UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIÓN DE POST GRADO

CIMENTACIONES PROFUNDAS

Dr. Jorge E. Alva Hurtado

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES Y GRUPO DE PILOTES
- ASENTAMIENTOS DE PILOTES Y GRUPOS
- FORMULAS DE HINCA
- ENSAYOS DE CARGA EN PILOTES
- REFERENCIAS
- ANEXO PROGRAMA FEPC
- CASOS ESTUDIADOS

INTRODUCCIÓN

Generalidades

Funciones y Usos de los Pilotes

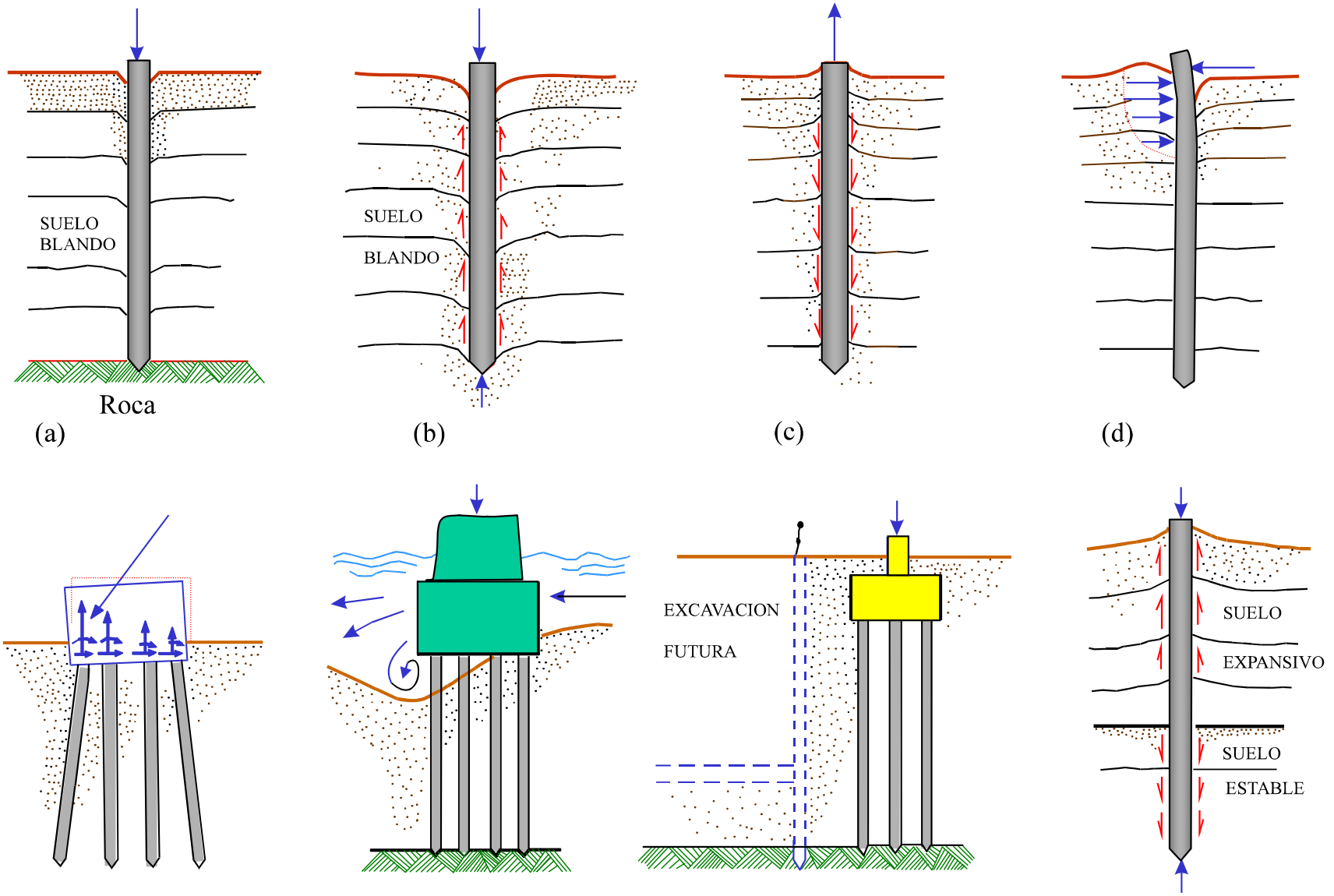
Alcance

GENERALIDADES

- Técnica antigua para cimentar en suelo blando
- Diseño basado en experiencia o divina providencia
- Inicialmente hincado de madera, luego de concreto hincado y vaciado in-situ, luego de acero
- Desarrollo de fórmulas de hinca
- Desarrollo de ensayos de carga
- Cálculo de capacidad portante y asentamiento
- Cálculo del efecto de grupo
- Criterio del ingeniero

FUNCIONES Y USOS DE LOS PILOTES

- Transferir carga a través de estratos blandos
- Repartir carga por fricción lateral
- Tomar carga de tracción por fricción negativa
- Proporcionar anclaje y carga horizontal
- Evitar socavación
- Proteger cimentación por excavaciones futuras
- Cimentación en suelos expansivos y colapsables
- Proteger estructuras marinas
- Soportar muros de contención
- Compactar el suelo



CASOS DONDE PUEDEN NECESITARSE PILOTES

ALCANCE

- El diseño de pilotes es muy amplio
- Se presentará los principales tipos de pilotes
- Se evaluará la capacidad portante y asentamientos de pilotes y grupos bajo carga axial
- Fórmulas de hinca y ensayos de carga
- Programa de cómputo para carga axial por fórmulas empíricas
- Ejemplos de aplicación de fórmulas empíricas

CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES Y GRUPO DE PILOTES

- Capacidad de carga última de un pilote en suelo cohesivo
- Capacidad de carga última de un pilote en suelo granular
- Capacidad de carga admisible de un pilote
- Fricción negativa
- Capacidad de carga de grupos de pilotes

CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA DE UN PILOTE EN SUELO COHESIVO

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

Resistencia por Fricción Lateral : $Q_s = \alpha \bar{c} A_s$

Donde:

As = área superficial lateral empotrada del pilote.

$\bar{c}$ = resistencia cortante no-drenada promedio de la arcilla a lo largo de los lados del pilote.

α = factor de adhesión

Resistencia por Punta : $Q_b = c N_c A_b$

Donde:

c = resistencia cortante inalterada del pilote.

A_b = área de la base del pilote

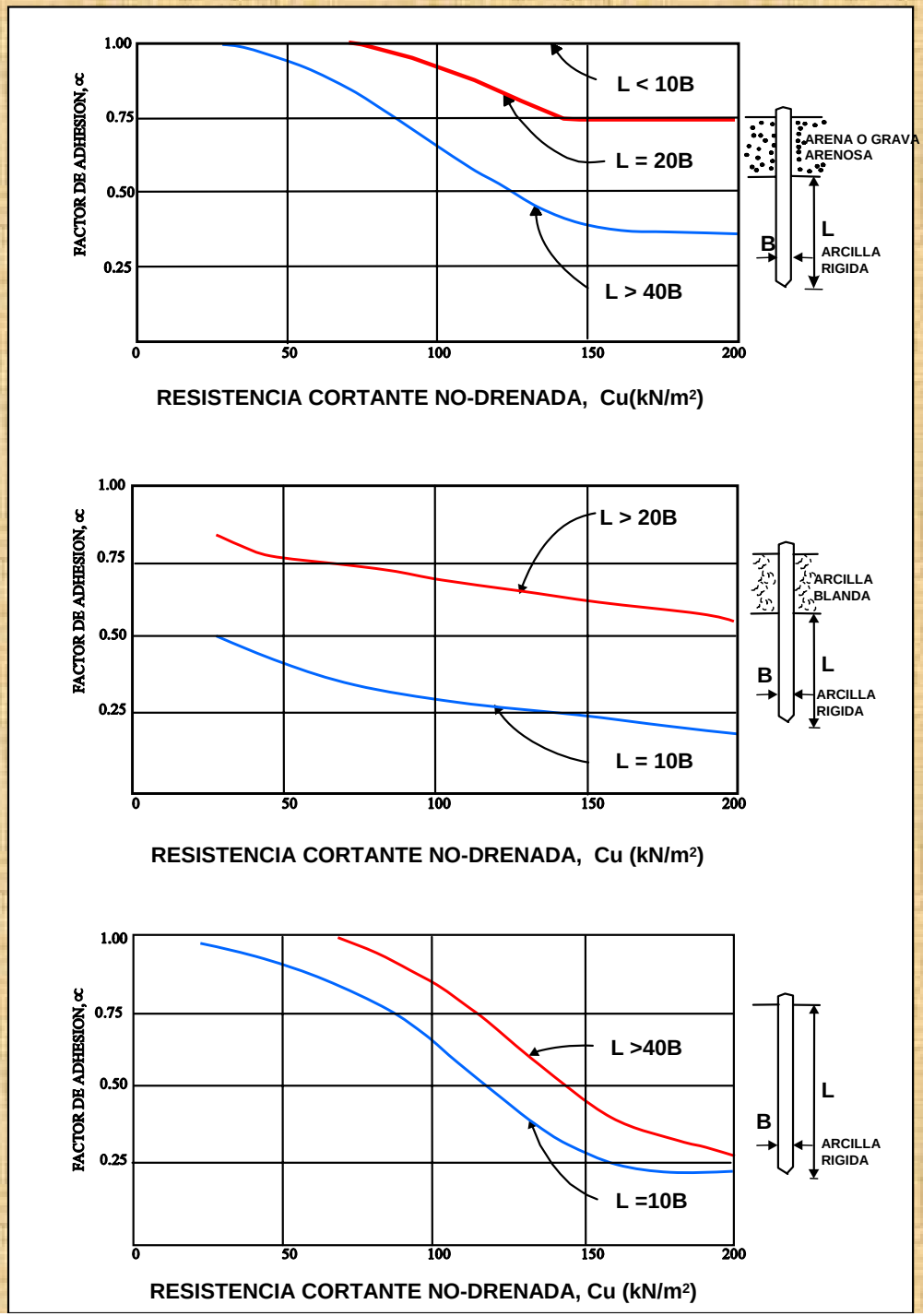
N_c = factor de capacidad de carga de Meyerhof, generalmente se toma 9.

FACTORES DE ADHESION PARA PILOTES EXCAVADOS (TOMLINSON)

Se usa un factor de adhesión α de 0.45 para pilotes excavados en muchas arcillas aunque para pilotes cortos en arcilla muy fisurada, un valor de 0.3 es más usual. Se han reportado valores de 0.49 a 0.52 para arcillas de California. Para arcillas duras α puede ser tan bajo como 0.1.

Tomlinson recomienda utilizar un valor de 0.45 si no se tiene experiencia previa con la arcilla, hasta un valor máximo de 100 KN/m^2. Esto puede ser conservador para arcillas blandas y optimista para arcillas muy rígidas y fisuradas.

FACTOR DE ADHESION PARA PILOTES HINCADOS (NORDLUND)



CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA DE UN PILOTE EN SUELO GRANULAR

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

$$f = K_s \; p_d \, tg\delta$$

Donde:

K_s = coeficiente lateral de tierra, la relación de la presión lateral a vertical en los lados del pilote.

p_d = esfuerzo efectivo vertical a la profundidad z.

δ = ángulo de fricción entre el pilote y el suelo.

