



FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

GEOTECNIA APLICADA 94.09

FUNDACIONES PROFUNDAS



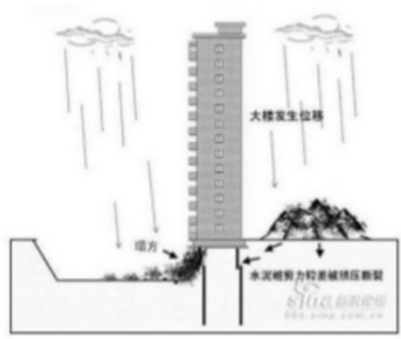
FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

FUNDACIONES PROFUNDAS

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes

Lámina 2

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

¿Pero es posible?

Shangai (China), junio 2009

“El peso de una gran cantidad de tierra (aprox. 10 m de altura), procedentes de la excavación lindera para construir un garaje subterráneo, combinado con las fuertes lluvias, provocó que los cimientos del edificio se desplazaran y la estructura acabara volcando”.

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes

Lámina 3

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

¿En qué casos se utiliza una fundación profunda?

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes

Lámina 4

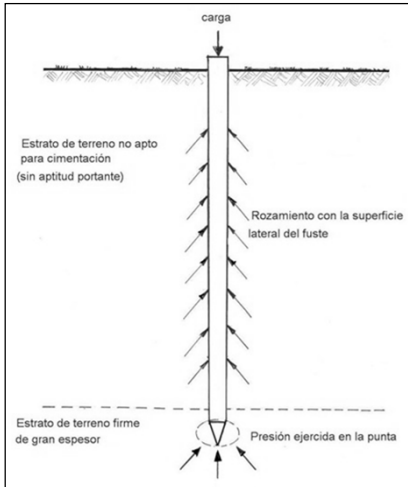
 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	- Cuando los esfuerzos transmitidos no pueden ser distribuidos a través de una cimentación superficial porque se sobrepasa la capacidad portante del suelo. - Cuando existen en el sitio suelos expansivos y colapsables que se hinchan y se contraen conforme varía su contenido de humedad. - Cuando el nivel freático está alto. - Cuando se quiere disminuir los asentamientos. - Cuando hay cargas laterales ó esfuerzos de tracción. - Cuando hay interferencia con estructuras vecinas. - Cuando cualquier condición del terreno impidan la realización de fundaciones superficiales.
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 5

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE CIMIENTOS PROFUNDOS * Características del subsuelo * Métodos de exploración y muestreo del subsuelo. * Asignación de los parámetros de resistencia de los suelos. * Métodos teóricos y / ó empíricos de predicción de capacidad de carga y asentamientos. * Las condiciones de las cargas impuestas por la estructura. (Carga vertical, lateral) * El proceso de colocación del cimiento. * La resistencia estructural del cimiento a las cargas previstas y a la corrosión
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 6

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

La cimentación profunda más usada es la cimentación por **pilotes**.

La capacidad de carga de un pilote es la suma de la resistencia por fricción con el terreno y por el apoyo en la punta.



FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes

Lámina 7

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

Si transfiere las cargas a través de estratos débiles o compresibles, a través del agua o aire, hasta estratos inferiores con la suficiente capacidad de carga (rocas, arcillas duras o suelos de baja compresibilidad) → **pilote de punta**

Si transfiere ó reparte la carga sobre un suelo relativamente suelto a través de la fricción de superficie entre el pilote y el suelo → **pilote de fricción**.

En general existe una combinación de ambas.

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes

Lámina 8



Los pilotes están sometidos predominantemente a cargas verticales, pero en algunos casos deben tenerse en cuenta otros tipos de solicitaciones:

- Cargas horizontales
- Fricción negativa (asentamiento del terreno por colocación de sobrecargas o rellenos, descenso del nivel freático ó suelos blandos aún en proceso de consolidación)
- Flexión por deformación lateral
- Esfuerzos de corte, cuando los pilotes atraviesan superficies de deslizamiento de taludes.



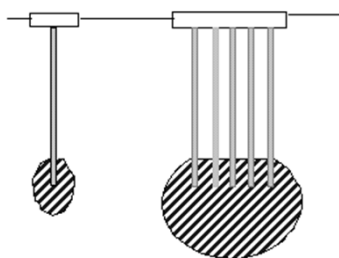
Pilotes verticales ó inclinados.



Los pilotes inclinados combinados con pilotes verticales son la disposición más efectiva para resistir fuerzas horizontales.



