

**Fundación Cultural COAM**

**X Plan de Formación Continuada, AÑO 2003**

**Mayo de 2003**

**CURSO SOBRE LA CIMENTACIÓN EN LOS EDIFICIOS**

**CIMENTACIONES POR PILOTAJE**

**Fernando Muzás Labad**

## 1. INTRODUCCION

Se entiende como cimentación profunda, aquella mediante la cual se transfieren a una capa de terreno más o menos alejada de la superficie, las cargas de la estructura que debe sustentar. Existen diversos tipos de cimentación profunda, pero el más habitual es el de la cimentación por pilotaje.

Los pilotes son elementos de gran longitud, en comparación con su sección transversal relativamente pequeña. La construcción de un pilote consta de dos aspectos bien diferenciados:

- La fabricación del elemento estructural o cuerpo del pilote.
- Su instalación dentro del terreno, en el interior de una perforación realizada o no previamente.

La fabricación del elemento estructural puede ser anterior o posterior a la ejecución de la perforación por lo que, atendiendo a estos aspectos, los pilotes se pueden clasificar según criterios distintos, según se indica a continuación:

### 1. Por el método de fabricación de la pieza:

- . Pilotes prefabricados
- . Pilotes hormigonados "in situ"

### 2. Por el tipo de material:

- . Pilotes de madera
- . Pilotes metálicos
- . Pilotes de hormigón armado
- . Pilotes de hormigón pretensado

### 3. Por la forma de instalación en el terreno

- . Con desplazamiento del terreno
- . Con extracción del terreno

## **2. TIPOS DE PILOTE**

Existen diversas técnicas de construcción de pilotes que combinan las diversas posibilidades de fabricación y perforación, siendo unas más adecuadas que otras, según la naturaleza del terreno y las condiciones o características de ejecución.

En consecuencia, los principales tipos de pilote admiten la siguiente clasificación:

### **A. PILOTES DE DESPLAZAMIENTO**

- A.1. Prefabricado
- A.2. Hinca de vaina perdida o entubación recuperable y hormigonado "in situ"

### **B. PILOTES DE EXTRACCION**

- B.1. Con entubación abierta para sostener el terreno de la perforación. Hormigonado "in situ"
- B.2. Sin entubación. Hormigonado "in situ"

Señalaremos, a este respecto, que en las Normas Tecnológicas de Pilotes se recogieron algunos criterios para poder seleccionar, en cada caso particular, el pilote más adecuado, dentro de los más habituales en el mercado español.

### 3. PILOTES PREFABRICADOS

Los pilotes prefabricados pueden ser de **madera, metálicos, de hormigón armado o de hormigón pretensado**. Se instalan en el terreno mediante hinca, por lo que son siempre pilotes de desplazamiento. Para la hinca se utiliza maquinaria especial que actúa generalmente por percusión y a veces por vibración.

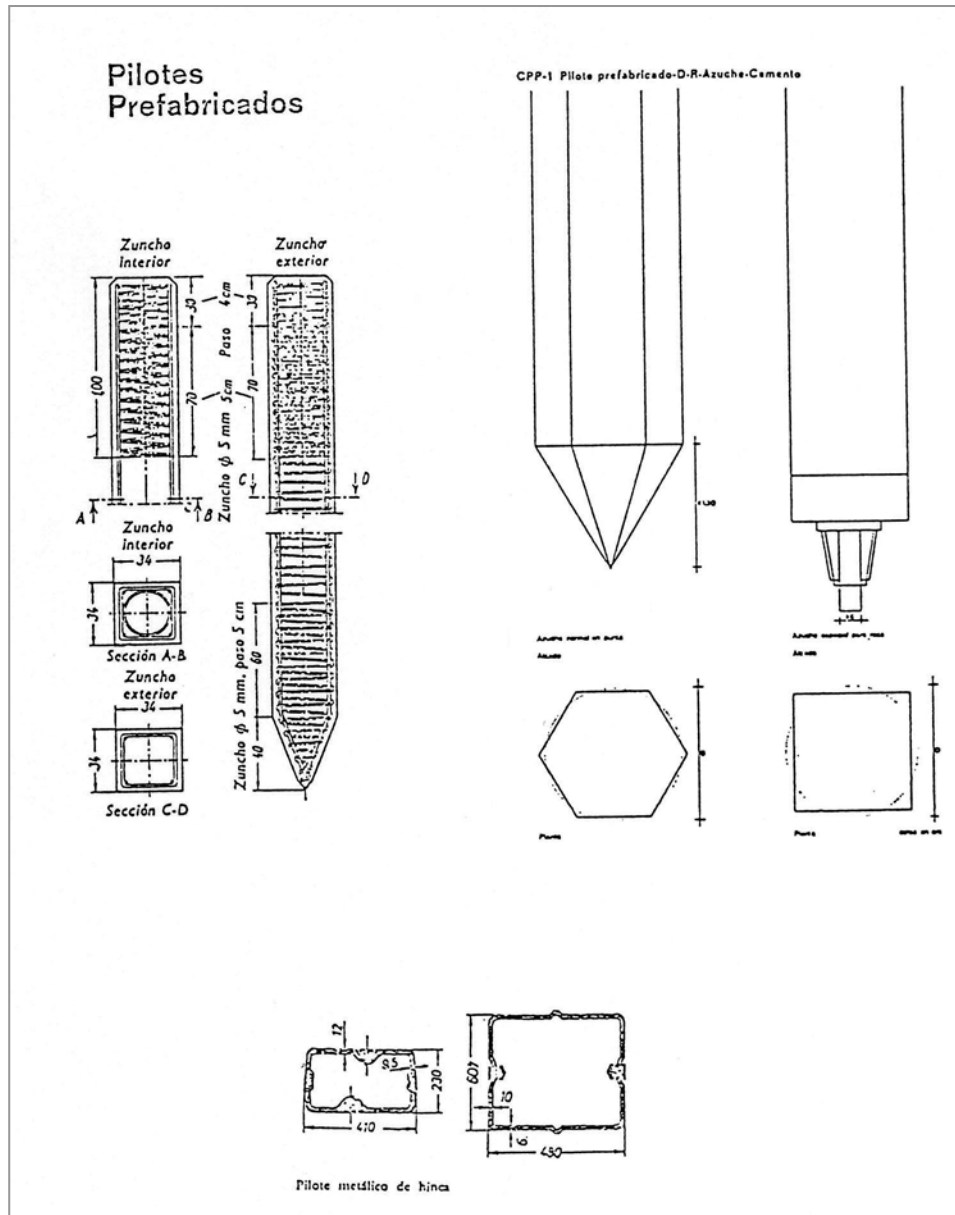
Los pilotes terminan normalmente en punta, protegida o no con un azuche. Cuando con el pilote se alcanza un substrato rocoso, es conveniente un azuche especial conocido como "**punta de oslo**". La cabeza hay que protegerla durante la hinca con un sombrerete o casco, para evitar su deterioro.

La hinca se termina cuando se alcanza la capa resistente prevista o, en caso de pilotes flotantes, en función del "**rechazo**" o valor de hinca permanente que experimenta el pilote durante su instalación y que es función de la energía utilizada y de las características resistentes del terreno.