Resistencia por Fricción Lateral : $\mathbf{Q_s = \frac{1}{2} K_s \, \gamma \, (Z_1 + Z_2) \, tg\delta \, A_s}$

Resistencia por Punta : $\mathbf{Q_b = p_b \, (N_q - 1) \, A_b}$

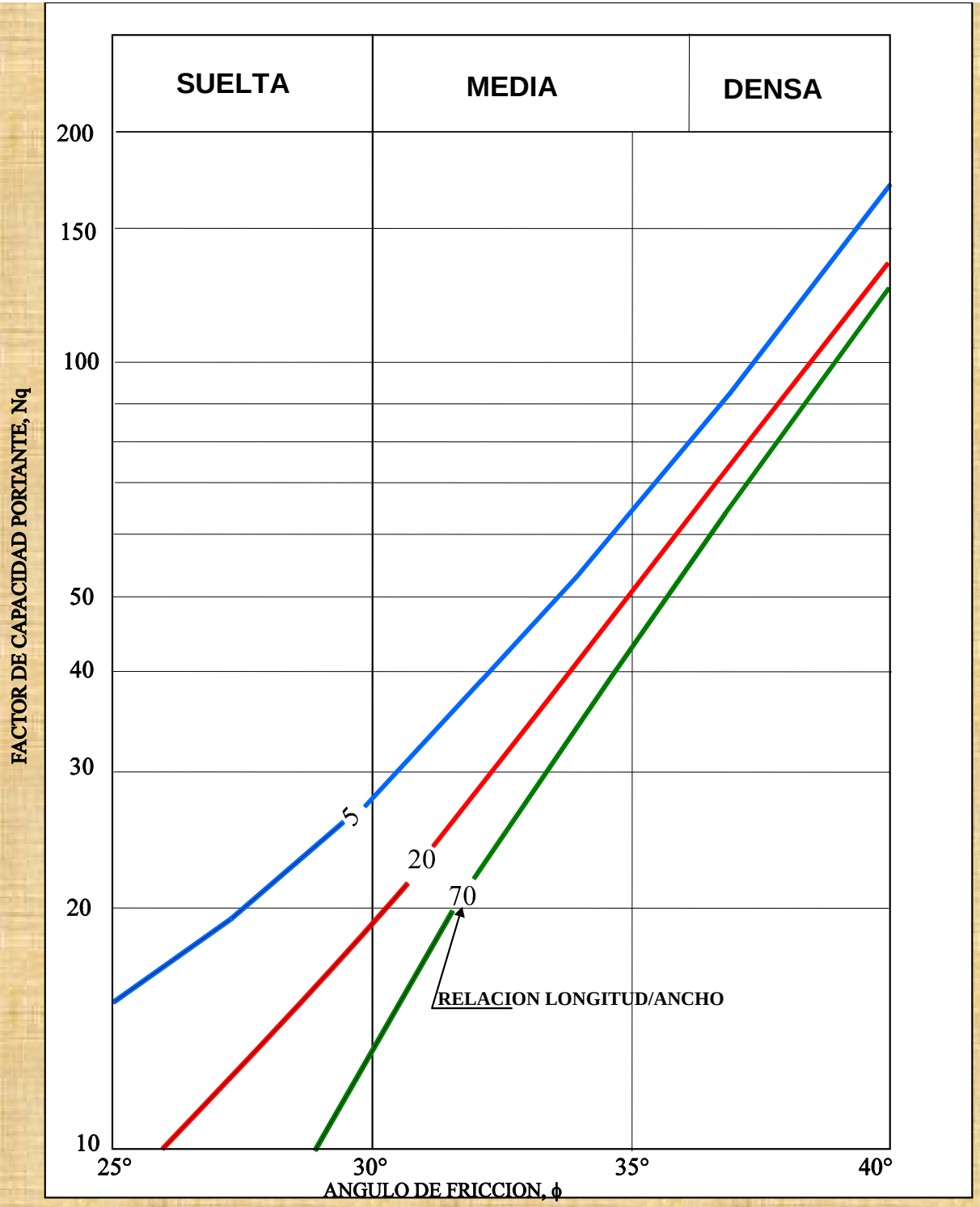
Donde:

p_b = esfuerzo efectivo de sobrecarga en la base del pilote.

A_b = área de la base del pilote.

Material del Pilote	δ	K_s	
		Densidad relativa baja ($\phi \leq 35°$)	Densidad relativa alta ($\phi > 35°$)
Acero	20°	0.5	1.0
Concreto	3/4ϕ	1.0	2.0
Madera	2/3ϕ	1.5	4.0

VALORES DE KS Y δ PARA PILOTES HINCADOS



FACTOR DE CAPACIDAD PORTANTE DE BEREZANTSEV, Nq

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE DE UN PILOTE

$$\frac{Q_s + Q_b}{2.5}$$

y

$$\frac{Q_s}{1.5} + \frac{Q_b}{3.0}$$

Q_s = Carga última por fricción del pilote

Q_b = Carga última por punta del pilote

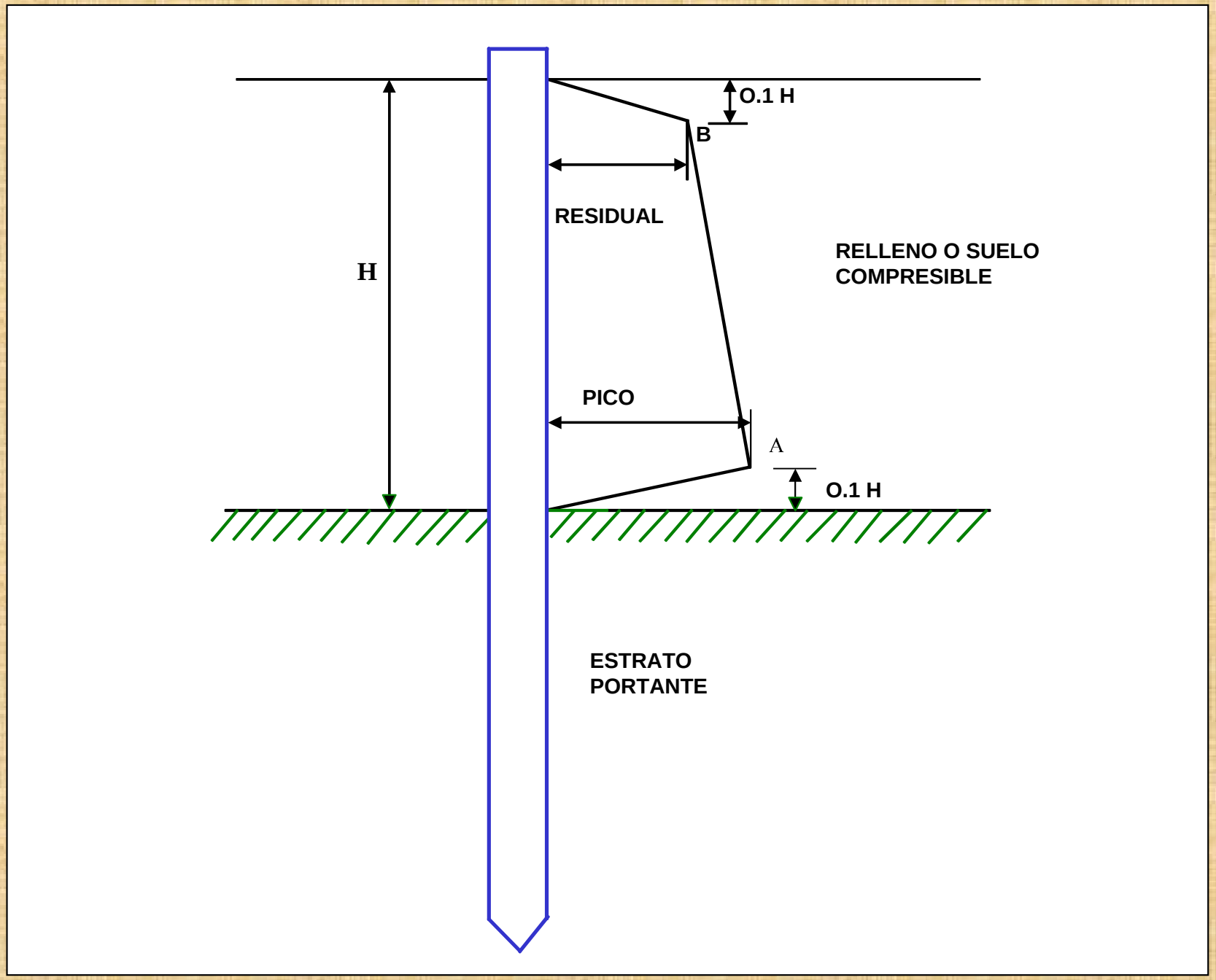
FRICCIÓN NEGATIVA

- Pilote hincado a través de una arcilla blanda, hasta estrato incompresible
- Sobrecarga en el terreno genera fricción negativa
- Pilote hincado sobre el relleno recién colocado

$$\text{Fuerza} = 0.45\ H\ \alpha\ (C_p + C_r)\ S$$

Donde:

H	=	altura de relleno o suelo compresible
α	=	factor de adhesión, generalmente 1.0
C_p	=	resistencia cortante pico
C_r	=	resistencia cortante residual
S	=	circunferencia del pilote



DISTRIBUCIÓN ASUMIDA DE LA FRICCIÓN NEGATIVA

CAPACIDAD DE CARGA DE GRUPOS DE PILOTES

EFICIENCIA DE GRUPO

$$E_f = \frac{\text{Carga promedio del pilote en grupo en la falla}}{\text{carga de falla en pilote individual}}$$

SUELOS GRANULARES

En diseño se usa un factor de eficiencia de grupo de 1 para todos los tipos de piotes (Ef = 1.0)

Los pilotes excavados deben tener un espaciamiento mayor que 3 diámetros (centro a centro)

SUELOS COHESIVOS

Se considera al grupo (pilotes y suelo contenido) como una cimentación profunda .

$$Q_u = B_1 \, B_2 \, \bar{c} \, N_c \, \lambda$$

Donde:

B_1 = ancho de grupo

B_2 = longitud de grupo

N_c = factor de capacidad de carga

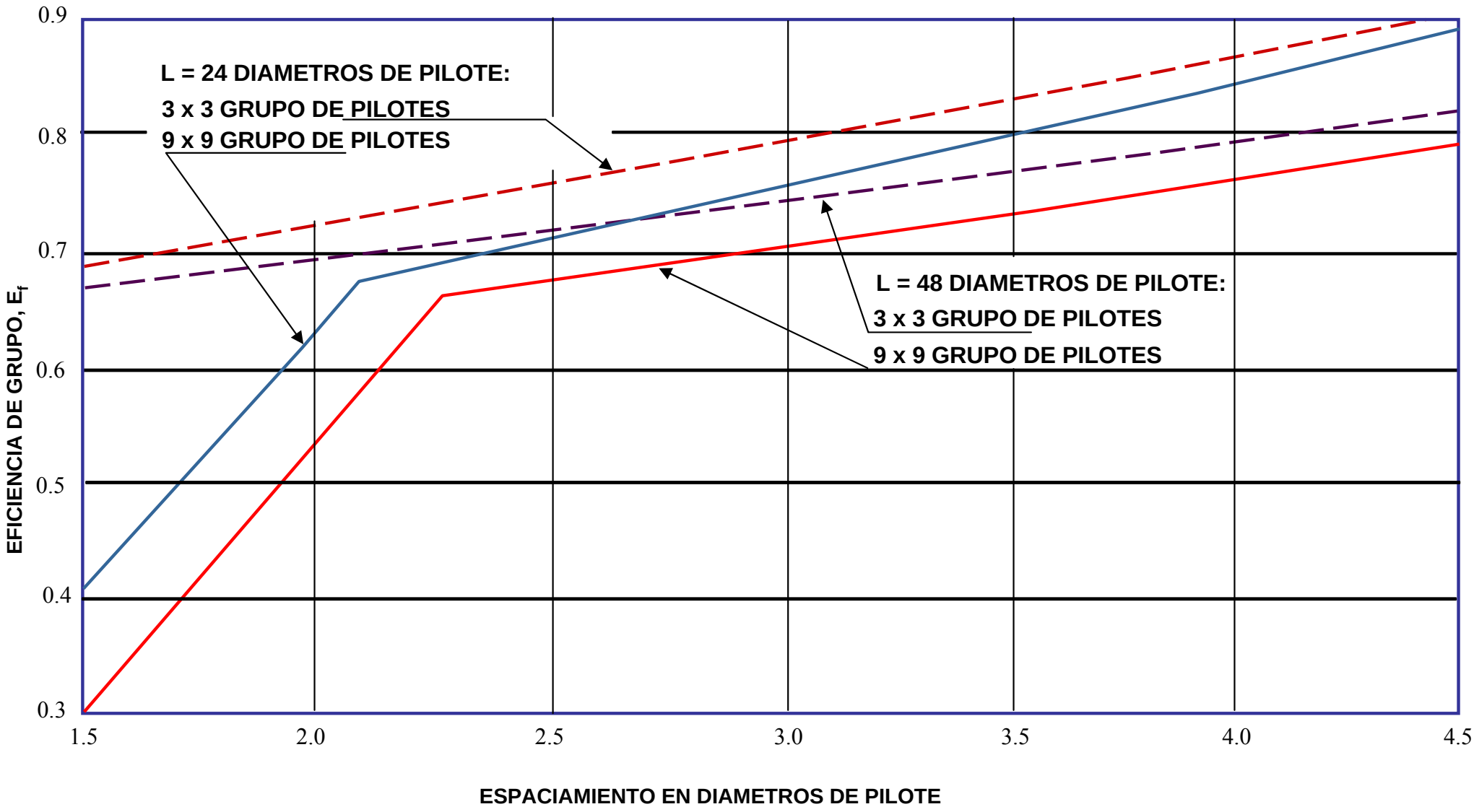
λ = factor de forma

$\bar{c}$ = cohesión promedio

También se utiliza la Figura siguiente

n = número de pilotes en el grupo

E_f = eficiencia de grupo



EFICIENCIAS DE GRUPO DE PILOTES EN SUELO COHESIVO

FÓRMULAS DE EFICIENCIA PARA GRUPOS DE PILOTES

1. Método de Converse - Labarre (Bolin 1941)

$$\eta_g = 1 - \frac{\xi}{90°} \cdot \left[\frac{(n-1).m + (m-1).n}{m.n}\right]$$

η_g = Eficiencia de un grupo de pilotes

m = Número de filas

n = Número de pilotes en una fila

ζ = arctg $\frac{d}{s}$ (en grados)

d = Diámetro de pilote

2. Método de Poulos y Davis (1980)

$$\frac{1}{\eta_g^2} = 1 + \frac{(m.n)^2 \cdot Q_0^2}{Q_B^2}$$

Q_B = Capacidad de carga última del grupo de pilotes

Q_O = Capacidad de carga última del pilote individual

3. Método de Sayed y Clemente (1990)

$$\eta_g^2 = 1 - (1 - \eta_s' \, k) \, \rho$$

$$\eta_s' = 2x\left\{\frac{[(n-1)\ x\ s+d]+[(m-1)s+d]}{\pi\pi\ x\ m\ x\ n\ x\ d}\right\}$$

η_s' = Eficiencia geométrica de un grupo de pilotes circulares

ρ = Factor de fricción

K = Factor de interacción de grupo

Para pilotes de sección cuadrada π se reemplaza por 4 y d se reemplaza por b (ancho del pilote)

SUELOS QUE CONTIENEN ESTRATOS BLANDOS

Cuando existen capas de arcilla blanda por debajo de los grupos de pilotes puede ocurrir un sobreesfuerzo, por lo que es necesario realizar una verificación.