Pueden estar aislados ó en grupos.



FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	TIPOS DE PILOTES SEGÚN EL MATERIAL ✓ madera ✓ acero ✓ hormigón simple ✓ hormigón armado ✓ hormigón pretensado ✓ mixtos (combinación de perfiles con hormigón) ✓ arena (drenaje para consolidación)
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 11

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	PILOTES DE MADERA  
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 12



PILOTES DE MADERA

Ventajas

- Económicos
- Fáciles de manipular
- Si permanecen sumergidos permanentemente son resistentes al deterioro.

Desventajas

- Si se encuentran arriba de NF (Nivel Freático) o en zonas donde hay cambios de marea, se pueden deteriorar.
- Se pueden dañar durante un proceso de hincado fuerte.
- Tienen baja capacidad de carga.
- Tienen baja resistencia a tracción al estar empalmados.
- Pueden ser atacados por organismos.



PILOTES DE ACERO

Pueden ser de tubos de acero con sus terminales cerradas ó abiertas (usualmente se llenan de concreto después de hincados), ó perfiles de acero en “H”





PILOTES DE ACERO

Ventajas

- Se pueden manipular fácilmente con respecto al corte y la extensión a la longitud deseada.
- Resiste altos esfuerzos de hincado.
- Penetra a estratos duros como gravas densas y rocas blandas
- Alta capacidad de carga.

Desventajas

- Material relativamente caro.
- Alto nivel de ruido durante el hincado.
- Susceptibles a la corrosión.
- Los pilotes de perfil H se dañan ó se desvían respecto a la vertical durante el hincado a través de estratos duros u obstrucciones.

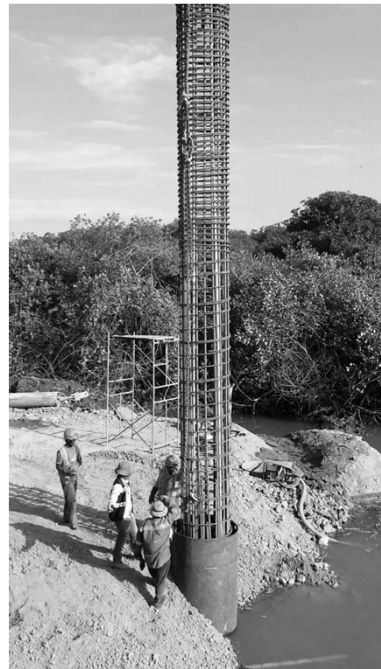


PILOTES DE HORMIGÓN

Estos pilotes son los más utilizados en la actualidad.

Pilotes prefabricados

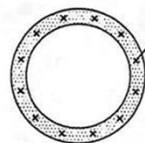
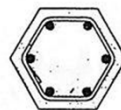
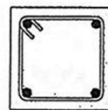


PILOTES DE HORMIGÓN**Pilotes ejecutados “in situ”****PILOTES PREFABRICADOS**

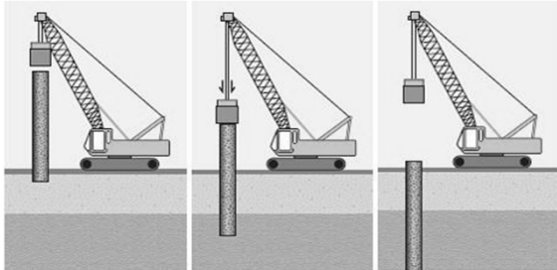
Se producen en el lugar ó en fábricas de prefabricados.

Se colocan mediante hincado.

Pueden ser de sección cuadrada maciza, hexagonal, circular maciza ó hueca, de hormigón armado ó pretensado.



Tendones de
postesado

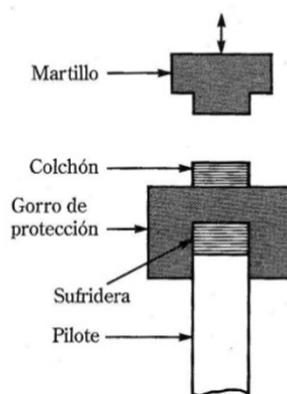
FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	
	Hinca dinámica ó por impacto: Se introduce el pilote en el terreno mediante una sucesión de golpes en la cabeza con equipos denominados martinetes ó martillos. Hinca por vibración: Se utilizan equipos denominados vibrohincadores. Su uso está prácticamente limitado a la hinca de perfiles metálicos, tanto de pilotes como de tablestacas.
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 19	