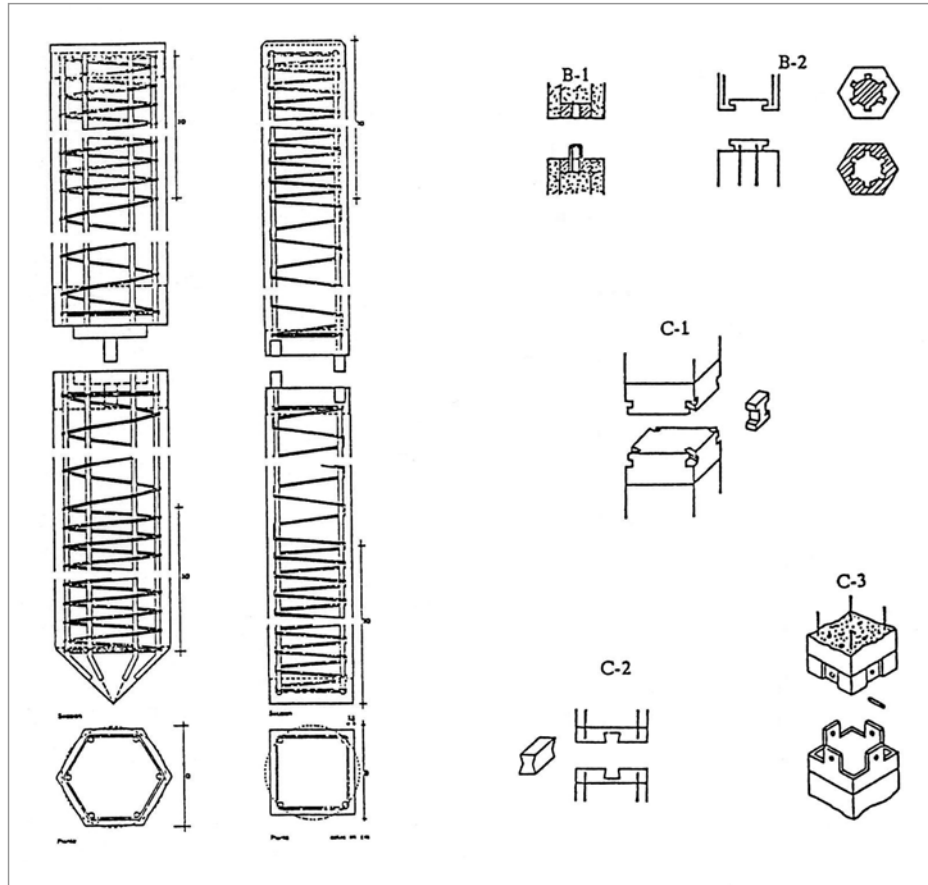
Los **pilotes metálicos** admiten secciones muy diversas, macizas o huecas, se pueden usar en terrenos duros y prolongar por soldadura y, cuando se trata de secciones huecas, rellenarlos de hormigón.

Los **pilotes de hormigón armado** tienen normalmente secciones cuadradas de 30 o 50 cm de lado o también hexagonales u octogonales. Hay que disponer de parques de fabricación y estudiar todas las operaciones de manejo, transporte e izado que condicionan la sección de armadura. Hay tipos especiales fabricados en trozos cortos empalmables a bayoneta o mediante calas.

Los **pilotes de hormigón pretensado** son de sección cuadrada o circular y frecuentemente tubulares, que se fabrican en trozos empalmados postensados. En general, los pilotes prefabricados permiten la colocación en dirección inclinada y hay mayor facilidad de ejecutarlos a flote.



**FIG. 1. PILOTES PREFABRICADOS**



**FIG. 2. PILOTES PREFABRICADOS EMPALMABLES**

#### 4. PILOTES HORMIGONADOS "IN SITU"

Los pilotes hormigonados "in situ" requieren la ejecución previa de una perforación que ha de ser estable durante todo el proceso de fabricación del pilote, que incluye la colocación de armaduras y el hormigonado posterior. La perforación puede conseguirse por **desplazamiento del terreno o con extracción del mismo**.

En el primer caso, **por desplazamiento**, se hinca en el terreno una tubería de pared gruesa, recuperable, cerrada en el fondo con un azuche perdido o con un tapón de gravas o de hormigón seco. La tubería se golpea bien arriba, cuando lleva azuche, o bien sobre el tapón de gravas del fondo, que va arrastrando la tubería. El tapón se desfonda al llegar a la profundidad prevista o al "rechazo" previamente establecido.

El caso más sencillo de perforación **con extracción de terreno** corresponde al que se ejecuta en terrenos cohesivos impermeables o sin agua, condiciones que permiten efectuar la perforación **sin necesidad de contención** alguna de las paredes.

Cuando esto no es posible, hay que utilizar una **entubación recuperable** que se introduce en el terreno acompañando la excavación y siempre por delante de la misma, salvo en el caso de que haya que atravesar capas duras intermedias que obliguen al uso de trépano. El terreno se va extrayendo con cucharas especiales u otros útiles adecuados. En terrenos muy blandos o susceptibles de sifonamiento, hay que mantener la perforación llena de agua, al menos un metro por encima del nivel freático.

Otra técnica utilizada en pilotes de gran sección, debido a la dificultad de manejar tuberías muy pesadas, es estabilizar las paredes mediante el **empleo de lodos tixotrópicos** que van rellenando la perforación a medida que progresa la excavación. Esta técnica, aplicada inicialmente en el campo de las perforaciones petrolíferas, utiliza normalmente como lodo una suspensión coloidal de bentonita en agua. La estabilidad se consigue gracias a la formación en las paredes de la perforación de una película de material muy impermeable, o "cake", y a la presión que transmite el lodo al terreno. El nivel del lodo debe estar siempre un metro, por lo menos, por encima del nivel freático.

Finalmente, puede efectuarse la perforación **sin entubación**, utilizando una barrena de longitud superior a la profundidad del pilote que permite el hormigonado posterior, por un tubo central en el eje de la barrena, a medida que ésta se va extrayendo. De esta manera queda asegurada en todo momento la estabilidad de la perforación y el hormigonado del pilote. Este tipo de pilote es el único en el que la armadura metálica se coloca después de hormigonado.