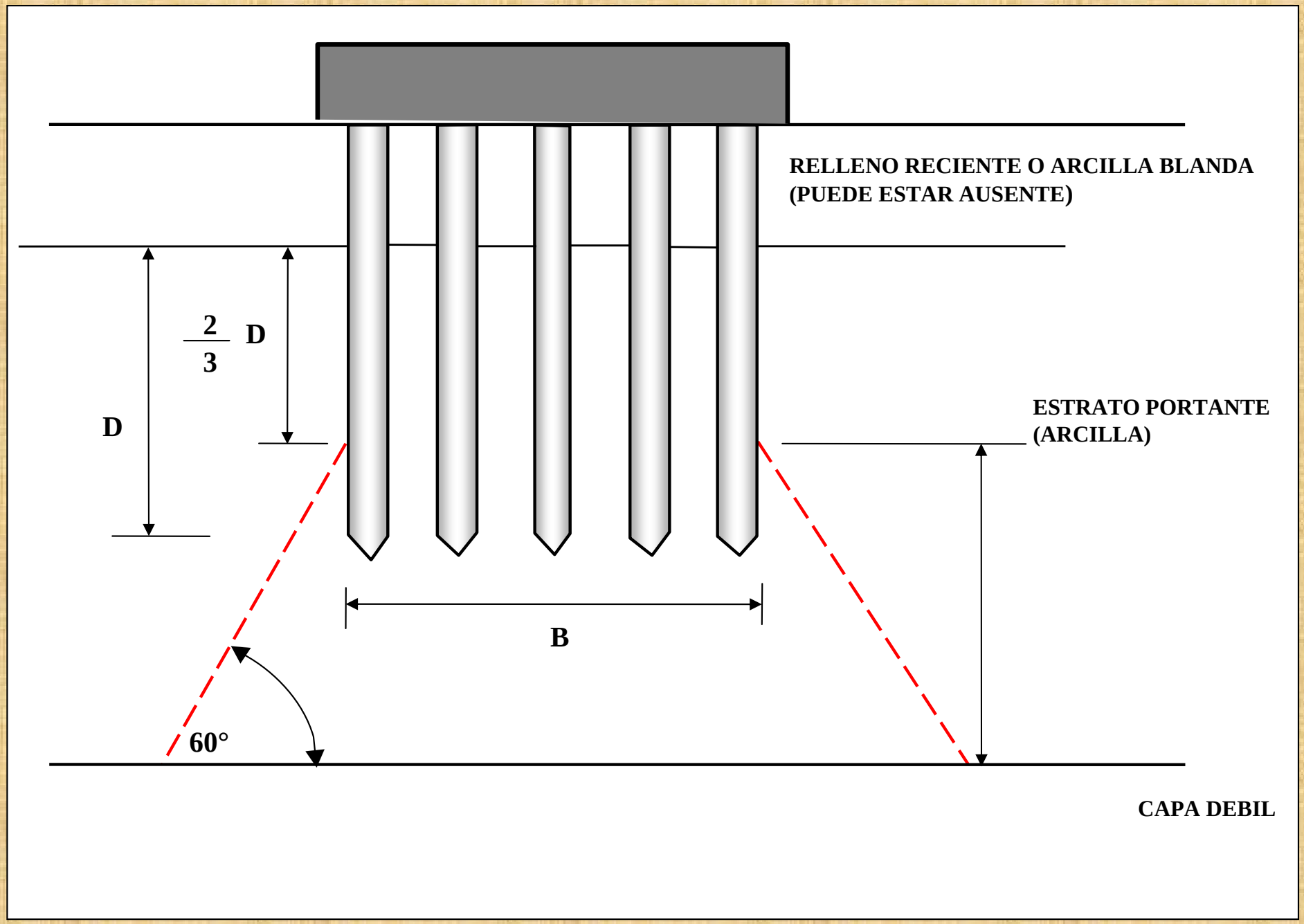
Para un grupo de pilotes de dimensiones en planta B x L, que soporta una carga Q, el esfuerzo en la parte superior del estrato blando será:

$$\frac{Q}{(B + 1.15\,H)\,(L + 1.15\,H)}$$

Donde:

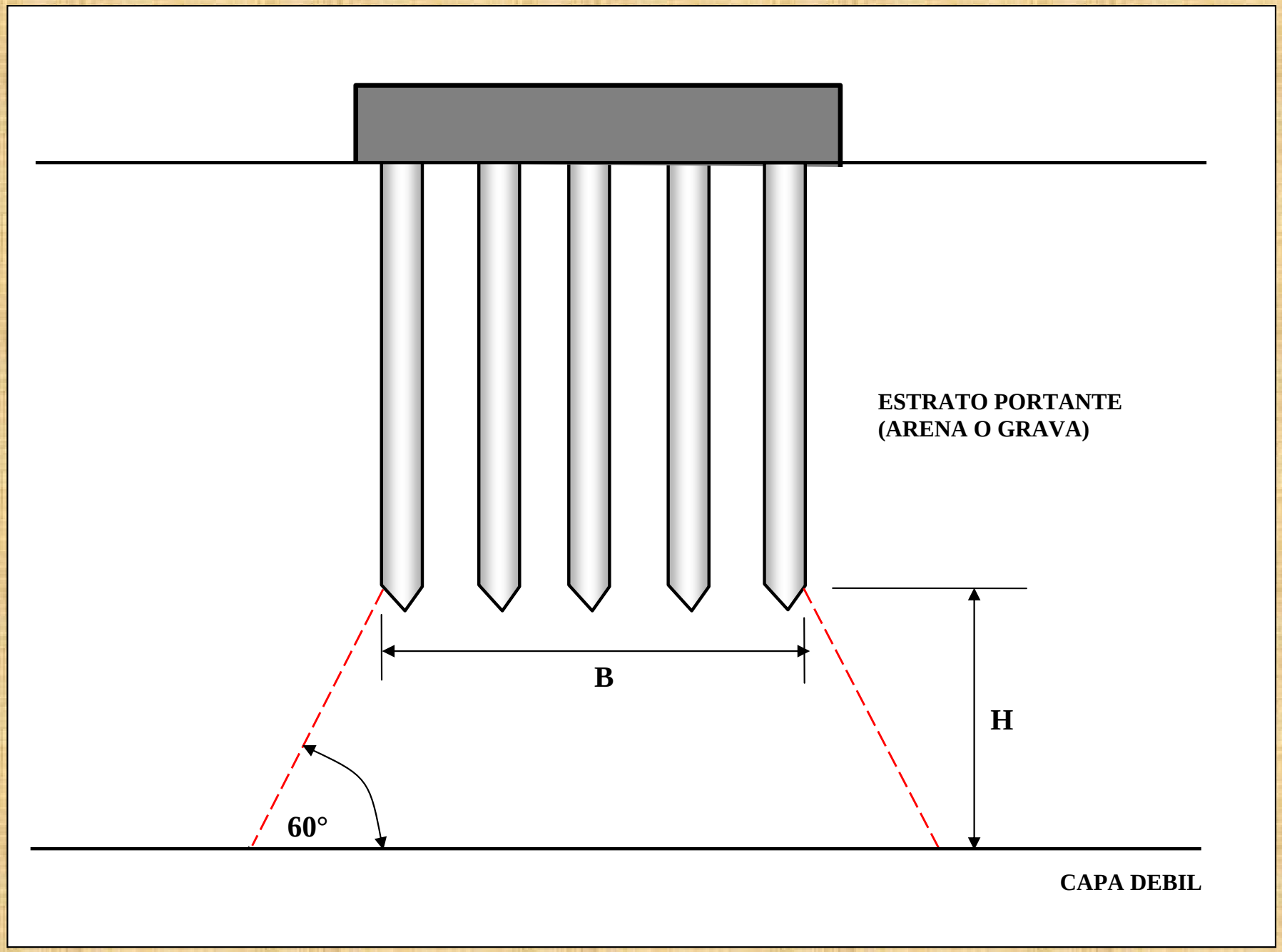
Q	=	carga del grupo
B	=	ancho del grupo
L	=	longitud del grupo
H	=	del gráfico correspondiente

a) Pilotes de fricción en arcilla



DISTRIBUCIÓN DE CARGA PARA PILOTES DE FRICCIÓN

b) Pilotes de punta en arena o grava



DISTRIBUCIÓN DE CARGA PARA PILOTES DE PUNTA

ASENTAMIENTOS DE PILOTES Y GRUPO DE PILOTES

- Asentamiento de un pilote individual en arcilla
- Asentamiento de un grupo de pilotes en arcilla
- Asentamiento de un pilote individual en arena o grava
- Asentamiento de un grupo de pilotes en arena o grava
- Método simple para estimar el asentamiento de un grupo de pilotes
- Compresión del pilote

ASENTAMIENTOS DE UN PILOTE INDIVIDUAL EN ARCILLA

$$\rho = \frac{Q}{L\,E_s} I\rho$$

Donde:

Q = carga en el pilote

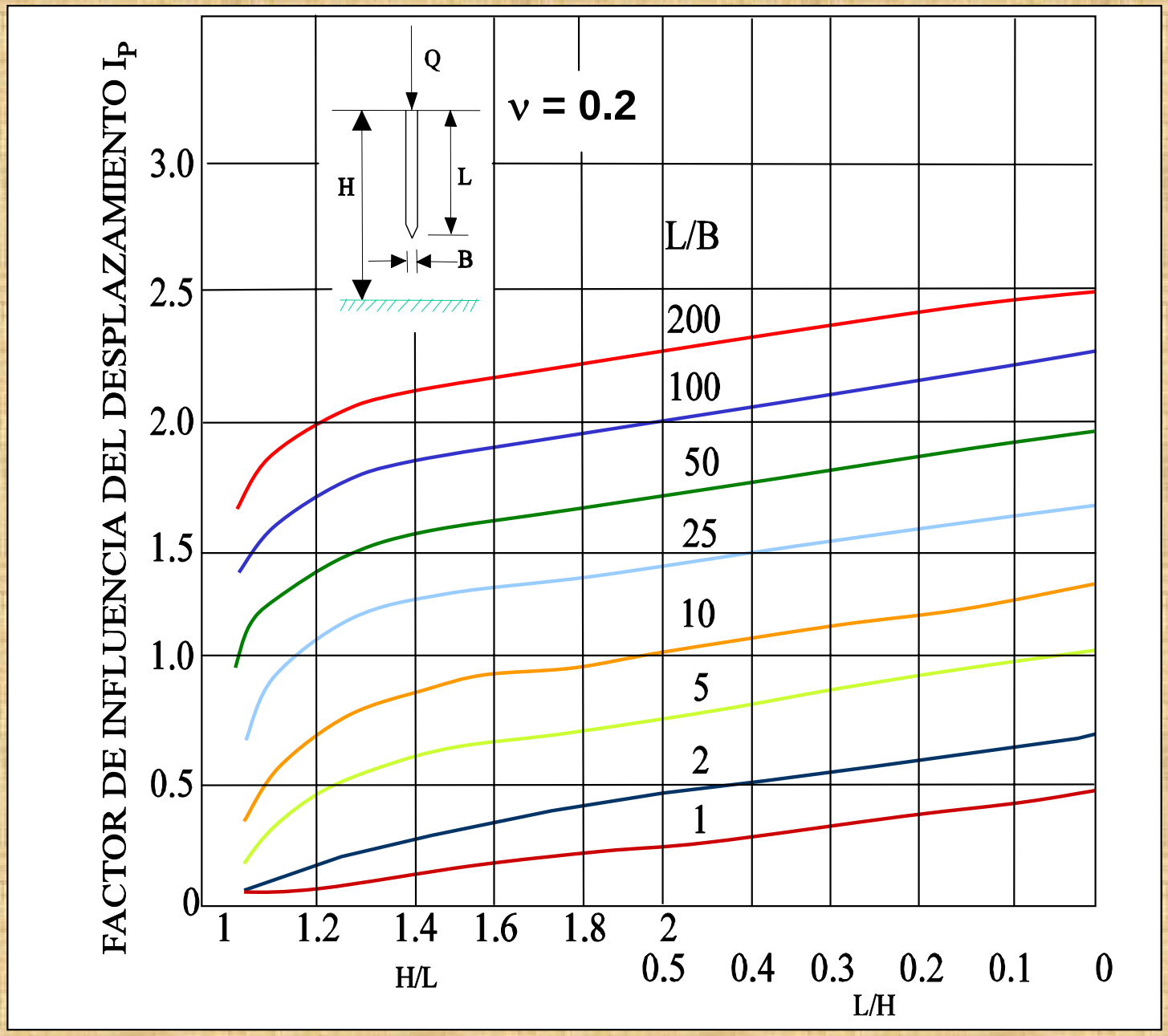
L = longitud del pilote

E_s = módulo de Young del suelo para asentamiento a largo plazo

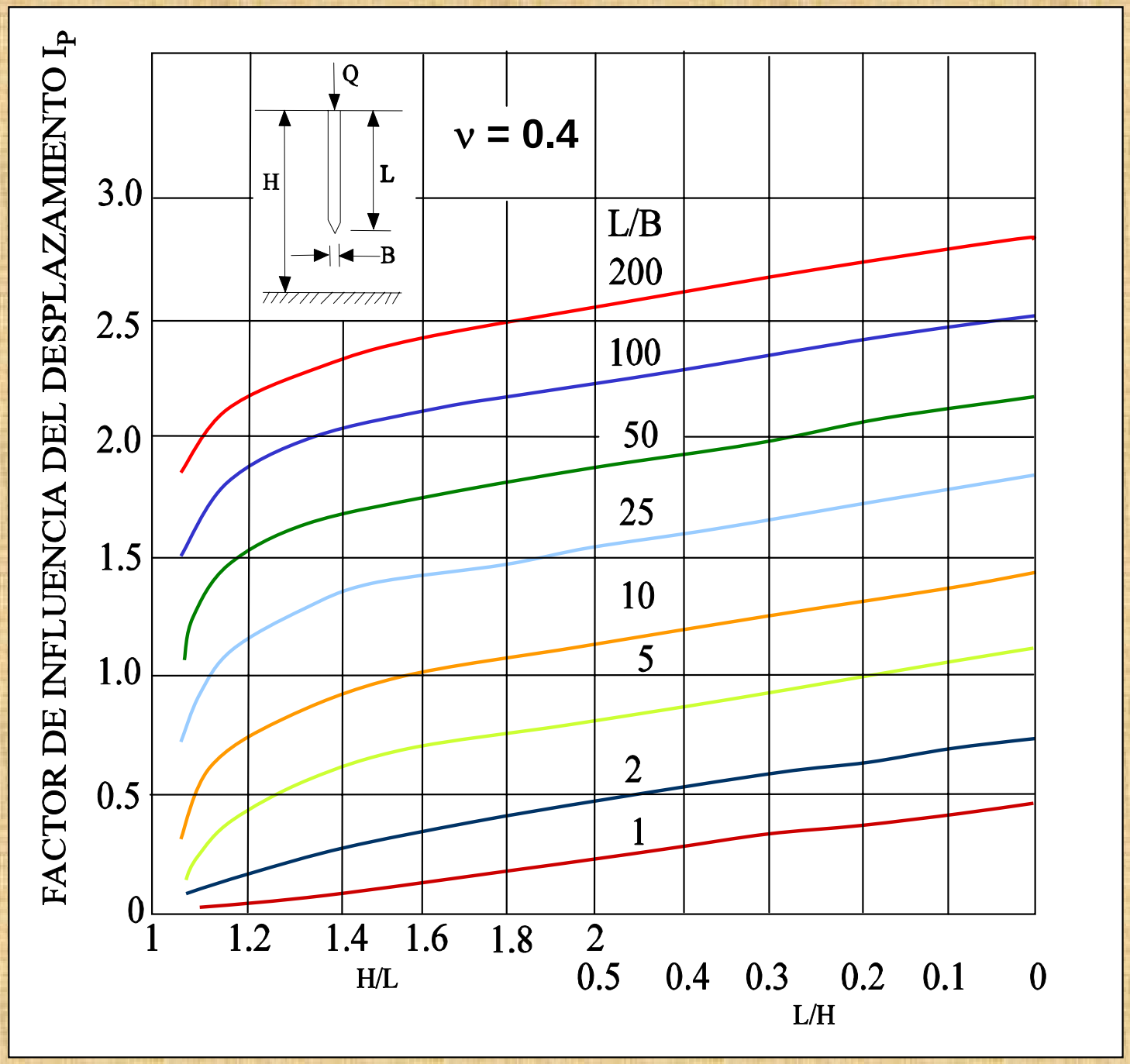
$$E_s = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{m_v\,(1-\nu)}$$

m_v es el valor promedio de cada capa y ν es la relación de Poisson: 0.4 arcilla SC, arcilla NC rígida y 0.2 arcilla NC blanda firme.

$I\rho$ = factor de influencia, obtenido de las siguientes figuras



VALORES DEL FACTOR DE INFLUENCIA IP PARA UN PILOTE EN UN ESTRATO COMPRESIBLE DE PROFUNDIDAD FINITA, ν = 0.2



VALORES DEL FACTOR DE INFLUENCIA IP PARA UN PILOTE EN UN ESTRATO COMPRESIBLE DE PROFUNDIDAD FINITA, ν = 0.4

ASENTAMIENTO DE PILOTES DENTRO DE UN GRUPO EN ARCILLA

$$\rho_i = \rho_1 \left(Q_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{k} Q_j \, \alpha_{ij} \right)$$

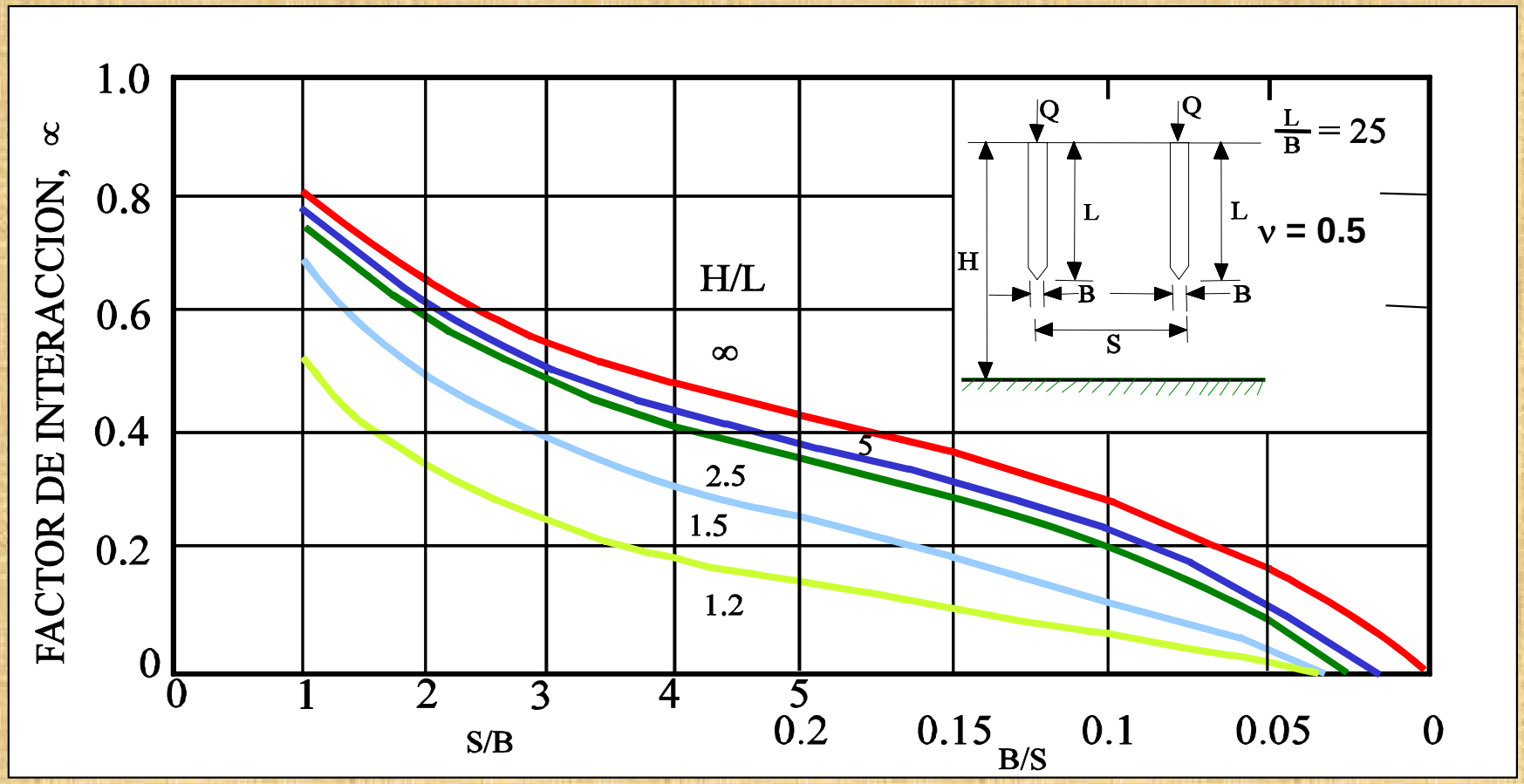
Donde:

ρ_1 = asentamiento del pilote i bajo carga unitaria.

Q_i = carga del pilote i.

Q_j = carga en el pilote j, donde j es cada uno de lo otros pilotes en el grupo, en turno.

α_{ij} = es el factor de interacción entre los pilotes i y j. El valor de α de pende del espaciamiento de los pilotes y se obtienen de la siguiente figura



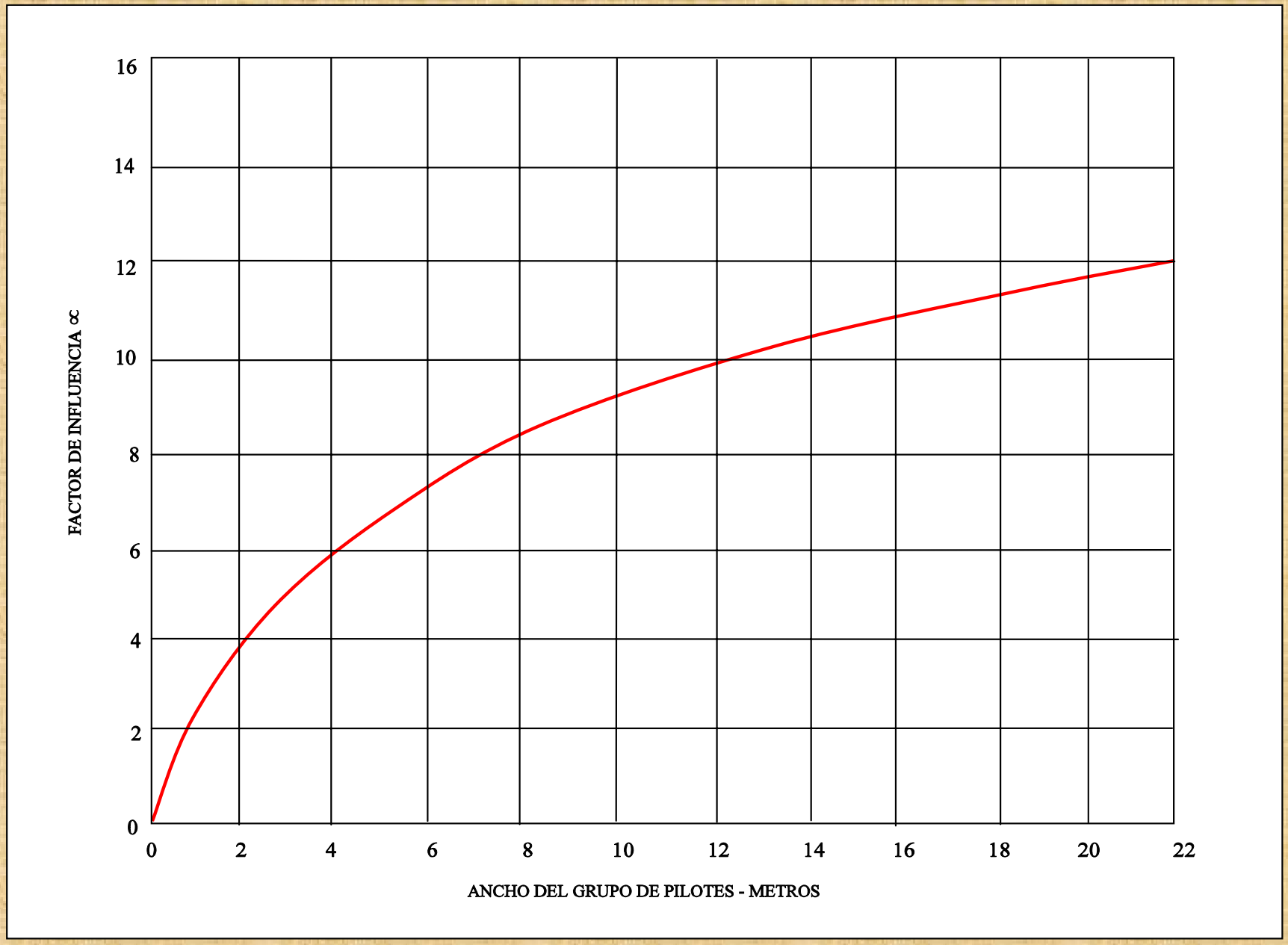
VALORES DEL FACTOR DE INTERACCIÓN ∝ PARA PILOTES EN UN ESTRATO COMPRESIBLE DE PROFUNDIDAD FINITA, ν = 0.5