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Hinca de pilotes (Los pilotes se hincan hasta "rechazo") a) Por impacto: • Martillo de caída libre • Martillo de aire ó vapor, simple ó doble • Martillo diesel, efecto simple • Martillo diesel, efecto doble b) Por Vibración • Vibradores
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 20



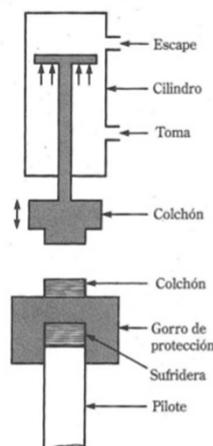
Martillo de caída libre

- El martillo se levanta con un malacate y se deja caer desde una altura H .
- Su desventaja es la baja velocidad de golpeo.



Martillo de aire o vapor de acción simple

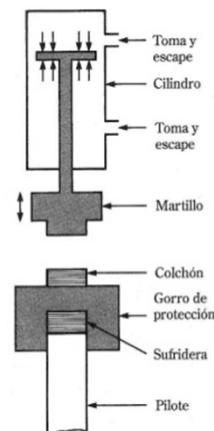
- La parte percusiva o martillo, se eleva por la presión del aire o vapor y luego se deja caer por gravedad.





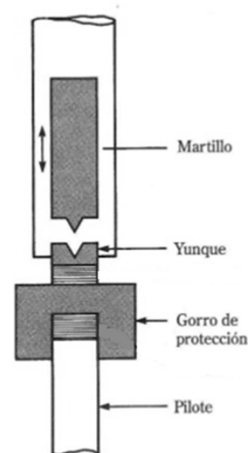
Martillo de aire o vapor de acción doble y diferencial

- Se utiliza aire o vapor para elevar el martillo y también para empujarlo hacia abajo, incrementando la velocidad de impacto.



Martillo diesel

- Consiste de un martillo-pistón, yunque y sistema de inyección de diesel.
- Primero se eleva el martillo y se inyecta diesel cerca del yunque.
- Se deja caer el martillo, comprimiendo la mezcla aire-diesel y provocando su ignición.
- Los gases resultantes empujan el pilote hacia abajo y levantan al martillo, iniciando un nuevo ciclo.

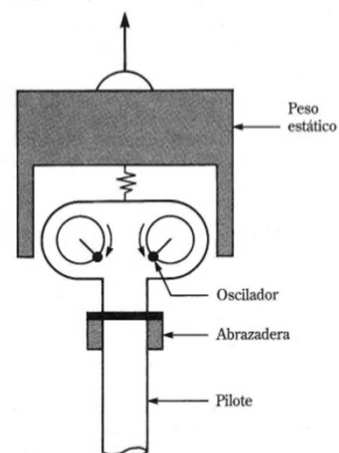


Martillo Diesel



Hincador vibratorio de pilotes ó martillo vibratorio

- En esencia, son dos contrapesos excéntricos de rotación contraria.
- Las componentes horizontales de la fuerzas centrífuga de las masas giratorias se contrarrestan.
- Por lo que se produce una fuerza vertical dinámica sinusoidal sobre el pilote.





Hincador vibratorio



Fórmulas de Hinca

Tratan de relacionar la **capacidad portante** de un pilote con su **resistencia al hincado**.

Son fórmulas empíricas y tienen la imprecisión derivada de la dificultad de conocer la energía realmente aplicada en el impacto y su variación con el tiempo.

Se basan en considerar la energía producida por el martillo en su caída sobre el pilote (menos la energía perdida), que es igual al trabajo necesario para hundir al pilote en el suelo.

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

Fórmulas de Hinca

- En un choque rígido ideal:

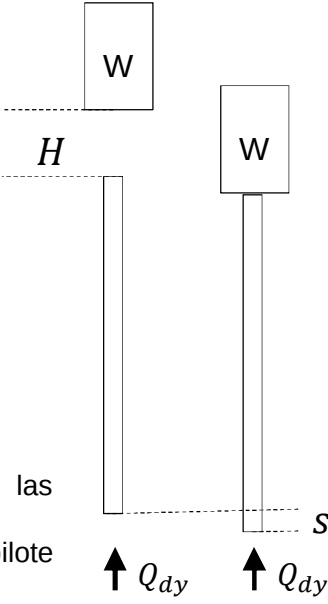
$$Q_{dy} \cdot s = W \cdot H$$
- En un choque elástico:

$$Q_{dy} \cdot (s + d_e) = W \cdot H$$
- Con la pérdida de energía:

$$Q_{dy} \cdot (s + d_e) = \eta \cdot W \cdot H$$

Pérdidas:

- Por choque no elástico
- Por la deformación elástica del pilote
- Por la disipación de energía en las vibraciones
- Por deformaciones permanentes del pilote y del suelo.



FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes

Lámina 29

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

Fórmulas de Hinca

1) Sanders (1850)

$$Q_{dy} = \frac{W \cdot H}{s}$$

W: peso del martillo
 s: penetración media del pilote
 H: altura de caída
 Q_{dy}: Resistencia dinámica del pilote

2) Holandesa

$$Q_{dy} = \frac{W^2 \cdot H}{s (W + P)}$$

Para martillos de simple efecto
 P: Peso del pilote

$$Q_{dy} = \frac{E}{s} \frac{W}{(W + P)}$$

Para martillos Diesel ó de doble efecto
 E: energía del martillo

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes

Lámina 30

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Fórmulas de Hinca 3) Otras fórmulas de hinca: • Danesa • Engineering News – Record (modificada) (ENR) (tiene en cuenta las pérdidas como una penetración adicional) • Brix • Hiley • Janbu 
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 31

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	* En la Argentina y otros países de habla hispana y portuguesa se utiliza mucho la llamada fórmula holandesa de expresión: $Q_{ss} = \frac{W_s \cdot H}{S (W_s + P)}$ en la cual P es el peso del pilote. Esta fórmula se deriva suponiendo que el término Δ de la ecuación 34.3 está constituido únicamente por las pérdidas calculadas con la teoría de Newton para el choque anelástico. Véase, por ejemplo, Código de Edificación de la Ciudad de Buenos Aires, pág. 382. Para martillos Diesel o de doble efecto la fórmula se escribe: $Q_{ss} = \frac{E}{s} \frac{W_s}{W_s + L}$ en la cual E = energía del martillo. La fórmula se aplica usualmente con un coeficiente de seguridad de tres ($N. del T.$). ** Las fórmulas de hinca analizadas son válidas para martillos en los cuales la energía proporcionada al pilote está dada por un peso W_s que cae más o menos libremente desde una altura H, como ocurre en los martillos de caída libre o en los de vapor a simple efecto, si se desprecia en este último caso el freno que produce el escape de vapor. Por ello, cuando se utilizan martillos de doble efecto o martillos Diesel, que proveen una energía mayor por la acción acelerante de la velocidad de la masa que golpea producida por la presión de vapor en la cabeza superior de la misma, en el primer caso, o por la presión originada por la explosión del combustible en el segundo, para usar las fórmulas hay que sustituir $W_s \cdot H$ por la energía entregada por el martillo a la cabeza del pilote, como lo señala la fórmula de la anterior nota del traductor. ($N. del T.$) Nota del Traductor (Ing. Oreste Moretto) en "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica"- Karl Terzaghi y Ralph B. Peck.
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 32

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Recomendaciones para el uso de fórmulas de hincas • Todas las fórmulas tienen limitaciones. • La confiabilidad de cualquier fórmula de hincas sólo puede ser juzgada en base a comparaciones con resultados de ensayos de carga. • No son recomendables las fórmulas complicadas. • Con resistencia de punta importante, las fórmulas de hincas suelen ser aplicables. • Las fórmulas de hincas suelen ser válidas en suelos granulares, • En arcillas y suelos poco permeables, las fórmulas de hincas no son útiles para determinar la capacidad de carga.
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 33

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Fórmulas de Hincas - Rechazo En los pilotes hincados, se controla que se alcanza el rechazo especificado. (A través de la medida del mismo se estima que se ha alcanzado la capacidad de carga que debe soportar el pilote). <i>Medida de rechazo:</i> Sobre todos y cada uno de los pilotes se mide el rechazo, que es la penetración del pilote en una andanada de 10 golpes dados con la maza del equipo de hincas.
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 34



Cuándo utilizar pilotes hincados?

- Cuando hay muchos pilotes con cargas similares.
- En suelo blando seguido por suelo competente a cota uniforme.

Cuándo no utilizar pilotes hincados?