## **PILOTES IN SITU EN LA NORMA BÁSICA**

### **A. PILOTES DE DESPLAZAMIENTO**

#### **A2. HINCA DE VAINA O ENTUBACIÓN**

##### **A21. VAINA O ENTUBACIÓN CERRADA**

A211. Metálica hincada con mandril

A212. Metálica hincada por golpeo

A214. De hormigón hincada con mandril

##### **A22. ENTUBACIÓN QUE SE RECUPERA**

A221. Con azuche perdido

A222. Con tapón de hormigón seco

### **B. PILOTES DE EXTRACCIÓN**

#### **B1. CON ENTUBACIÓN ABIERTA**

##### **B11. PERDIDA**

B112. Metálica

B113. De Hormigón pretensado

##### **B12. RECUPERADA**

B121. Sección constante

B122. Con ensanchamientos

#### **B2. SIN ENTUBACIÓN**

##### **B21. CON LODOS**

B211. Circulación inversa

B212. Extracción mecánica



- B22. BARRENADOS
  - B221. Hormigón colado
  - B222. Hormigón inyectado

### TIPOS DE PILOTES IN SITU EN LA NTE

#### A. PILOTES DE DESPLAZAMIENTO

CPI-2	Hinca de tubería recuperable con azuche perdido	A221
CPI-3	Hinca de tubería recuperable con tapón de grava o de hormigón	A222

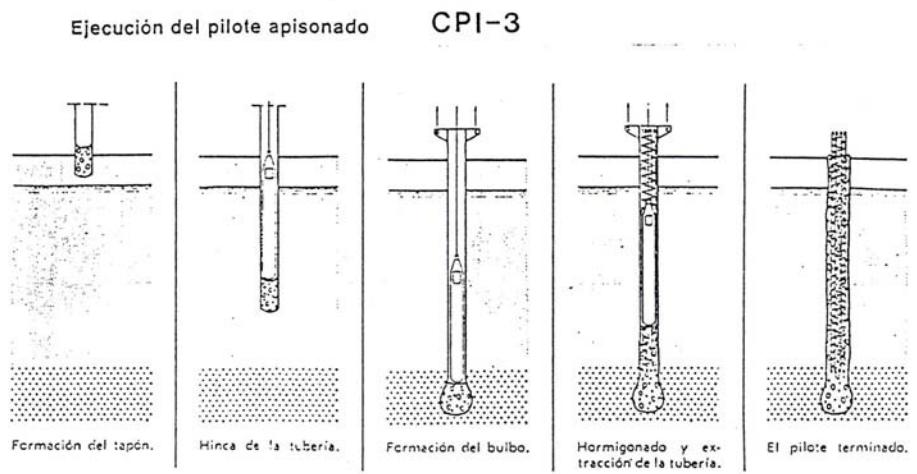
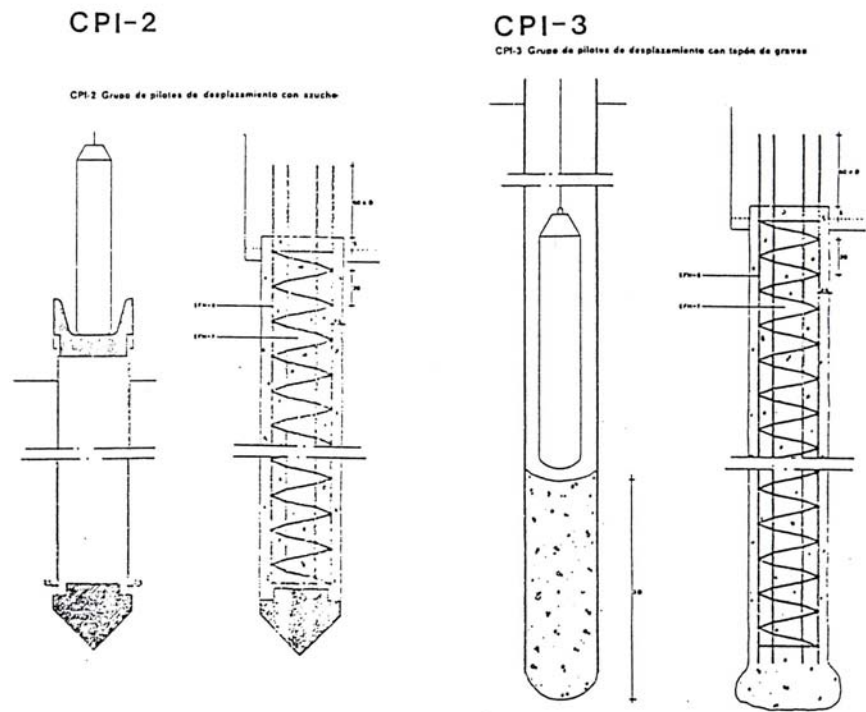
#### B. PILOTES DE EXTRACCIÓN

CPI-4	Perforados con entubación recuperable	B121
CPI-5	Perforados con camisa perdida	B112
CPI-6	Perforados con lodos tixotrópicos	B211 y B212
CPI-7	Barrenados sin entubación	B221
CPI-8	Barrenados y hormigonados por el tubo central de la barrena	B222

En la NTE se incluye un cuadro que permite la **Elección del Pilotaje** en función de determinadas **características del terreno de cimentación** y de la forma de trabajar el pilote. Se utiliza la notación  $P$  = Resistencia por la punta y  $F$  = Resistencia por el fuste.  $P > 3F$  equivale a un pilote columna y  $P < 3F$  equivale a pilote flotante.

Partiendo de estos aspectos se da para cada tipo de pilote (CPI-2 a CPI-8) una puntuación básica, a la que se añaden varios sumandos correctores, en función de condiciones geotécnicas especiales, la carga de los pilares a cimentar y el número de pilares del edificio

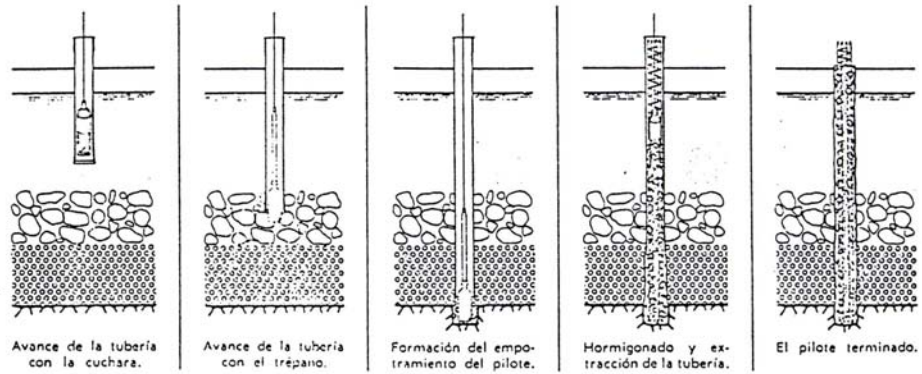
El tipo de pilote que obtiene la máxima puntuación es el más recomendable, según los autores del Cuadro. Lo más importante es cuando aparece un NO, ya que significa que el tipo de pilote en cuestión es completamente inadecuado para el caso de que se trate.