ASENTAMIENTO DE UN PILOTE INDIVIDUAL EN ARENA O GRAVA

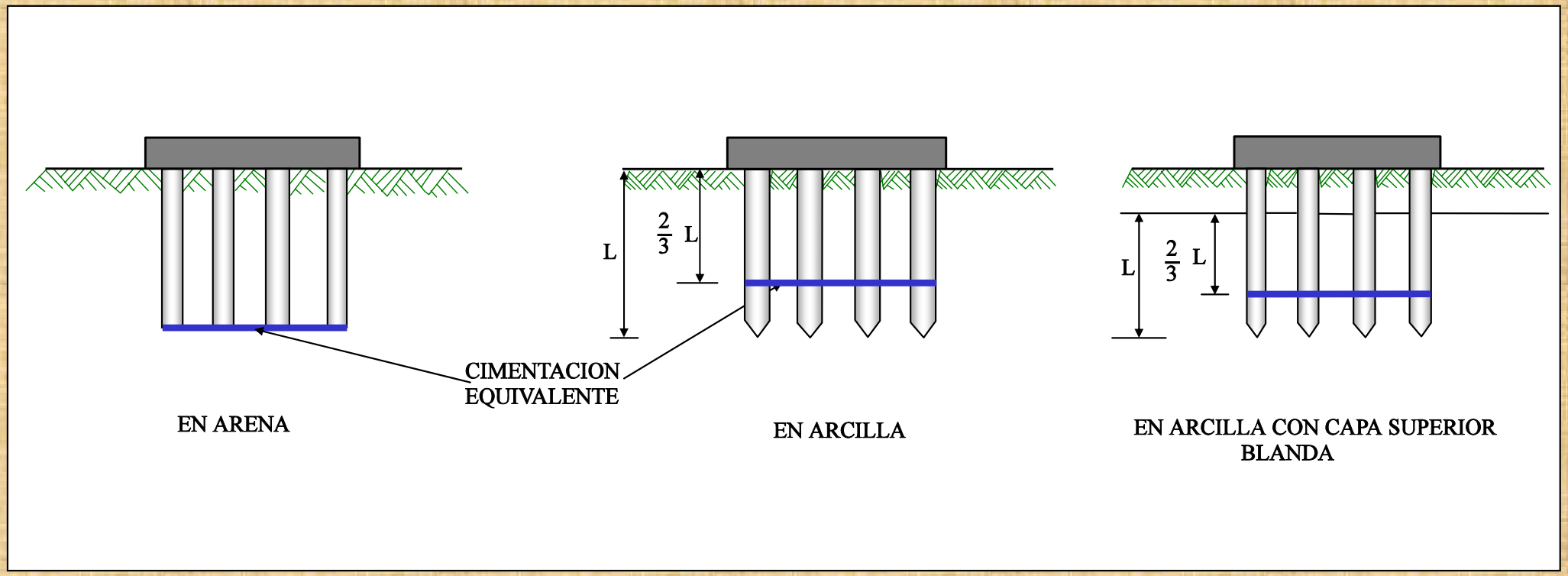
Único método confiable para obtener la deformación de un pilote en un suelo granular es ejecutar un ensayo de carga.

ASENTAMIENTO DE UN GRUPO DE PILOTES EN ARENA O GRAVA

$$\alpha = \frac{\text{(asentamiento del grupo de pilotes)}}{\text{(asentamiento del pilote individual bajo la misma carga de trabajo)}}$$



RELACIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL GRUPO DE PILOTES AL ASENTAMIENTO DE UN PILOTE



MÉTODO SIMPLIFICADO PARA ESTIMAR EL ASENTAMIENTO DEL GRUPO DE PILOTES MEDIANTE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA EQUIVALENTE

FÓRMULA DE HINCA

Las fórmulas de hinca de pilotes tratan de relacionar la capacidad portante de un pilote con su resistencia al hincado. Aunque desacreditadas por muchos ingenieros, las fórmulas de hinca todavía se utilizan en el sitio, como una verificación de las predicciones de diseño utilizando la mecánica de suelos. No se recomienda el empleo de las fórmulas de hinca en el diseño de pilotes; sin embargo, a pesar de sus limitaciones puede utilizarse para ayudar al ingeniero a evaluar las condiciones del terreno en un pilotaje, revelando probablemente variaciones que no fueron aparentes durante la investigación de campo.

FÓRMULA DE HINCA

Existe un gran número de fórmulas de hincado, tal como la muy conocida fórmula del Engineering News Record. La Tabla de US Navy (1982) recomienda el empleo de fórmulas de hinca según el martillo a ser utilizado. Estas fórmulas pueden utilizarse como una guía para estimar las capacidades admisibles de los pilotes y como control de construcción cuando están complementadas por ensayos de carga.

FÓRMULAS BÁSICAS DE HINCADO DE PILOTES (DESIGN MANUAL DM 7.2, 1982)

Para martillos en caída libre	Para martillos de acción simple	Para martillos de doble acción diferencial
$(Q_v)_{ad}^{c} = \frac{2\,WH}{S+1}$	$(Q_v)_{ad}^{a,c} = \frac{2\,WH}{S+0.1}$	$(Q_v)_{ad}^{a} = \frac{2\,E}{S+0.1}$
	$(Q_v)_{ad}^{b,c} = \frac{2\,WH}{S+0.1\frac{W_D}{W}}$	$(Q_v)_{ad}^{b} = \frac{2\,E}{S+0.1\frac{W_D}{W}}$

a = usar cuando los pesos hincados son menores que los pesos de martillo

b = usar cuando los pesos hincados son mayores que los pesos del martillo

c = fórmula de hincado de pilotes basada en la fórmula de Engineering News

$(Q_v)_{ad}$ = carga admisible del pilote en libras

W = peso del martillo en libras

H = altura efectiva de caída en pies

E = energía real liberada por el martillo por golpe en pie-libra

S = promedio neto de penetración en pulg por golpe para las últimas 6” del hincado

W_D = pesos hincados incluyendo el pilote

Nota : la relación de pesos (W_D / W) debe ser < 3

ENSAYO DE CARGA EN PILOTES

Generalidades

Formas y tipos de aplicación de carga

Procedimientos de carga

Criterios de carga de falla

GENERALIDADES

- Única manera de saber si el pilote es capaz de soportar la carga
- Mide características de carga-deformación
- Permite verificar el método de diseño
- Predice asentamiento

FORMAS Y TIPOS DE APLICACIÓN DE CARGA

- Carga aplicada contra marco de reacción

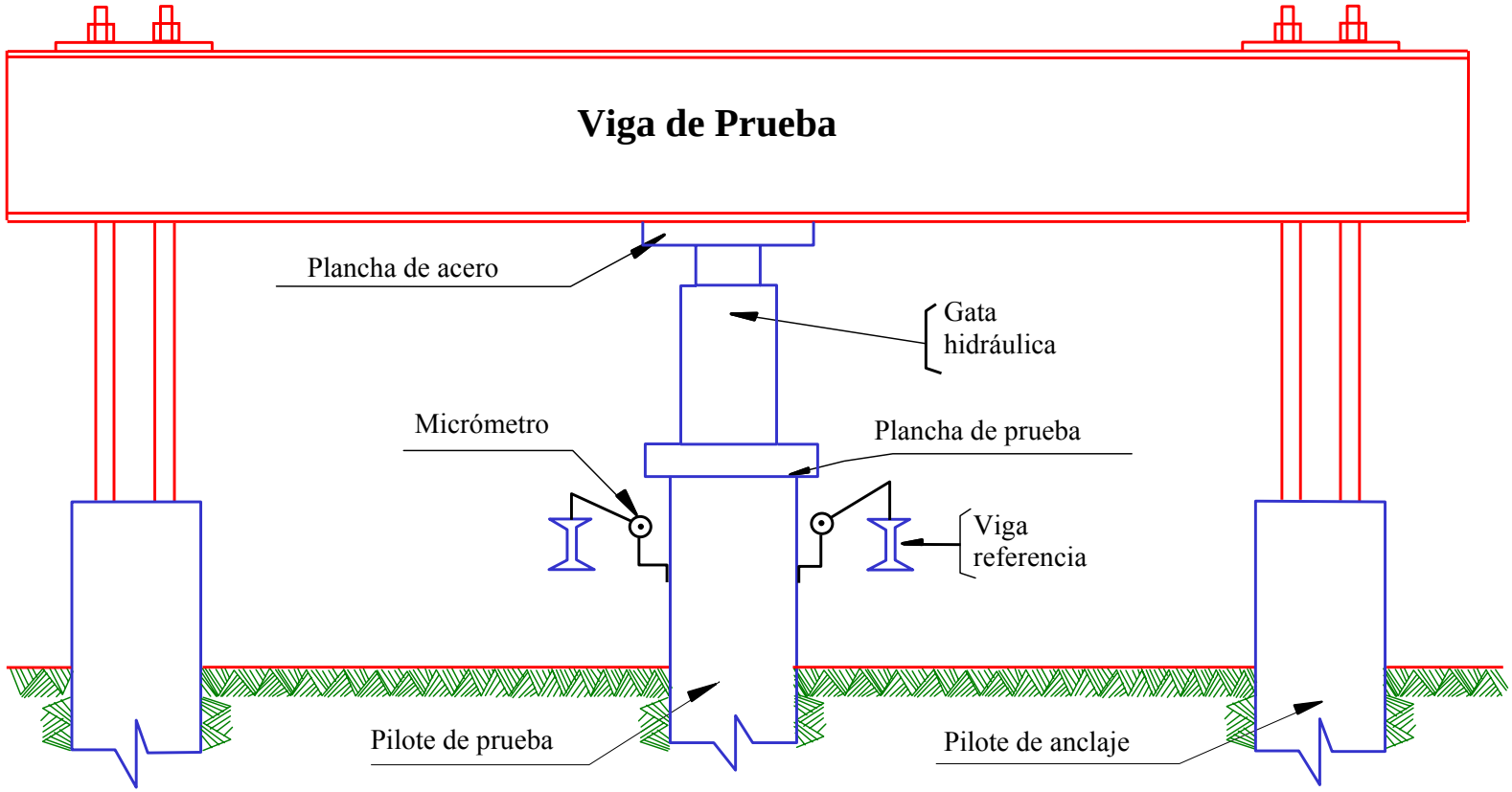
  Pilotes de anclaje

  Anclaje enterrado

- Carga aplicada contra plataforma cargada

- Carga aplicada directamente

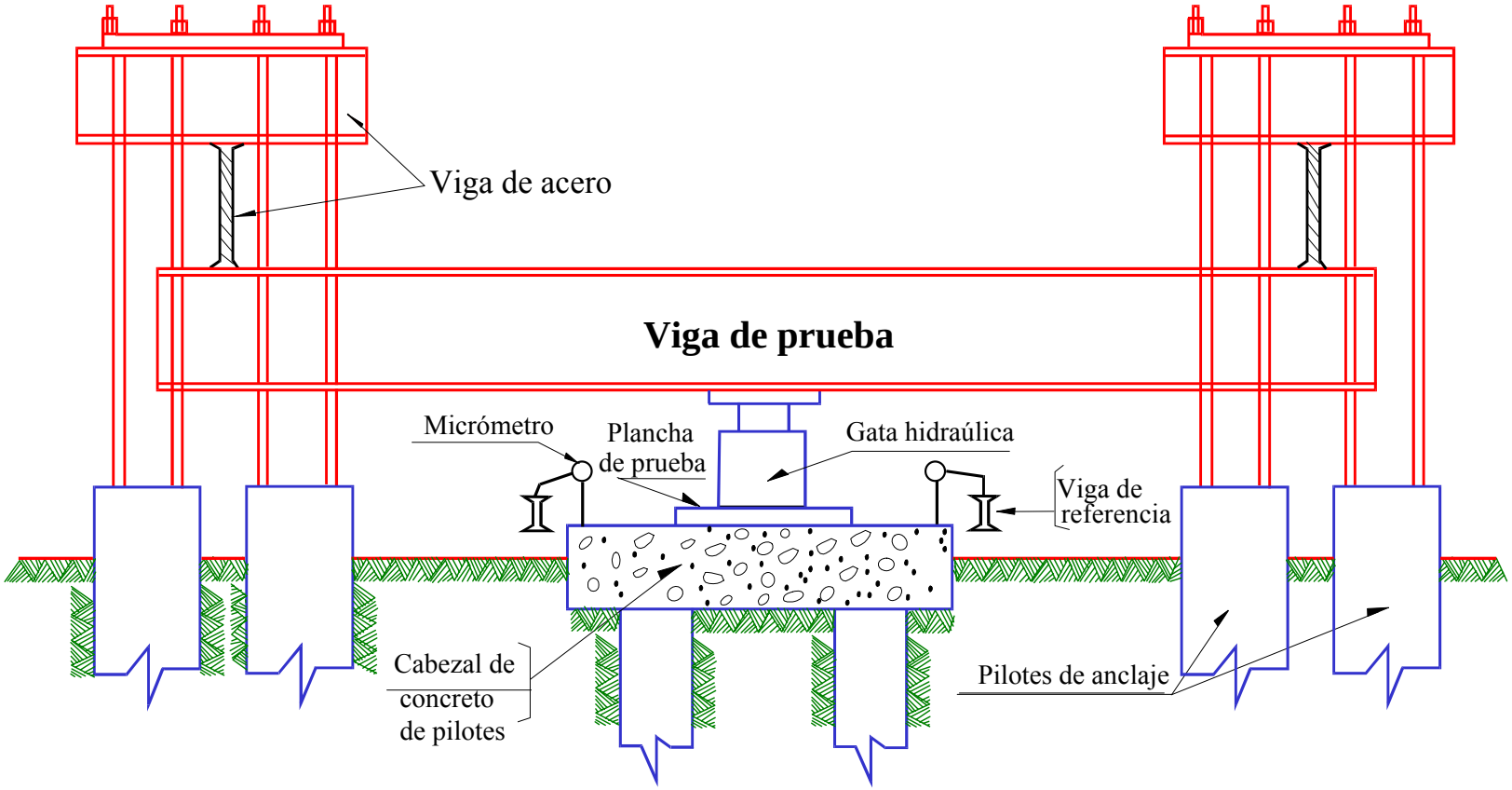
CARGA APLICADA A PILOTE POR GATA HIDRÁULICA ACTUANDO FRENTE A UN MARCO DE REACCIÓN ANCLADO