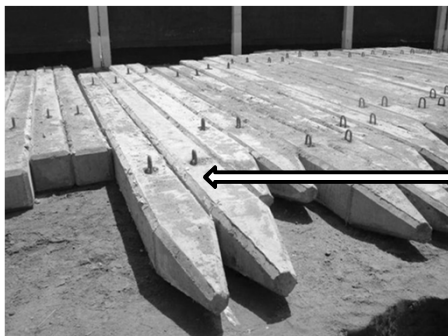
- Cuando el perfil geotécnico es errático con lentes densas intermedias.
- En ambiente urbano
- Para grandes cargas (verticales / horizontales)



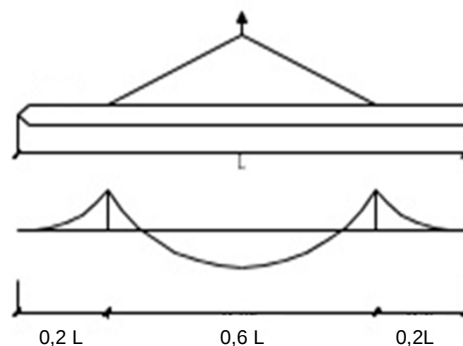
PILOTES PREFABRICADOS

Estado de solicitaciones:

- 1) Almacenamiento y estiba
- 2) Transporte en obra
- 3) Elevación y manipulación para la hincada
- 4) Cargas de la estructura



Para el izaje se dejan ganchos para levantar el pilote a través de lingas.



Los ganchos están ubicados de modo que los momentos positivos y negativos resulten aproximadamente del mismo orden.

Las solicitaciones más importantes en el dimensionado de la armadura del pilote se producen para los estados 2 y 3.



PILOTES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Ventajas

- Relativamente fácil de instalar.
- Presentan un menor plazo de ejecución.
- Capacidad por punta especificada por penetración del pilote en cada golpe
- Compactación de material granular suelto durante la penetración
- El hormigón del pilote estará en mejores condiciones, pues no presentará segregación y tendrá mayor resistencia a un ambiente agresivo
- Resistente a la corrosión.
- La obra resulta ser más limpia y se realiza en un ambiente más despejado

Desventajas

- Transporte
- Ruido, vibraciones en estructuras vecinas
- Aumento de presión neutra en arcillas
- Asentamientos inducidos
- Disminución de resistencia en suelos sensitivos.

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	<u>VIDEO</u> PILOTES HINCADOS
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 39

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	PILOTES EJECUTADOS “IN SITU” Pueden ser: - Pilotes por desplazamiento: - Pilotes de H°A° con tapón de gravas (Franki) - Pilotes con camisa recuperable - Pilotes con camisa perdida. - Pilotes perforados: - Pilotes con hélice en seco - Pilotes perforados sin entubación, con lodos bentoníticos. - Pilotes perforados con hélice continua (CFA) - Pilotes por rotación de balde
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 40

HORMIGONADO CON TUBO TREMIE

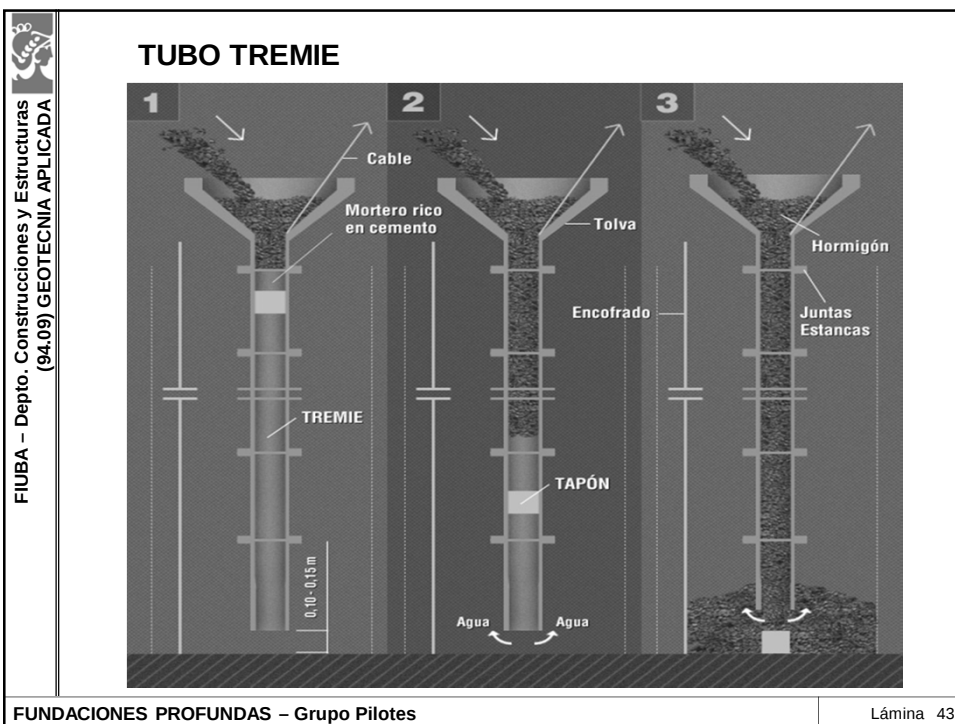
El método *Tremie*, de llenado por flujo inverso, se usa en el hormigonado de elementos estructurales como los pilotes, especialmente en presencia del nivel freático ó en excavaciones donde se empleen lodos bentoníticos.