**FIG. 3. PILOTES CPI-2 Y CPI-3**

## CPI-4

Ejecución del pilote perforado



## CPI-6

PROCESO DE CONSTRUCCION DEL PILOTE RODIO GRAN DIAMETRO CON "AGUA DENSA"

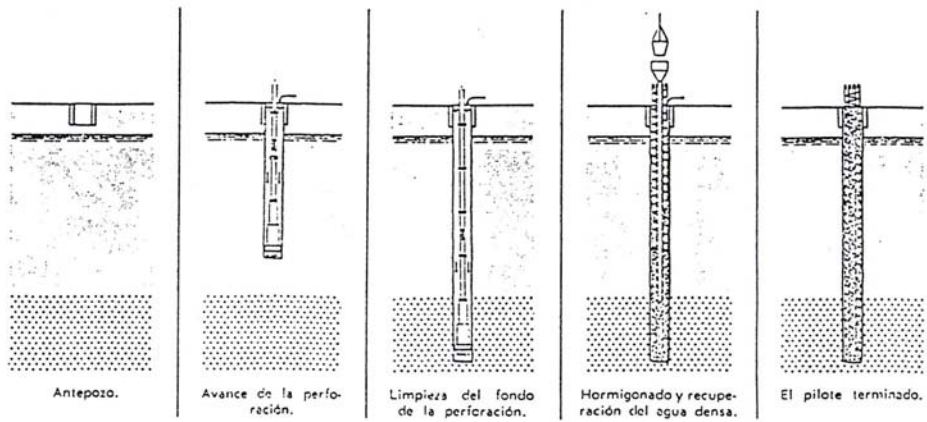
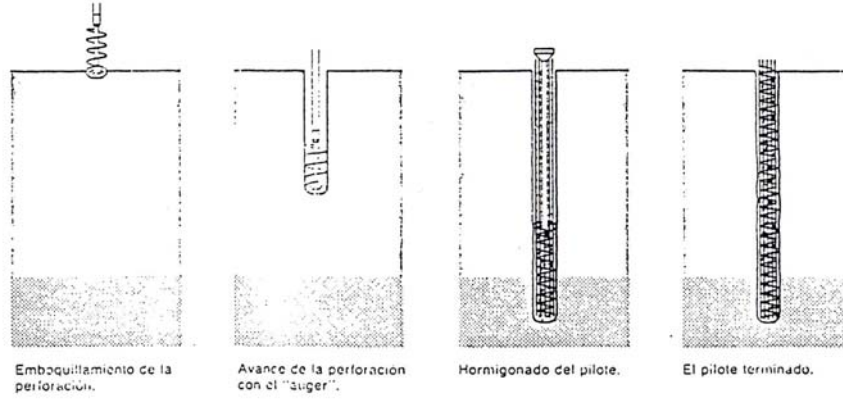


FIG. 4. PILOTES CPI-4 Y CPI-6

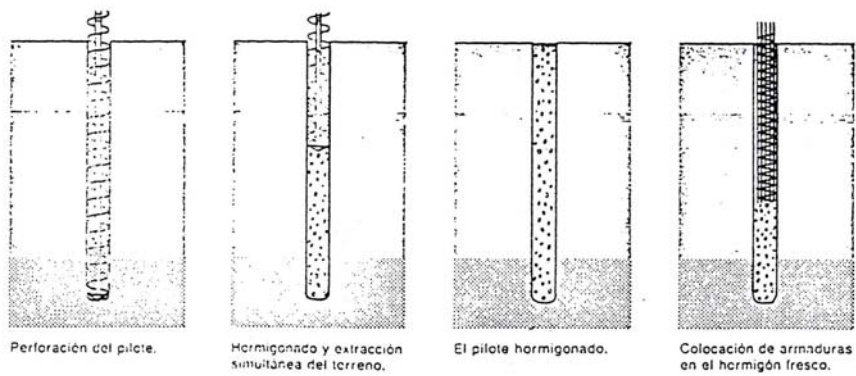
## CPI-7

Ejecución del pilote a rotación



## CPI-8

Ejecución del pilote a rotación con barrena continua



**FIG. 5. PILOTES CPI-7 Y CPI-8**

## 5. HORMIGONADO DE LOS PILOTES

Previamente al hormigonado hay que proceder a una limpieza de la perforación, principalmente del fondo, salvo en el caso de los pilotes de desplazamiento con tubería cerrada en el fondo, o los perforados con barrena continua en los que no queda abierto el taladro.

En los pilotes de extracción, perforados con ayuda de lodos tixotrópicos, puede ser necesario regenerar los mismos si contienen mucho material en suspensión, que pueda sedimentar durante el tiempo que transcurra hasta el momento del hormigonado.

A continuación se colocan las armaduras, salvo en el caso de los pilotes perforados con barrena continua que se colocan después del hormigonado.

El hormigonado hay que efectuarlo de manera que se evite el "corte" del hormigón, al quedar atrapado terreno dentro de su masa, o el sifonamiento de la masa de hormigón por percolación de agua a su través.

Si la perforación se ha efectuado con entubación, ésta se va elevando a medida que progresa el hormigonado, pero quedando siempre una columna de hormigón dentro de la tubería, con una altura equivalente a varios diámetros. Esta altura debe ser mayor en el caso de pilotes de extracción que de desplazamiento, debido a la mayor probabilidad de tener que absorber huecos o heterogeneidades por el exterior del tubo. El hormigón debe ser suficientemente fluido, para evitar el "corte" de la masa al elevar la tubería.

La colocación del hormigón puede hacerse con cuchara o bomba, de modo continuo o discontinuo, no habiendo contraindicación alguna respecto al uso de la técnica de hormigonado bajo agua.

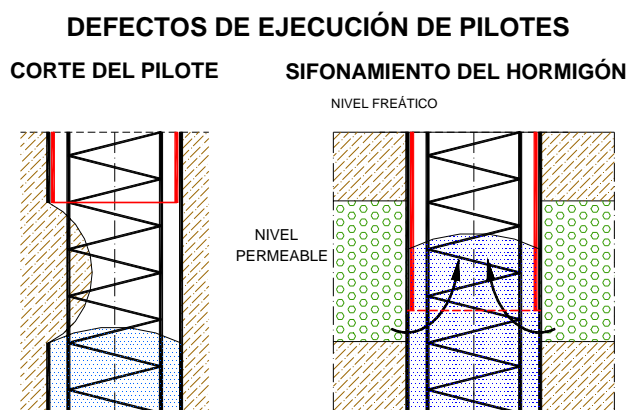
Cuando exista agua o posibilidad de sifonamiento de la masa de hormigón, debido a la presencia en el terreno de niveles permeables, hay que rellenar la perforación de agua y utilizar la técnica de hormigonado bajo agua, según se indica a continuación para el caso de pilotes perforados con ayuda de lodos tixotrópicos.

En esta técnica, conocida como Tremie o Contractor, el hormigón se introduce a través de una tubería hasta el fondo de la perforación, de manera que el peso de la columna sea capaz de desplazar los lodos hacia arriba. El hormigonado debe hacerse de manera continua hasta que rebose en cabeza hormigón no contaminado por el lodo. La tubería puede desplazarse hacia arriba, pero cuidando que quede una longitud, al menos de 4 m, dentro del hormigón ya vertido.

El hormigón que se utiliza normalmente tiene una dosificación de 350 a 4560 kgs/m<sup>3</sup>. El tamaño máximo del árido es de 25 mm, si es árido rodado. o 20 mm si procede de machaqueo.

