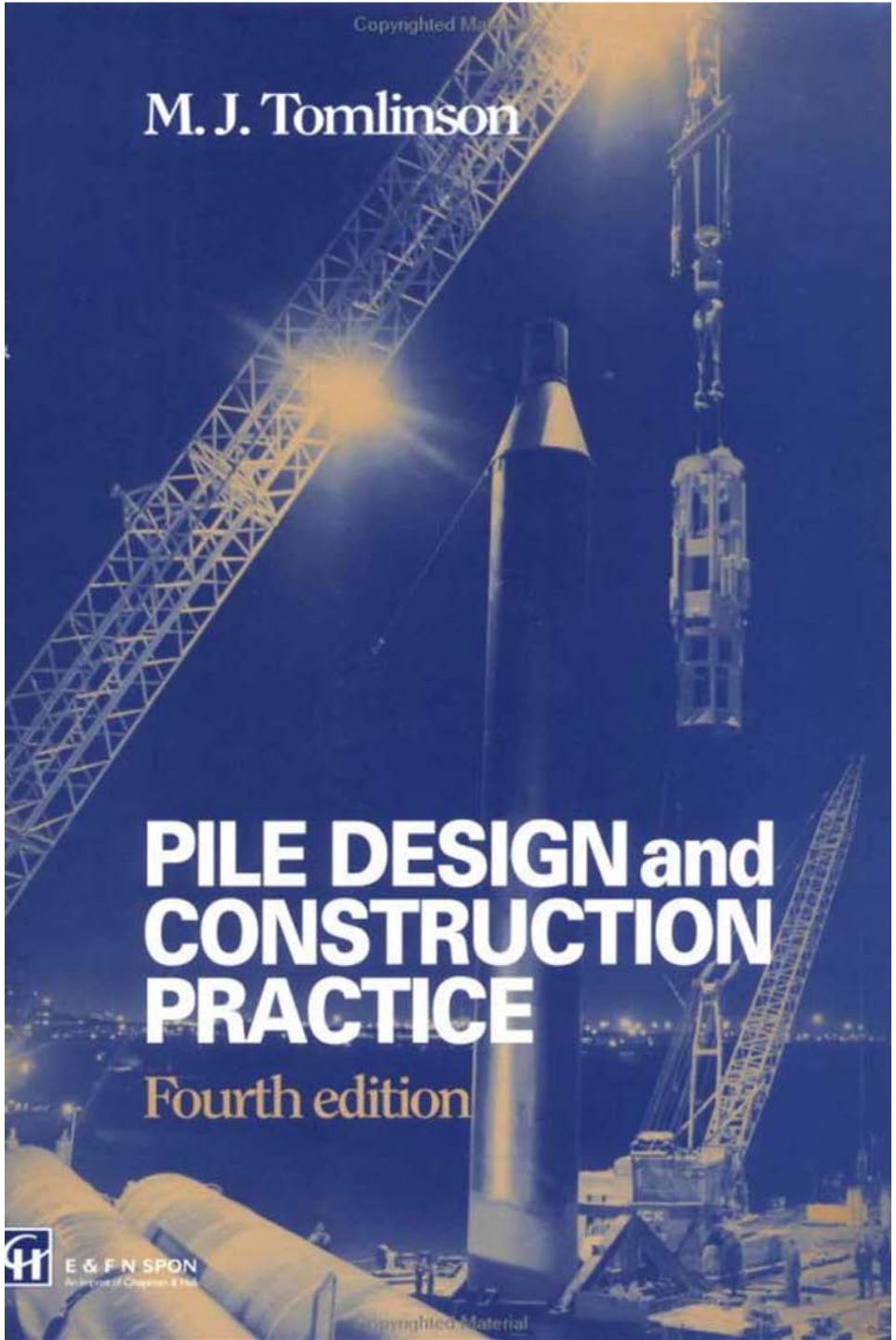
SOIL MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE

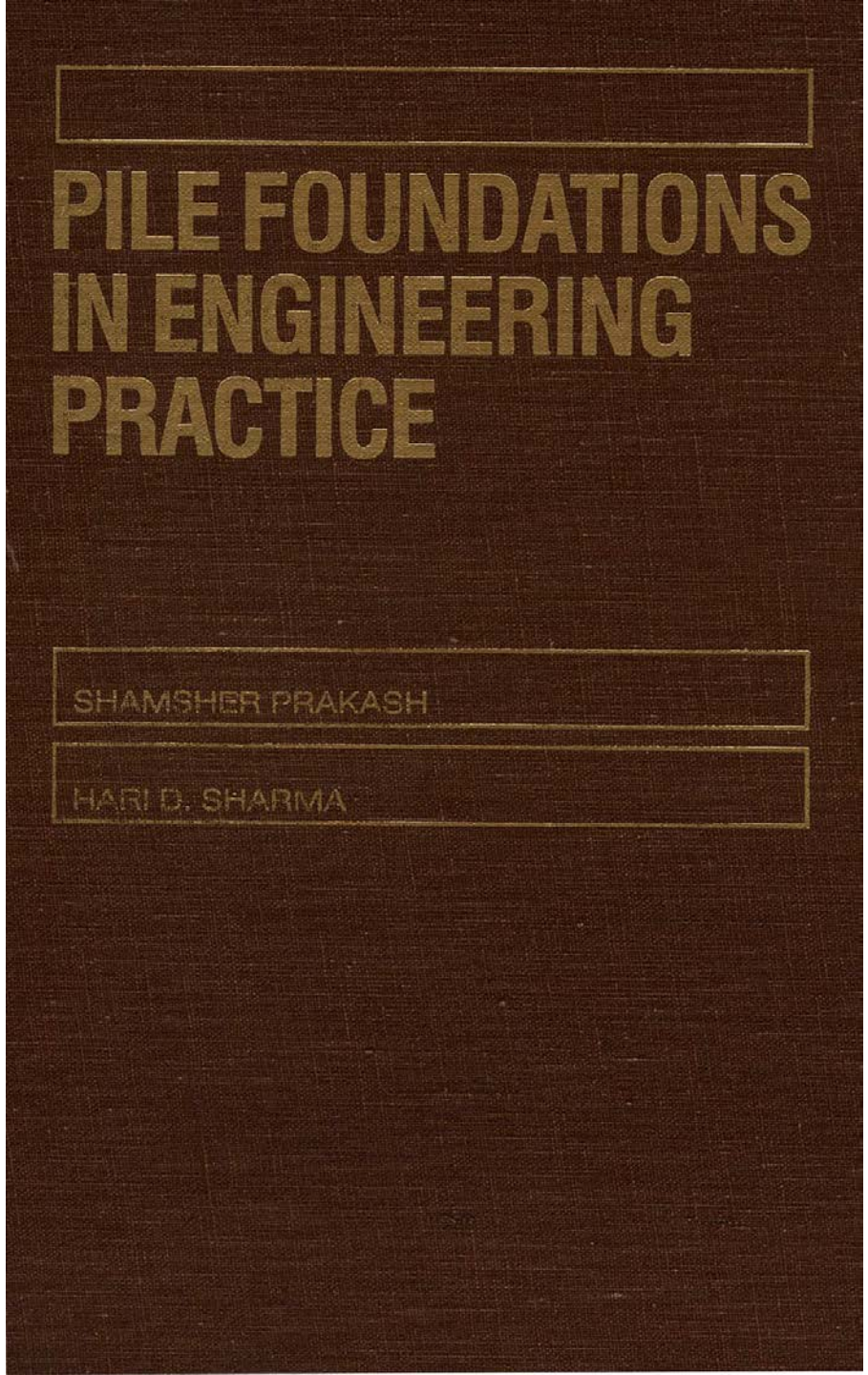
THIRD EDITION

Karl Terzaghi
Ralph B. Peck
Gholamreza Mesri

CENGAGE Learning
Fundamentos de ingeniería de cimentaciones
Braja M. Das
Séptima edición