El hormigón es bombeado de forma continua, a través de la tubería, deslizándose hacia el fondo y desplazando el agua e impurezas hacia la superficie. Debe fluir fácilmente hacia el lugar de su ubicación y consolidarse por su propio peso sin segregación ó vibración.

El hormigón, al ser más denso que los lodos bentoníticos, queda en el fondo desplazando a estos hacia la superficie.

HORMIGONADO – COLOCACIÓN TUBO TREMIE





FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

HORMIGONADO CON TUBO TREMIE

El tubo Tremie debe llegar hasta el fondo de la perforación antes de iniciarse el vertido del hormigón.

El diámetro del tubo oscila entre 20 a 30 cm. (Diámetros más pequeños pueden causar bloqueo del tubo).

Al principio, se debe elevar algunos centímetros para iniciar el flujo del hormigón y asegurar un buen contacto entre el hormigón y el fondo de la perforación.

Se debe evitar la pérdida de contacto del tubo tremie con el hormigón, ya que puede ocasionar problemas de segregación y lavado.

Antes de retirar el tubo completamente, se debe verter suficiente cantidad de hormigón como para desplazar toda el agua y el hormigón diluido.

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes

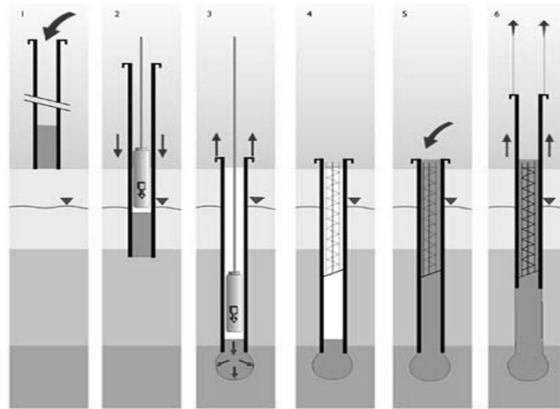
Lámina 44

 FIUBA - Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	HORMIGONADO CON TUBO TREMIE La velocidad de vaciado de este sistema, depende del volumen de hormigón a colocar. (30 m³/h a 50 m³/h). Debe ser lo más continua posible, para evitar endurecimientos que pueden dificultar la elevación de la tubería.. La colocación del hormigón debe ser tan continua como sea posible. El hormigón a colocar debe fluir fácilmente y debe ser suficientemente cohesivo para no segregar. Altas relaciones a/c ó nivel de descarga del tubo demasiado alto, pueden ocasionar segregación del hormigón. (Consejo: las interrupciones no conviene que sean mayores a 30 min.) Debe ser capaz de compactarse por su propio peso. Se usa comúnmente un asentamiento comprendido entre 15 y 22 cm.
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 45

 FIUBA - Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	PILOTES POR DESPLAZAMIENTO
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 46

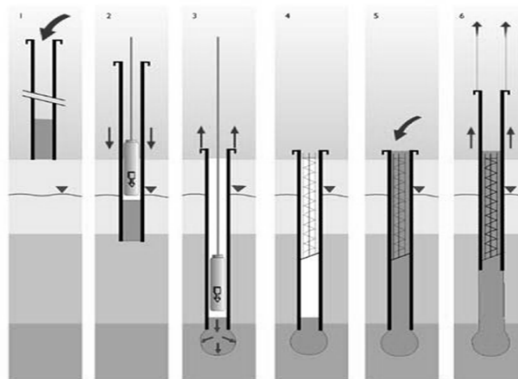
Pilotes de H°A° con tapón de gravas (Franki)

La ejecución del pilote tipo Franki comienza con el hincando de la entubación por golpes con un pilón sobre el tapón de gravas que se coloca previamente en la punta.