a) Pilotes simple

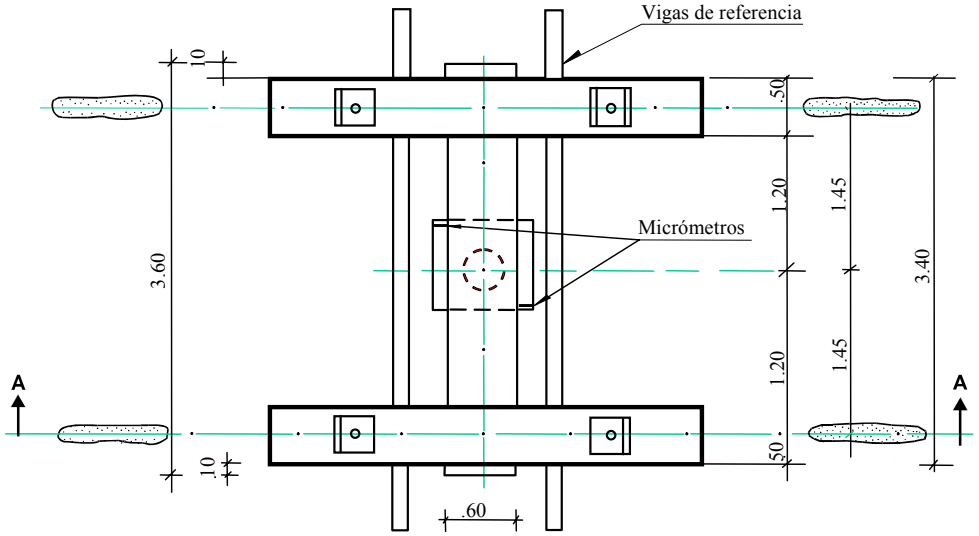
SISTEMA DE MARCO DE REACCIÓN PARA PILOTES DE ANCLAJE

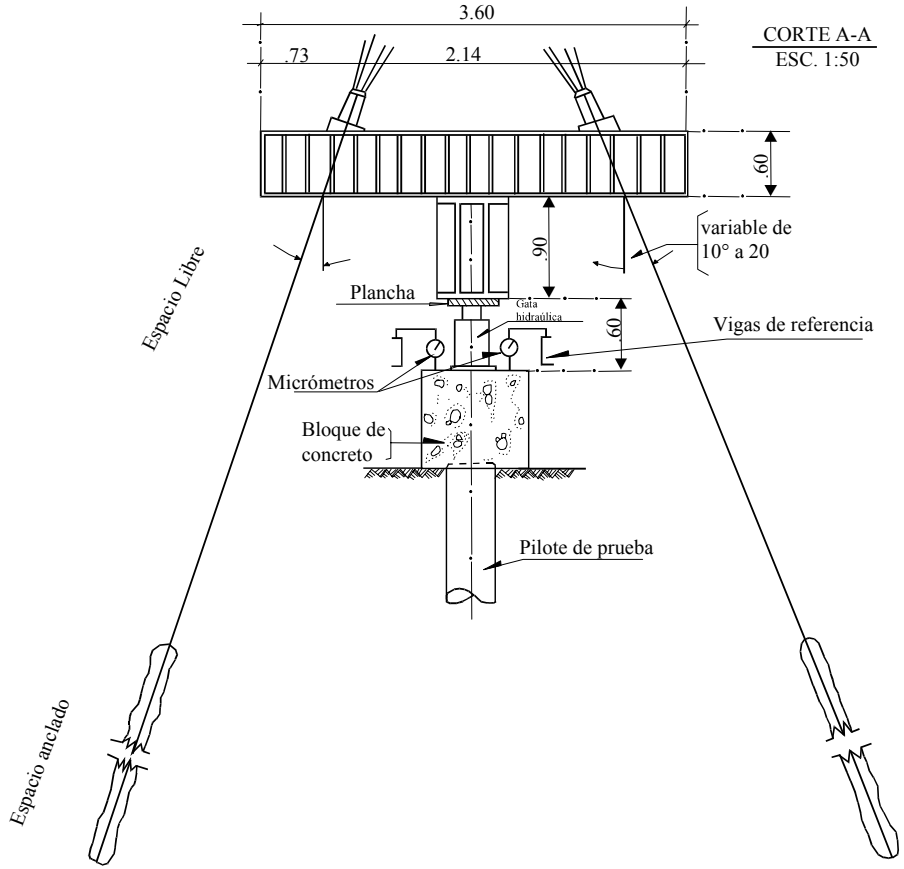
CARGA APLICADA A GRUPOP DE PILOTES POR GATA HIDRÁULICA ACTUANDO FRENTE A UN MARCO DE REACCIÓN ANCLADO



b) Grupo de pilotes

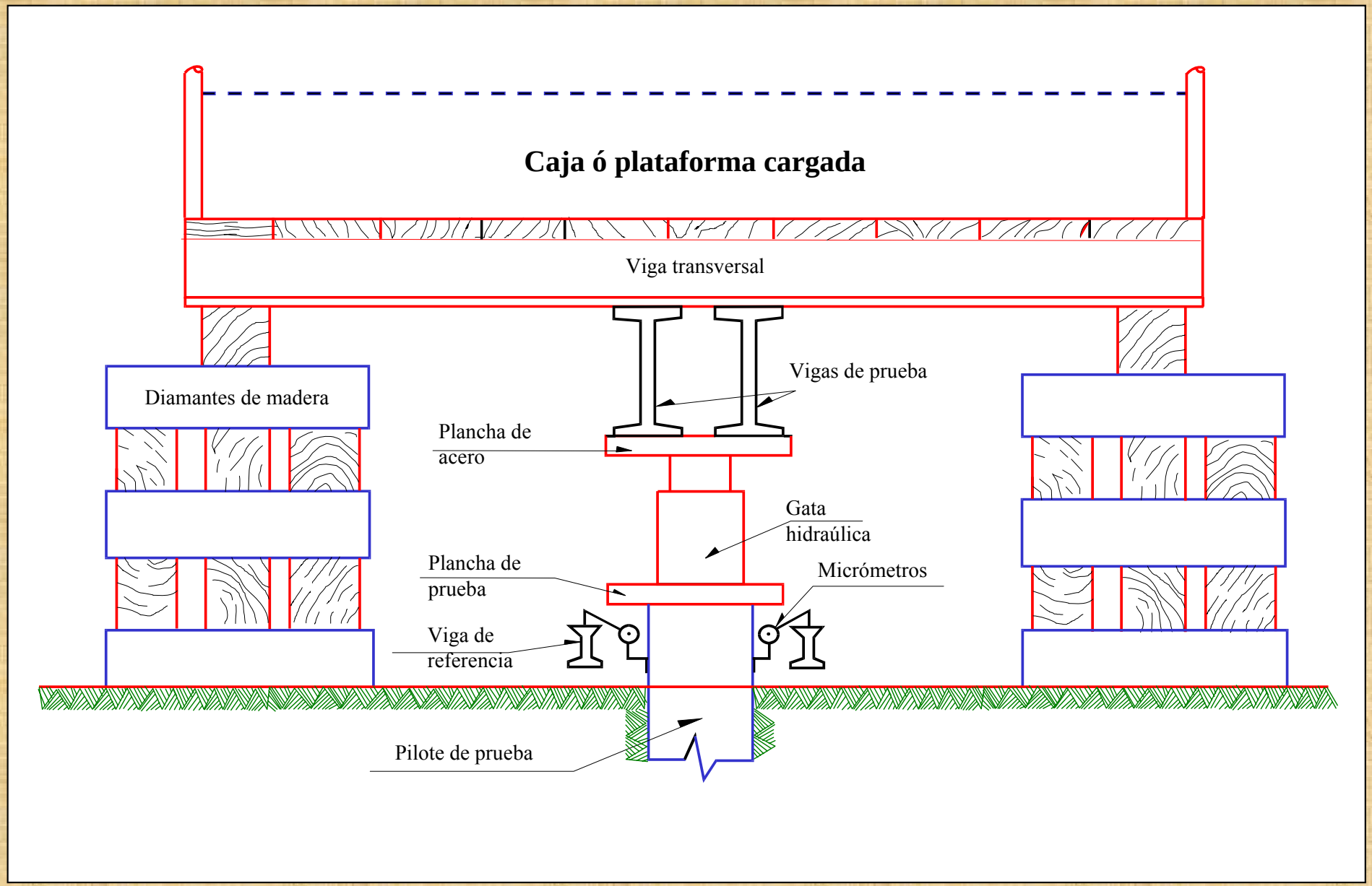
SISTEMA DE MARCO DE REACCIÓN PARA PILOTES DE ANCLAJE



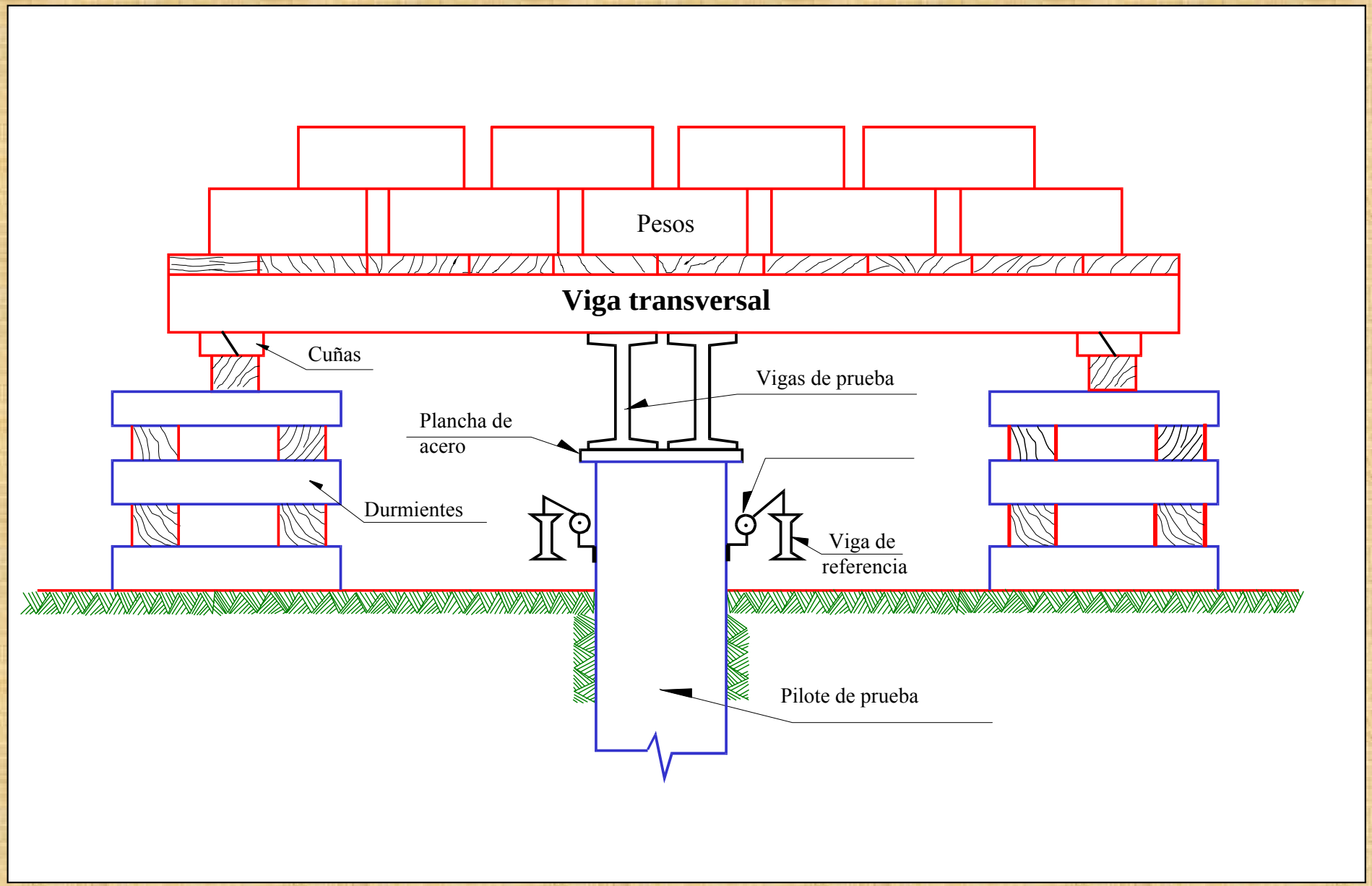


PRUEBA DE CARGA CON ANCLAJES ENTERRADOS

SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA POR GATA HIDRÁULICA ACTUANDO FRENTE A PLATAFORMA CARGADA



SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA DIRECTAMENTE AL PILOTE USANDO UNA PLATAFORMA CARGADA



06.10.2006 05:40

04.10.2006 05:38

PROCEDIMIENTOS DE CARGA (ASTM D-1143)