Diseño de Cimentaciones
Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado
Introducción y Conceptos Básicos
Terzaghi y la Mecánica de Suelos
Cimentaciones Superficiales
Cimentaciones Profundas
Diseño y Verificación de Carga Axial de Pilotes
Sistema de Soporte Lateral
Análisis de Estabilidad de Taludes
ICG


M. J. Tomlinson
PILE DESIGN and CONSTRUCTION PRACTICE
Fourth edition
E & F N SPON


PILE FOUNDATIONS IN ENGINEERING PRACTICE
SHAMSHER PRAKASH
HARI D. SHARMA

Drilled shaft design and construction guidelines manual

Lymon C. Reese

Reprints from the collection of the
University of Michigan Library

U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Publication No. FHWA-NHI-10-016
FHWA GEC 010
May 2010

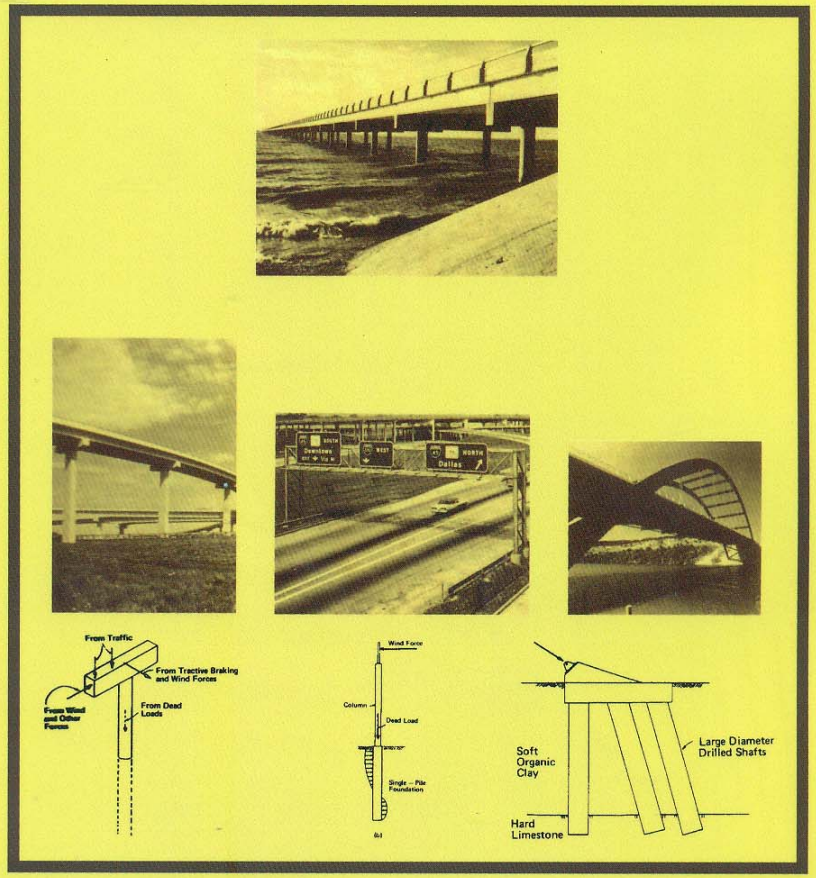
NHI Course No. 132014

Drilled Shafts: Construction Procedures and LRFD Design Methods

Developed following:

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 4th Edition, 2007, with 2008 and 2009 Interims.

Handbook on Design of Piles and Drilled Shafts Under Lateral Load



By Lymon C. Reese
for Federal Highway Administration

Single Piles and Pile Groups Under Lateral Loading

Lymon C. Reese
William F. Van Impe