Pilotes de H°A° con tapón de gravas (Franki)

Una vez alcanzada la profundidad deseada, se realiza la base ensanchada, que es la parte fundamental de este pilote ya que aumenta considerablemente la capacidad de carga, no sólo por el aumento de sección de la base sino por la mejora de las propiedades mecánicas del suelo que ha sido fuertemente compactado en torno a la base ensanchada.

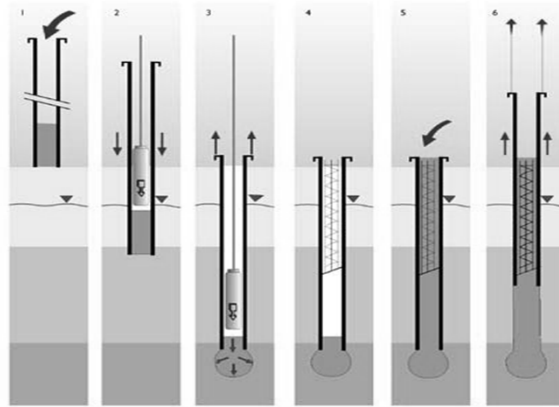




Pilotes de H°A° con tapón de gravas (Franki)

Se coloca la armadura y se vierte el hormigón.

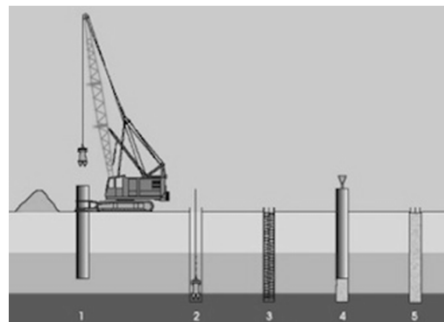
El llenado del pilote se ejecuta compactando el hormigón con el pilón (da como resultado un hormigón compacto y homogéneo de elevada resistencia a la compresión). Simultáneamente se va retirando el tubo.



Pilotes con camisa recuperable

Se utilizan cuando no existe estabilidad en las paredes durante la perforación.

Se ejecuta por extracción de tierra mediante la excavación del terreno que se protege al poner la camisa (tubo metálico a modo de encofrado), que evita que se derrumbe la excavación. A medida que se va hormigonando el pilote, se va retirando gradualmente la camisa, que puede ser reutilizada.



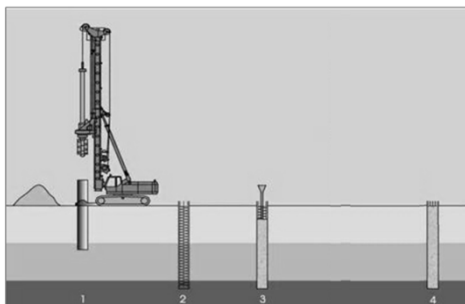


Pilotes con camisa perdida

Se ejecuta por el mismo sistema del tipo in situ de extracción con camisa recuperable, con la diferencia de que la camisa metálica no se extrae, sino que queda unida definitivamente al pilote.

Se utiliza cuando se atraviesan capas de terreno incoherente fino en presencia de agua y en algunos casos con capas de terreno coherente blando.

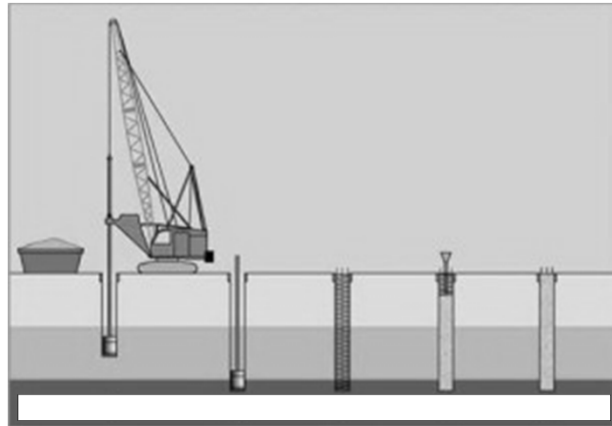
La camisa se utiliza también para proteger pilotes expuestos a la acción de un terreno agresivo al hormigón fresco.