El asiento en el cono de Abrams oscila, en los pilotes en general, entre 10 y 15 cm, salvo en el caso de pilotes de desplazamiento con tapón de hormigón (pilote apisonado), en el que se utiliza hormigón seco con cono de 1 a 5 cm, y en el caso de hormigonado bajo lodos que debe ser mayor, entre 16 y 20 cm.

En estas condiciones se puede obtener una resistencia característica igual o superior a 175 kg/cm<sup>2</sup>, pudiendo utilizar plastificantes si se quiere reducir el contenido de agua para alcanzar más resistencia, manteniendo los asientos en el cono recomendables.



**FIG. 6. DEFECTOS DE EJECUCIÓN**

## 6. CONDICIONES DE UNA CIMENTACIÓN POR PILOTAJE

Las condiciones que debe cumplir una cimentación por pilotaje son análogas a las de cualquier cimentación, con la particularidad de que los pilotes se utilizan normalmente en grupo, enlazados en cabeza por un elemento llamado “encepado” encargado de distribuir adecuadamente las cargas entre los distintos pilotes. Estas condiciones son:

- 1.- Resistencia estructural de los pilotes y del encepado
2. Coeficiente de seguridad adecuado respecto a la rotura del terreno
3. Asientos totales y diferenciales compatibles con la deformación que puede tolerar la estructura

La resistencia estructural de los pilotes aislados se define por su carga admisible o **TOPE ESTRUCTURAL**, determinado por la resistencia de los materiales a los que se aplica un adecuado coeficiente de seguridad. A continuación se recogen los Coeficientes globales de Minoración de la resistencia recomendados en la obra del Profesor Jiménez Salas **Geotecnia y Cimientos II**, en obras permanentes.

### COEFICIENTES GLOBALES DE MINORACION DE LA RESISTENCIA

TIPO DE PILOTE Y DE HORMIGONADO	HORMIGON	ACERO
<b>1. CON VAINA PERDIDA</b> HORMIGONADO EN SECO	0,25	0,40
<b>2. CON ENTUBACION RECUPERADA</b> HORMIGONADO CON TUBERIA HORMIGONADO CON CUCHARA PILOTE APISONADO	0,22 0,20 0,22	0,35 0,32 0,28
<b>3. SIN ENTUBACION</b> HORMIGONADO EN SECO HORMIGONADO BAJO AGUA (Continuo) (Con cuchara)	0,20 0,20 0,18	0,35 0,32 0,30

## **7. COMPORTAMIENTO DEL PILOTE AISLADO Y DE GRUPOS DE PILOTES**

Cuando se estudia una cimentación por pilotaje deben considerarse los siguientes aspectos:

### **A. PILOTE AISLADO**

- A.1. CARGA DE HUNDIMIENTO
  - . Resistencia de Fuste
  - . Resistencia de Punta
- A.2. ASIENTO DEL PILOTE AISLADO
- A.3. TOPE ESTRUCTURAL

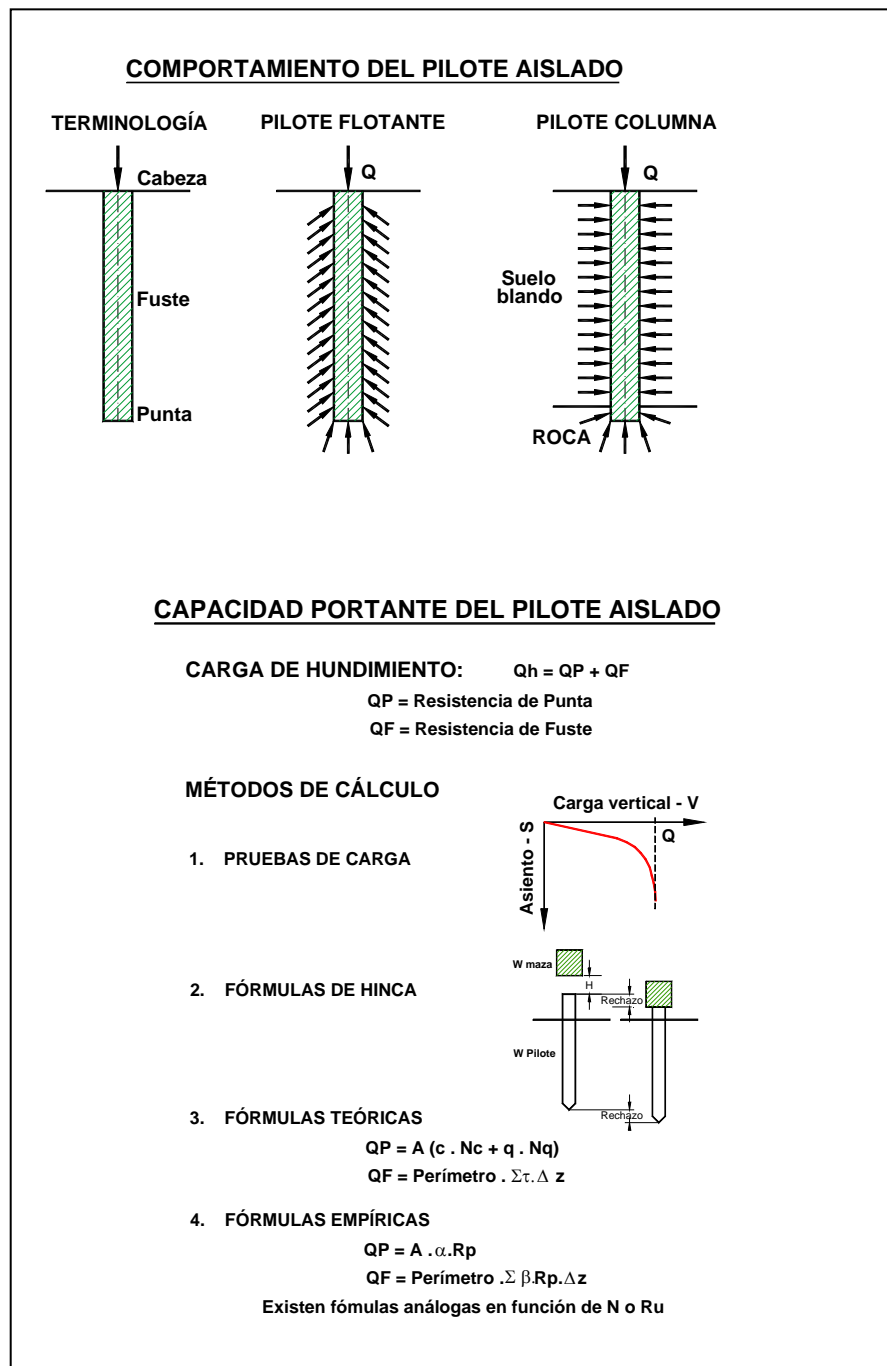
### **B. GRUPO DE PILOTES**

- B.1. CARGA DE HUNDIMIENTO DEL GRUPO
  - . Eficiencia
- B.2. ASIENTO DEL GRUPO DE PILOTES
  - . Razón de asientos
- B.3. TOPE ESTRUCTURAL RECOMENDABLE
- B.4. DISTRIBUCION DE ESFUERZOS
- B.5. DIMENSIONAMIENTO DEL ENCEPADO