PRUEBA DE CARGA MANTENIDA (ML)

Se carga el pilote hasta 200% de carga de diseño en incrementos de 25% de la carga de diseño

Mantener incremento de carga hasta que la razón de asentamiento no sea más grande de 0.25 mm/hora

Remover carga después de 12 horas en decrementos de 25 % de la carga total

RAZÓN DE PENETRACIÓN CONSTANTE (CRP)

Se hace penetrar el pilote a una velocidad constante con razón de aplicación de:
0.25 a 1.25 mm/mm en Suelo Cohesivo, y
0.75 a 2.5 mm/mm en Suelo granular

REGLAS PARA DETERMINAR LA CARGA DE RUPTURA

(Vesic, 1975)

1. Limitando el asentamiento total
   a) Absoluto: 1.0 pulgada (Holanda, Código de New York)
   b) Relativo: 10% de diámetro de pilote (Inglaterra)

2. Limitado el asentamiento plástico
   a) 0.25 pulg. (6.35 mm) (AASHTO)
   b) 0.33 pulg. (8.40 mm) (Magnel)
   c) 0.50 pulg. (12.7 mm) (Código de Boston)

3. Limitando la relación asentamiento plástico/asentamiento elástico a 1.5 (Christiani y Nielsen)

4. Relación máxima $\dfrac{\text{Incremento asentamiento elástico}}{\text{Incremento asentamiento plástico}}$ (Szechy)

5. Limitando la relación asentamiento/carga

   a) Total: 0.01 pulg/ton (California, Chicago)

   b) Incremento: 0.03 pulg/ton (Ohio)

   0.05 pulg/ton (Raymond Co.)

6. Limitando la relación asentamiento plástico/carga

   a) Total: 0.01 pulg/ton (Código de New York)

   b) Incremento: 0.03 pulg/ton (Raymond Co.)

7. Relación máxima $\dfrac{\text{Incremento asentamiento}}{\text{Incremento carga}}$ (Vesic, 1963)

8. Curvatura máxima de la curva log W/log Q (De Beer, 1967)

9. Postulado de Van der Veen (1953)

$$W = \beta \ln\left(1 - \frac{Q}{Q_{max}}\right)$$

Ref. Vesic, 1977

a) Método de Davisson

La carga límite propuesta es definida como la carga que corresponde a un asentamiento que excede la compresión elástica del pilote por un valor X dado por:

$$X = 3.8 + \frac{D}{120}$$

donde:

D = diámetro (mm)

X = en (mm)

El método de Davisson se aplica a ensayos de velocidad de penetración constante, si se aplica a ensayos con carga mantenida, resulta conservador.

b) Método de Chin

Se admite que la curva carga-asentamiento cerca a la rotura es hiperbólica. En este método el asentamiento es dividido por su correspondiente carga y el gráfico pasa a ser una curva de asentamiento/carga vs. asentamiento. Los puntos obtenidos tienden a formar una recta y la inversa de la pendiente es la carga de rotura. Este método se aplica a pruebas rápidas o lentas, ya que el tiempo de aplicación de los estados de carga es constante.

c) Método de De Beer

La curva carga vs. asentamiento es llevada a un gráfico log-log. Para los valores de carga mayores, los puntos tienden a caer en dos rectas y su intersección es la carga de rotura.

d) Criterio de 90% de Brinch-Hansen

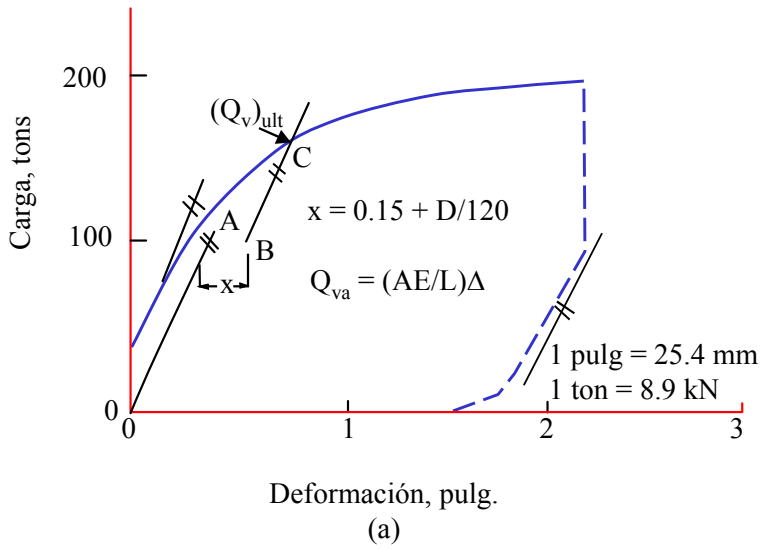
La carga de rotura será aquella cuyo asentamiento es el doble del asentamiento medido para una carga que corresponde al 90% de la carga de rotura.

e) Método de Fuller y Hoy

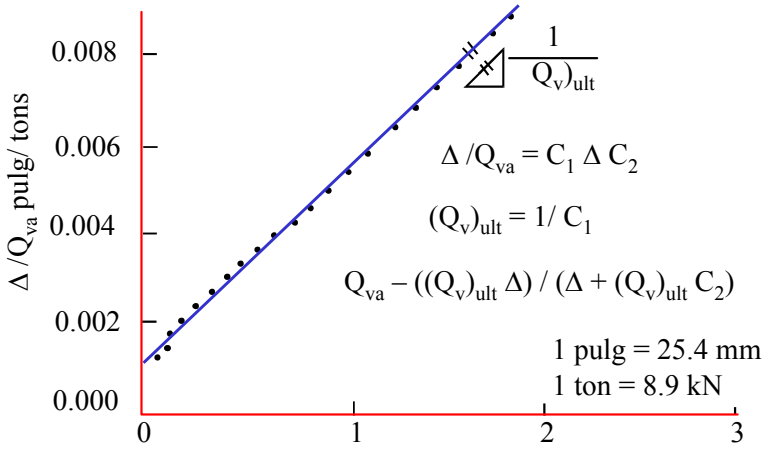
De acuerdo a este criterio, la carga de rotura es aquella que corresponde al punto en la curva carga-asentami- ento tangente a una recta de inclinación 0.05 in/ton.

f) Método de Butler y Hoy

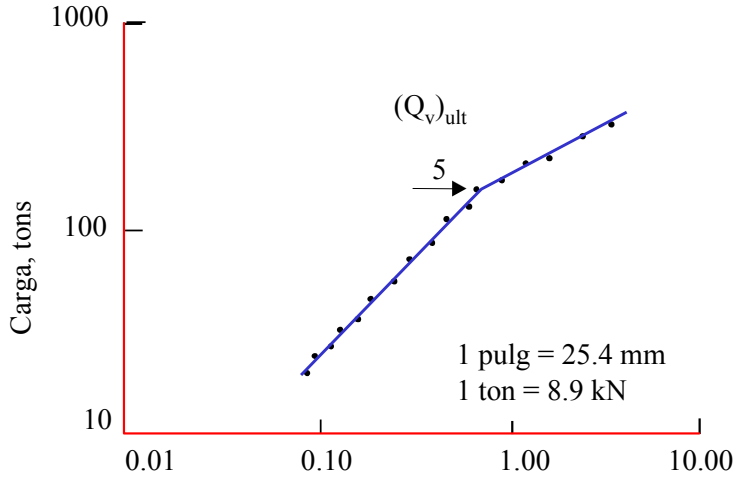
La carga de rotura es definida como aquella correspondiente al punto de intersección de dos rectas tangentes, la primera corresponde a la tangente a la curva y que tenga una inclinación de 0.05 in/ton. y la segunda recta tangente es aquella paralela a la línea de compresión elástica del pilote y tangente a la curva.



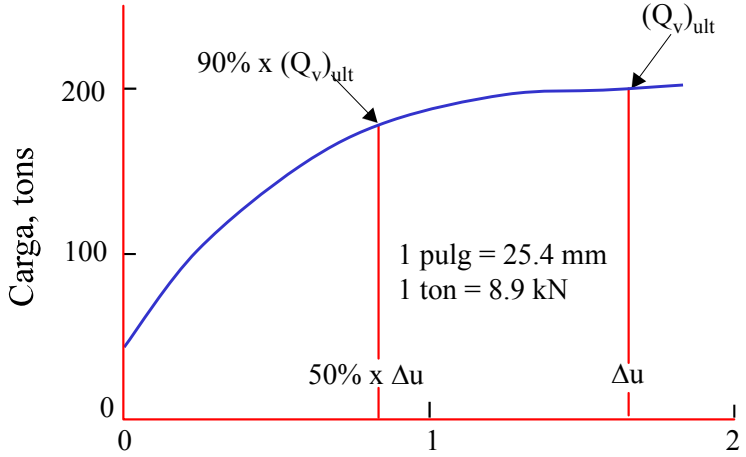
(a)



(b)

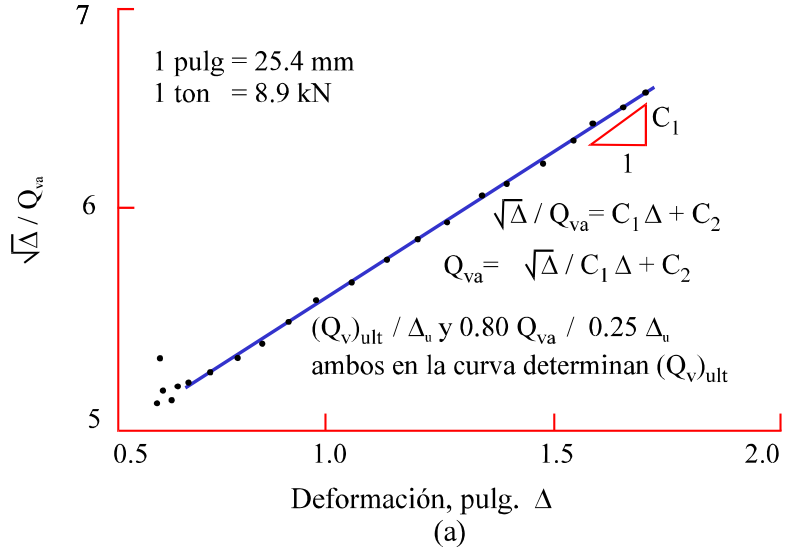


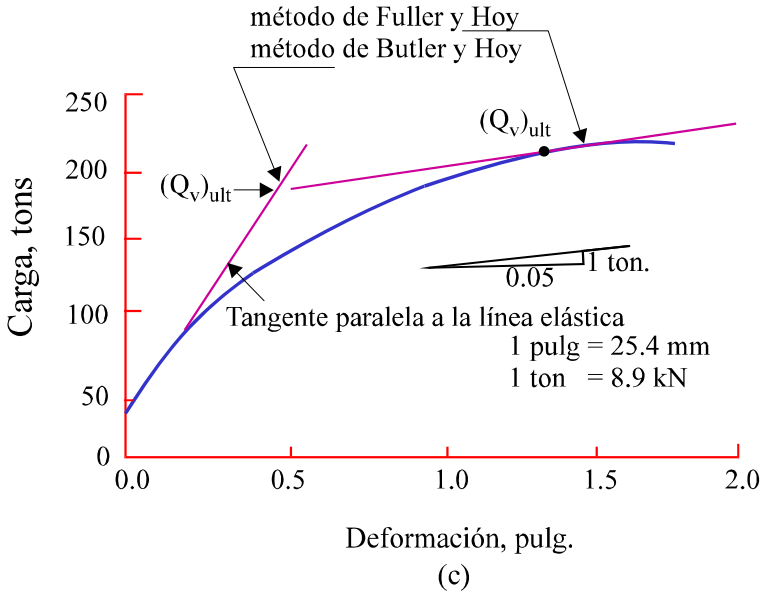
(c)