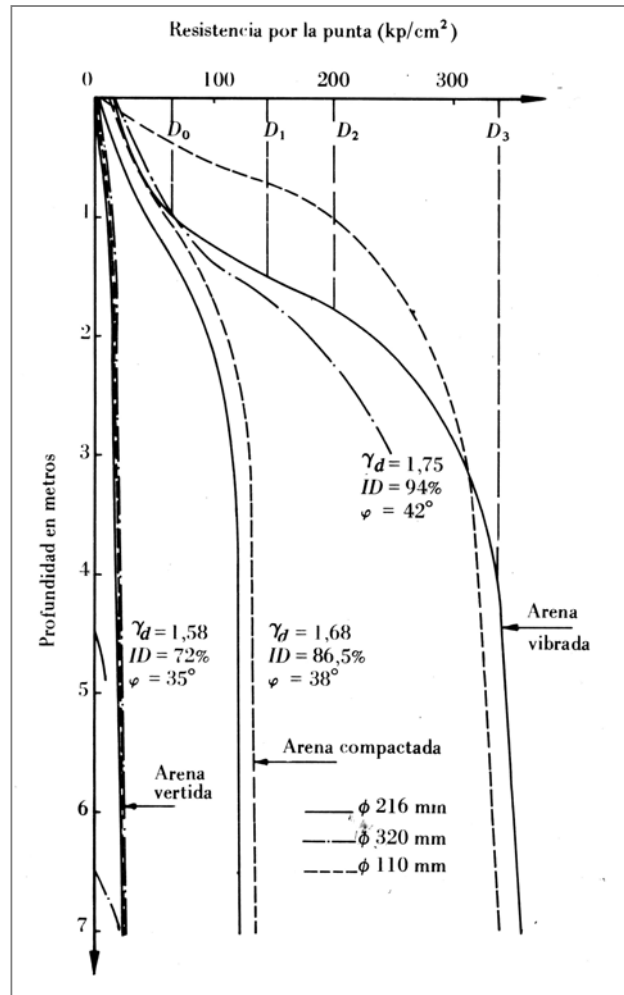
### **C. ACCIONES ESPECIALES**

- C.1. ROZAMIENTO NEGATIVO
- C.2. EMPUJES LATERALES
- C.3. ESFUERZOS TRANSVERSALES





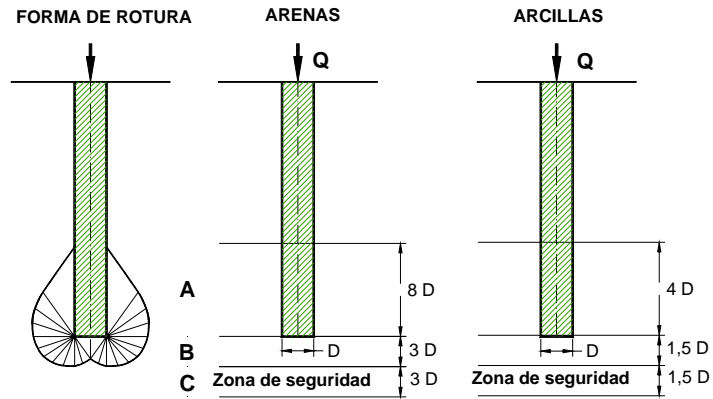
**FIG. 7. COMPORTAMIENTO DEL PILOTE AISLADO**



**FIG. 8. RESULTADOS DE KERISEL et. Alt. RESPECTO A LA RESISTENCIA DE PUNTA**

*EN TERRENO HOMOGÉNEO LA RESISTENCIA DE PUNTA ALCANZA UN LÍMITE CON LA PROFUNDIDAD*

### RESISTENCIA DE PUNTA EN LA NTE



### TERRENO GRANULAR

Datos del Terreno: Resistencia del cono estático:  $R_p$  ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 Resistencia a la penetración SPT:  $N$  (golpes/30 cm)  
 Resistencia por la punta:  $QP = A_p \cdot \alpha \cdot R_p$  ( $R_p$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) = 4 a 5 N)  
 $A_p$  = Área de la punta  
 $\alpha$  = Coeficiente de minoración función del diámetro  $D$   
 Puede variar de 1,0 a 0,5 para  $D \geq 1,0$  m

### TERRENO COHERENTE

Datos del Terreno: Resistencia a compresión simple:  $R_u$  ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 Resistencia del cono estático:  $R_p$  ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 Resistencia por la punta:  $QP = A_p \cdot 4,5 \cdot R_u \cong A_p \cdot 0,6 \cdot R_p$   
 $R_p \cong 7,5 R_u$

**FIG. 9. RESISTENCIA DE PUNTA EN LA NTE**

La **RESISTENCIA DE PUNTA** mediante **fórmulas teóricas**, ha sido dada por diversos autores. En su forma más general, para cimentaciones profundas, la expresión de **Brinch-Hansen** se escribe:

$$QP = Ap.(q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c)$$

o bien

$$QP = Ap.(q + c \cdot c \cdot \operatorname{tg} \varphi) N_q \cdot s_q \cdot d_q - c \cdot \operatorname{cot} g \varphi$$

En esta expresión:

$N_q$ :	Coeficiente de capacidad portante	$N_q = \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi}$
$q$ :	Presión efectiva existente en el nivel de la punta del pilote	
$\varphi$ :	Ángulo de rozamiento interno	
$c$ :	Cohesión	
$s_q$ :	Coeficiente de forma	$s_q = 1,2 + \tan^6 \varphi \quad (\varphi \geq 25^\circ)$
$d_q$ :	Coeficiente de profundidad	$d_q = 1 + \frac{0,35}{\frac{B}{D} + \frac{0,6}{1 + 7 \operatorname{tg}^4 \varphi}}$
$B$ :	Diámetro del pilote	
$D$ :	Profundidad dentro de la capa resistente	

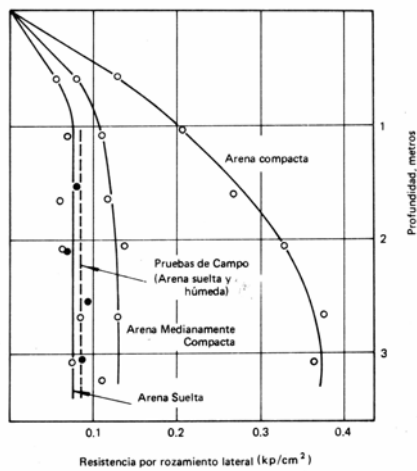
Existe una profundidad crítica  $D_c$  donde se alcanza un límite:

$$D_c = \frac{B}{4} \cdot 10^{1,8 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (\text{Caquot y Kerisel})$$

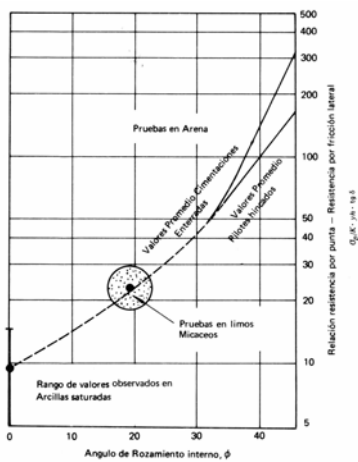
Valor límite de Caquot y Kerisel:  $N_q^* = N_q \cdot s_q \cdot d_q = 10^{3,04 \cdot \operatorname{tg} \varphi}$

En **arcillas saturadas** a corto plazo, la resistencia de punta tiene como límite el mismo valor de la NTE,,:  $QP = Ap \cdot 4,5 \cdot Ru$

**FIG. 10. RESISTENCIA DE PUNTA. FÓRMULAS TEÓRICAS**



**FIG. 11. RESISTENCIA DE FUSTE EN ARENAS. VESIC 1964**  
 EN TERRENO HOMOGÉNEO LA RESISTENCIA DE FUSTE ALCANZA UN LÍMITE CON LA PROFUNDIDAD



**FIG. 12. RELACIÓN RESISTENCIA DE PUNTA Y DE FUSTE. VESIC 1964**  
 EXISTE UNA RELACIÓN QUE DEPENDE DE  $\phi$

### RESISTENCIA DE FUSTE EN LA NTE

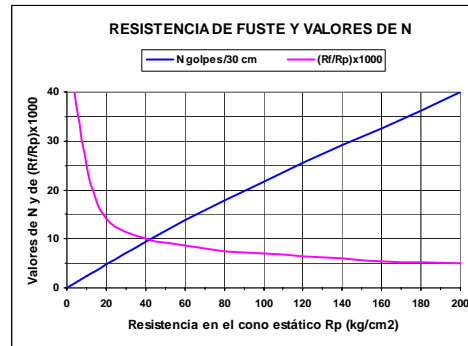
$$QF = \text{Perímetro} \cdot \Sigma(Rf \cdot \Delta L)$$

#### TERRENO GRANULAR

Datos del Terreno: Resistencia del cono estático:  $R_p$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

Resistencia a la penetración SPT:  $N$  (golpes/30 cm)

Resistencia unitaria por el fuste:  $R_f = (1/65 \text{ a } 1/200) R_p$  ( $\square 1,0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ )



#### TERRENO COHERENTE

Datos del Terreno: Resistencia a compresión simple:  $R_u$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

Resistencia del cono estático:  $R_p$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

Resistencia unitaria por el fuste:  $R_f = (1/2 \text{ a } 1/10) R_u$  ( $\square 1,0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ )

$R_f = (1/15 \text{ a } 1/75) R_p$  ( $\square 1,0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ )

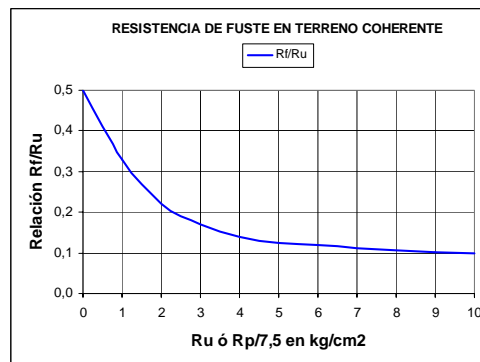


FIG. 13. RESISTENCIA DE FUSTE EN LA NTE

## **RESISTENCIA DE FUSTE CON FÓRMULAS TEÓRICAS**

$$QF = = \text{Perímetro} \cdot \Sigma(Rf \cdot \Delta L)$$

### **TERRENO GRANULAR**

En Este caso la resistencia unitaria por el fuste viene dada por:

$$Rf = K \cdot \text{tg}\delta \cdot \sigma'_z = \beta \cdot \sigma'_z$$

$\sigma'_z$  = es la presión vertical efectiva en un punto determinado.

Existen diversas recomendaciones para el coeficiente de empuje horizontal **K** e incluso para el valor de  $\beta = K \cdot \text{tg}\delta$  pudiendo citar:

$$\beta = (1 - \text{sen}\varphi) \text{tg}\varphi \quad (\text{Burland})$$

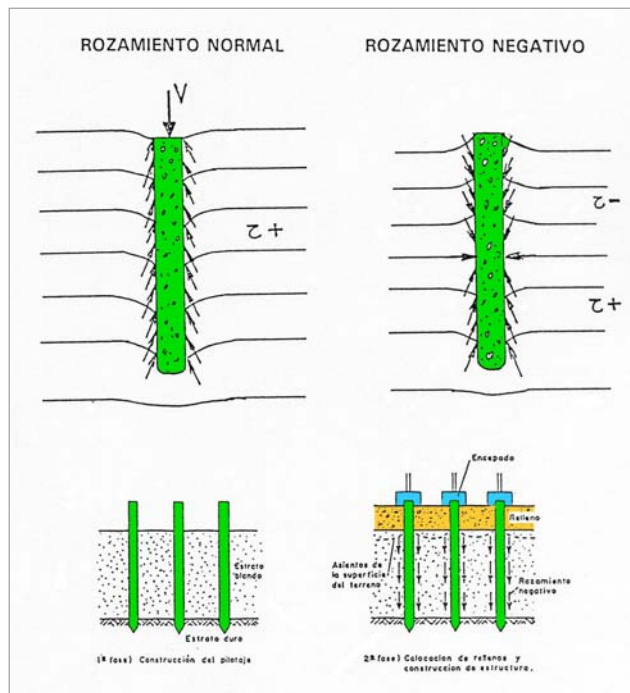
$$\beta = \text{sen}\varphi \cdot \text{cos}\varphi / (1 + \text{sen}^2\varphi) (\text{Vésic})$$

De estas expresiones es más conservadora la primera, dando unos valores máximos del orden de  $\beta = 0,30$  en el primer caso y de  $\beta = 0,35$  en el segundo, para valores del ángulo de rozamiento  $\varphi$  del orden de  $35^\circ$ .

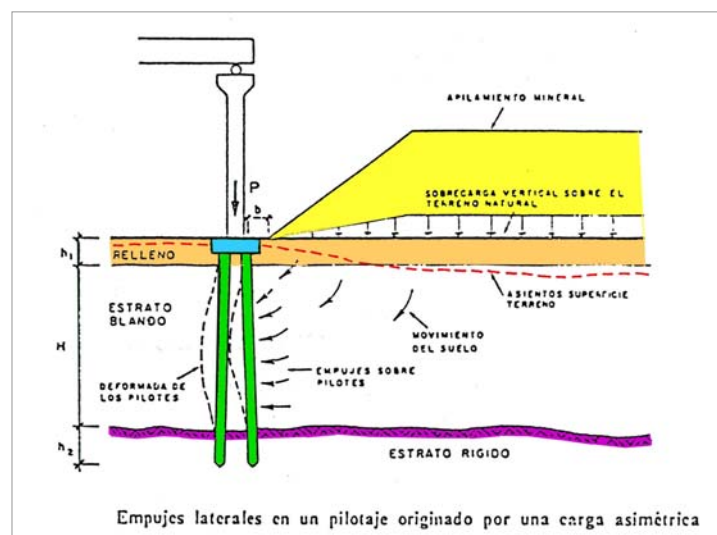
### **TERRENO COHERENTE**

En arcillas saturadas a corto plazo pueden utilizarse valores de la adherencia similares a los indicados en la NTE.