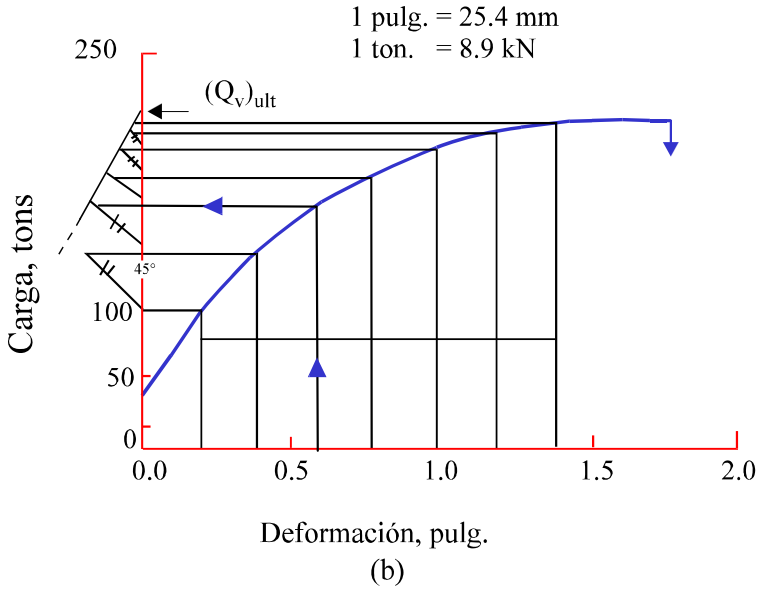


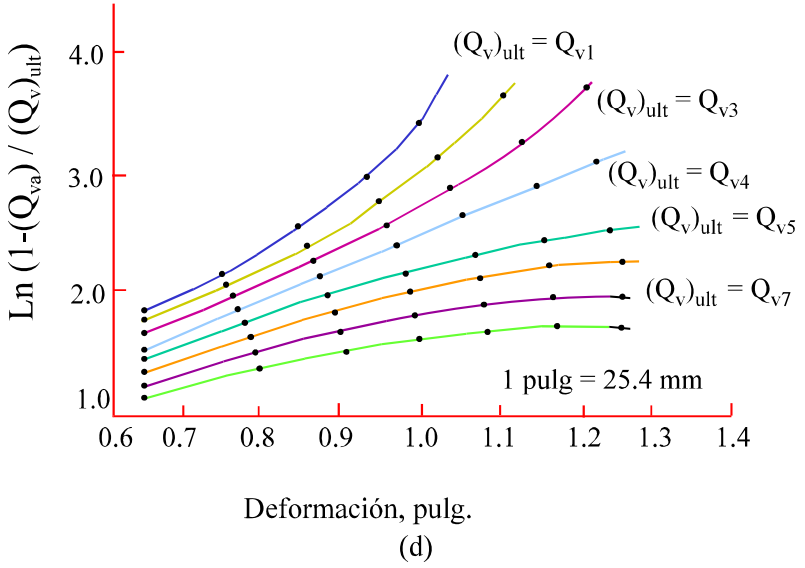
(d)

EVALUACIÓN DE ENSAYOS DE CARGA : A) MÉTODO DE DAVISSON B) MÉTODO DE CHIN C) MÉTODO DE BEER D) MÉTODO DE HANSEN AL 90%.









EVALUACIÓN DE ENSAYOS DE CARGA: A) MÉTODO DE HANSEN AL 80% B) MÉTODO DE MAZURKIEWICZ C) MÉTODO DE FULLER Y HOY D) MÉTODO DE VANDER VEEN

ANEXO

PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ÚLTIMA DE PILOTES BAJO CARGA AXIAL

1.0 INTRODUCCIÓN

El programa está basado en la utilización de fórmulas empíricas para el cálculo de la capacidad última de pilotes individuales. Estas fórmulas se aplican a tipos de suelos agrupados de acuerdo a la clasificación propuesta por Aoki-Velloso (1975). P.P. Velloso (1982) establece correlaciones sólo para suelos de dos clases y Meyerhof (1976) sólo se aplica a suelos no cohesivos y limos no plásticos. Los factores de seguridad los proporciona el usuario y se usan en todas las fórmulas con excepción de la de Decourt-Quaresma, donde el FS es 1.3 para carga por fricción y 4.0 para carga por punta. El programa fue presentado originalmente por Bortolucci et al (1988) y modificado por Guillén (1993).

2.0 SIMPLIFICACIONES ADOPTADAS

Se adoptan en el programa las siguientes simplificaciones:

(1) El valor del ensayo SPT en el primer metro del sondaje siempre se considera igual a cero : SPT (0) = 0.

(2) El valor de SPT se relaciona al metro inmediatamente inferior, es decir SPT (1) corresponde a un intervalo entre 1.0 y 2.0 m. de profundidad del sondaje.

(3) En la transición de estratos se adoptan los parámetros del estrato superior, si la transición ocurre después de 0.5 m.; en caso contrario, los parámetros que se adoptan son del estrato inferior y el valor del SPT será el que corresponde al metro subsiguiente. Con relación a la última simplificación, es importante un análisis más cuidadoso de los resultados en los niveles de transición y también evitar la introducción de estratos menores que un metro de espesor.

3.0 PARÁMETROS GENERALES DE ENTRADA DE DATOS

Los datos comunes de entrada para todos métodos del programa son: número de estrato, profundidad del sondaje, profundidad final de cada estrato, código de suelo de cada estrato (propuesto por Aoki-Velloso), peso específico efectivo de cada estrato, valores del ensayo SPT para cada metro y el factor de seguridad, (no se aplica a la fórmula de Decourt Quaresma, la que fija 1.3 para carga lateral y 4.0 para carga puntual).

Los factores de correlación indicados en la Tabla A-1, son definidos por el propio programa, en función al tipo de suelo.

Con relación a las características del pilote se establecen los siguientes datos: cota superficial del pilote, diámetro del fuste (o dimensión del lado en el caso de una sección cuadrada) y el diámetro de la base, en caso de un alargamiento de la misma.

TABLA A-1: FACTORES DE CORRELACIÓN

		AOKI-VELLOSO			DECORT-QUARESMA		P.P. VELLOSO (*)	
TIPO DE SUELO	CODIGO	Kp (kPa)	α (%)	Kl (KPa)	K (Pa)	a (KPa)	b'	a'
Arena	100	1000	1.4	14.00	400	600	1.00	5.0
Arena Limosa	120	800	2.0	16.00	400	500	1.00	8.5
Arena Limosa-Arcillosa	123	700	2.4	16.80	400	500	1.00	8.5
Arena Arcillosa	130	600	3.0	18.00	400	500	1.00	8.5
Arena Arcillosa-Limosa	132	500	2.8	14.00	400	500	1.00	8.5
Limo	200	400	3.0	12.00	200	430	1.00	10.0
Limo Arenoso	210	550	2.2	12.10	250	430	0.87	10.0
Limo Arenoso-Arcilloso	213	450	2.8	12.60	250	430	0.87	10.0
Limo Arcilloso	230	230	3.4	7.82	200	430	1.00	10.0
Limo Arenoso-Arcilloso	231	250	3.0	7.50	200	430	1.00	10.0
Arcilla	300	200	6.0	12.00	120	250	1.00	6.3
Arcilla Arenosa	310	350	2.4	8.40	120	250	1.00	6.3
Arcilla Arenosa-Limosa	312	300	2.8	8.40	120	250	1.00	6.3
Arcilla Limosa	320	220	4.0	8.80	120	250	1.00	6.3
Arcilla Limosa-Arenosa	321	330	3.0	9.90	120	250	1.00	6.3

* El parámetro b se asume igual a 1.00 para todos los suelos

Los método usados son los siguientes:

(1) Método de Aoki-Velloso

La entrada de datos para el cálculo basado en el método de Aoki Velloso se empieza a través de los parámetros relativos al tipo de pilote F1 F2. Estos valores son proporcionados por el usuario y se indican en la Tabla A-2

TIPO DE PILOTE	F1	F2
FRANKI	2.50	5.0
ACERO	1.75	3.5
CONCRETO	1.75	3.5
STRAUSS	1.70	3.0
PREMOLDEADO	$1+\frac{D\,(cm)}{80}$	2F1
EXCAVADO	3.00	6.0

TABLA A-2: PARÁMETROS RELATIVOS AL TIPO DE PILOTE: AOKI-VELLOSO

Los resultados son proporcionados desde 1.00 a 2.00 m. de longitud del pilote hasta la profundidad final del sondaje. Las fórmulas son las siguientes:

$$R_l = \frac{A_{l1}}{F2} \text{ x } \sum_{i=CA}^{l} (N_i \text{ x } K_{li})$$

$$R_p = A_p \text{ x } \frac{K_p \text{ x } N_p}{F1}$$

Donde:

R_l	=	resistencia lateral
A_{l1}	=	área lateral por metro lineal de pilote
N_i	=	SPT en el punto i
K_{li}	=	αi x Kl (factor de correlación)
CA	=	cota superficial del pilote
L	=	penetración del pilote
R_p	=	resistencia por punta
A_p	=	área de la punta
K_p	=	factor de correlación
N_p	=	SPT de la punta

(2) Método de Decourt-Quaresma

No existe entrada de datos específicos y los resultados se presentan para longitudes del pilote desde 1.00 m. Hasta la profundidad final del sondaje. Las fórmulas usadas son las siguientes:

$$R_l = 10 \text{ x } p \text{ x } L \text{ x } \left[\frac{\left| \overline{N} \right|_{CA}^{L}}{3} + 1 \right]$$

$$R_P = A_p \text{ x } K \text{ x } \left| \overline{N} \right|_{P-1}^{P+1}$$

Donde:

$\left| \overline{N} \right|_{CA}^{L}$ SPT promedio a lo largo del fuste

p = perímetro del pilote

K = factor de correlación

$\left| \overline{N} \right|_{P-1}^{P+1}$ SPT promedio en la longitud de 3.0. Próximos a la punta (1.0 m. encima de la punta, en la punta y 1.0 m. debajo de la punta).

(3) Método de Pedro Paulo Velloso

Se empieza la entrada de datos con los valores de **“lamdba” y “theta”**, que son los factores relativos de carga del pilote y el tipo de pilote. Los valores propuestos son:

PILOTE EN TRACCION	$\lambda = 0.7$
PILOTE EN COMPRESION	$\lambda = 1.0$
PILOTE HINCADO	$\theta = 1.0$
PILOTE EXCAVADO	$\theta = 0.5$

El programa genera el valor de **" ß "** :

$$\beta = 1.016 - \frac{0.016 * D_e}{0.035}$$

El valor de ß es menor que 0.2 y D_e es el diámetro efectivo del pilote. Los resultados se presentan desde una profundidad de **" $8D_e$ "** hasta una profundidad de **" $3.5D_e$ "** por encima de la profundidad final del sondaje. Las fórmulas usadas son las siguientes:

$$R_l = A_{l1} \times \theta \times \lambda \times \sum_{i=CA}^{L} (a'_i \times N_i^{b'_i})$$

$$R_p = A_p \times \beta \times \theta \frac{\left| \overline{N_i^b a_i} \right|_{P-8D_e}^{P} + \left| \overline{N_i^b a_i} \right|_{P}^{P+3.5D_e}}{2}$$

Donde:

$\left| \overline{N_i^b a_i} \right|_{P-8D_e}^{P}$ = promedio de los productos N^b .a desde $8D_e$ por encima de la punta del pilote hasta la punta del pilote (b se adopta igual a 1).

$\left| \overline{N_i^b a_i} \right|_{P}^{P+3.5D_e}$ = idem, desde la punta hasta 3.5 D_e por debajo de la punta del pilote.

D_e = diámetro efectivo del fuste del pilote

(4) Método de Meyerhof

La entrada de datos comienza con los parámetros Mm y Nm, que son los factores relativos a la forma de ejecución del pilote. El autor propone:

TIPO DE PILOTE	Mn	Nm
FRANKI	6	1
PUNTA CONICA	3	1
HINCADO EN SUELOS NO COHESIVOS	2	1
HINCADO EN SUELOS COHESIVOS	> 2	1
EXCAVADO	1	0.3

Los resultados se presentan para longitudes de pilote de 1.0 m hasta una profundidad de 2.0 m por encima de la profundidad final del sondaje. Las fórmulas usadas son las siguientes:

$$R_l = M_n \times A_{ll} \times \sum_{i=CA}^{L} N_i$$

$$R_p = N_m \times A_p \times Q$$

Donde:

Q = es el valor menor entre Q_1 y Q_2

$$Q_1 = 10 \times T_s \times \left| \overline{N} \right|_{P+1}^{P+D_e}$$

Q_2 = es el valor mayor entre Q_3 y Q_4

$$Q_3 = T_s \times \frac{Z_b}{D_e} \times \left| \overline{N} \right|_{P-Z_b}^{P-1}$$

$$Q_4 = \frac{T_s}{D_e} \times N_p$$

con:

T_s = 40 Kpa para suelos no cohesivos y
T_s = 30 Kpa para suelos limosos no plásticos y por extensión a todos los demás suelos
Z_b = longitud del pilote limitada a 10 D_e

El método de Meyerhof se presenta sin o corrección de los valores de SPT, en el último caso se emplean las siguientes fórmulas:

$$N_c = N \text{ para } \sigma' < 100 \text{ Kpa}$$

$$N_c = 0.77 \text{ x } \log_{10} \frac{2000}{\sigma'} \text{ x N para } \sigma' > 100 \text{ KPa}$$

Donde:

N_c = SPT corregido
σ' = esfuerzo efectivo al inicio del metro considerado