**FIG. 14. RESISTENCIA DE FUSTE. FÓRMULAS TEÓRICAS**



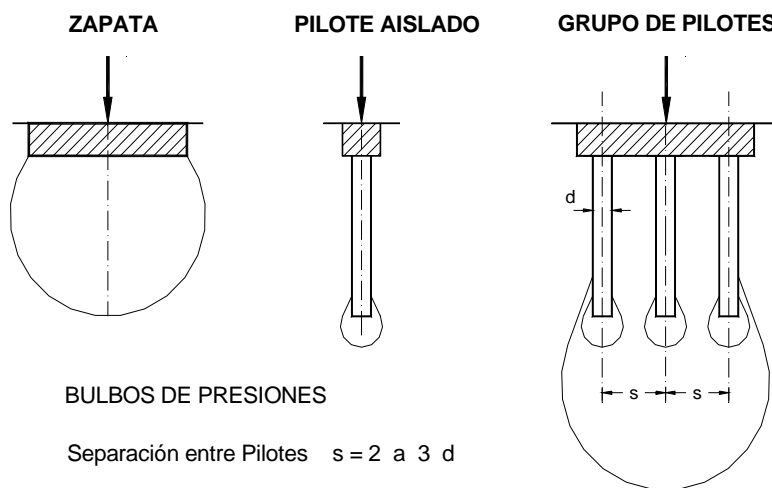
**FIG. 15. ROZAMIENTO NEGATIVO**



**FIG. 16. EMPUJES LATERALES**



### COMPORTAMIENTO DEL GRUPO DE PILOTES



### CARGA DE HUNDIMIENTO DEL GRUPO

$Qh^P$  = Carga de hundimiento del pilote aislado       $n$  = N° de pilotes

$Qh^G$  = Carga de hundimiento del grupo de pilotes.  $Qh^G = n Qh^P \eta$

$\eta$  = Eficiencia del grupo.      En arenas  $\eta \geq 1$  para  $s \geq 2d$  (tomar  $\eta = 1$ )

En arcillas  $\eta \leq 1$

	$s=2,0d$	$s=2,5d$	$s=3,0d$	$s=3,5d$
2 Pilotes	0,85	0,88	0,90	0,91
4 Pilotes	0,70	0,76	0,80	0,82

### ASIENTO DEL GRUPO

Razón de asientos =  $S^G / S^P > 1$       (Valores de 3 a 10)

**FIG. 17. COMPORTAMIENTO DEL GRUPO DE PILOTES**

## ASIENTO DE PILOTES

### 1. PILOTE AISLADO

#### . PILOTE FLOTANTE EN ARENA

$$s_1 = \frac{d}{30} \cdot \frac{Q_t}{Q_h} \quad (\text{Meyerhof})$$

$$\frac{Q_h}{Q_t} = \text{Coeficiente de Seguridad} \geq 3$$

#### . PILOTE FLOTANTE EN ARCILLA

$$s_1 = \frac{0,6 \cdot Q_t}{R_p \cdot L}$$

*Método de Vésic. Cálculos de Poulos. L= Longitud del pilote*

### 2. GRUPO DE PILOTES

#### . ARENAS

$$s_g = s_1 \cdot \frac{r (5 - r / 3)}{(1 + 1 / n_f)^2} \quad (\text{Meyerhof})$$

$$r = s / d = (\text{separación} / \text{ancho pilote}) \quad n_f = n_f \text{ de filas}$$

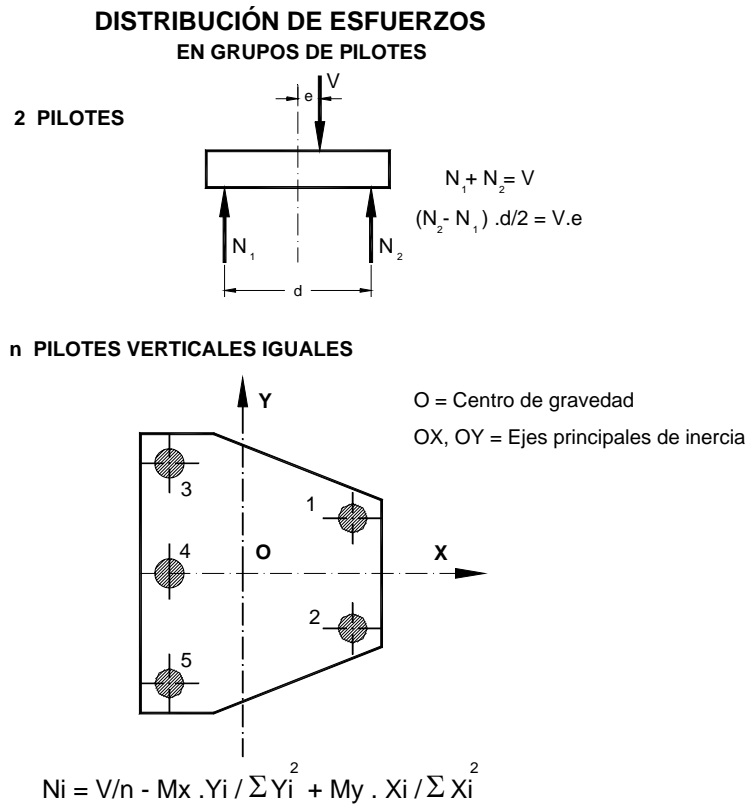
$$s_g = s_1 \cdot \frac{(4B + 3)^2}{(B + 4)^2} \quad (\text{Skempton})$$

*B (en metros) = Ancho del Grupo*

#### . ARCILLAS

$s_g$  . *Cálculo por métodos edométricos y esquemas de transmisión de carga al terreno*

. *Cálculos teóricos de Poulos con coeficiente de influencia  $I_f \leq 4 / (4 + r)$*



**FIG. 18. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN GRUPOS DE PILOTES**

### CÁLCULO DE LOS ENCEPADOS

El cálculo de los encepados se realiza por el método de las bielas, que se dirigen desde la estructura que soporta el pilotaje hacia los distintos pilotes. El canto del encepado debe ser tal que la biela más tendida forme un ángulo con la horizontal igual o superior a 45°.

## **BIBLIOGRAFÍA**

NTE: Norma Tecnológica: Cimentaciones CPP. Pilotes prefabricados

NTE: Norma Tecnológica: Cimentaciones CPI. Pilotes in situ

NTE: Norma Tecnológica: Cimentaciones CPE. Encepados

BRINCH-HANSEN: Cálculo de la resistencia de cimentaciones superficiales y pilotes.

JIMÉNEZ SALAS, J. A , et Alt.: Geotecnia y Cimientos II.

RODRÍGUEZ ORTIZ, J. M<sup>a</sup>, et. Alt.: Curso aplicado de Cimentaciones

MUZÁS LABAD, F.: Reflexiones sobre la capacidad portante de los pilotes.