PILOTES PERFORADOS

Pilotes con hélice en seco

- 1.- Perforación mediante barrena.
- 2.- Colocación de la armadura.
- 3.- Hormigonado mediante tubo Tremie
- 4.- Pilote terminado.

**Pilotes con hélice en seco**

No se hace necesario el uso de ningún sistema de sostenimiento, debido a las características del terreno,.

La excavación en terrenos blandos y medios se realiza mediante el uso de barrenas de hélice cortas.

Una vez alcanzada la profundidad deseada se realiza la limpieza del fondo de la excavación mediante el uso de un balde (“bucket”).



Pilotes con hélice en seco

Posteriormente al limpiado del fondo se procede a introducir la armadura de acero.

Para garantizar el recubrimiento mínimo necesario de la misma, se levanta 20 cm sobre el fondo de la excavación y se colocan separadores para su correcto centrado.

Después de colocar la armadura se comienza con el hormigonado por medio del tubo Tremie.



Pilotes perforados sin entubación, con lodos bentoníticos

La bentonita es una arcilla de muy alto límite líquido y con la capacidad de absorber gran cantidad de agua.

La tixotropía es la capacidad del lodo bentonítico de cambiar de estado consistente a uno líquido al estar en movimiento y volver a ser consistente al estar en reposo.



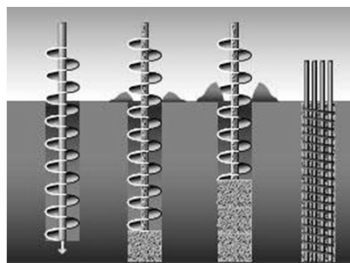
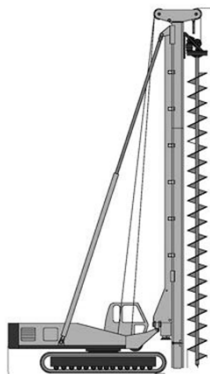
bentonita + agua = lodo bentonítico

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Pilotes perforados sin entubación con lodos bentoníticos Cuando el suelo es muy blando y es imposible mantener las paredes del pozo sin entubación, la excavación no se realiza en seco. Se estabiliza la perforación por la presión de los lodos bentoníticos, que penetran en las fisuras del terreno para crear una pequeña “costra” (recubrimiento delgado e impermeable), que impide la caída de las paredes perforadas. Una vez alcanzada la profundidad requerida, se coloca la armadura y se introduce la tubería de colocación del hormigón y se coloca este. Los lodos se recuperan en un tanque en el cual se filtran y se vuelven a utilizar en la siguiente perforación. <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 70%;">FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">Lámina 57</td> </tr> </table>	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 57
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 57		

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	ELEMENTOS AUXILIARES PARA EL EMPLEO DE LODOS MEZCLADORES Se usan para mezclar la bentonita con agua (se obtiene una suspensión coloidal que es un sistema formado por dos fases, una fluida y otra en forma de partículas sólidas). DESARENADORES Se usan para separar la arena de los lodos de perforación. Durante el proceso de excavación se van aportando lodos a medida que se avanza en profundidad, y el lodo aportado se va mezclando con el terreno excavado y se va contaminando de arena y limos, de forma que al terminar la perforación, es necesario reciclar el lodo con el desarenador para separar la arena y limpiar el lodo que será usado en las siguientes perforaciones. BOMBAS DE LODO <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 70%;">FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">Lámina 58</td> </tr> </table>	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 58
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 58		

Pilotes perforados con hélice continua (CFA)

Se utilizan cuando el terreno no se mantiene estable durante la perforación. Puede realizarse con equipos de rotación de elevado rendimiento en los distintos diámetros necesarios.



Pilotes perforados con hélice continua.

La excavación se realiza con barrena helicoidal continua, sin entubación y sin la utilización de lodos bentoníticos.

Puede ejecutarse bajo nivel freático.

(Rango de diámetros de pilotes de 40 a 90 cm, mientras que el rango de profundidad es de los 8 a 30 m.)





Pilotes perforados con hélice continua.

Una vez alcanzada la profundidad requerida se extrae la barrena con el suelo y simultáneamente se bombea hormigón por el tubo central de la barrena.

Durante el proceso de hormigonado, se combina adecuadamente la velocidad de ascensión de la barrena, el caudal del hormigonado y la presión a que se realiza el mismo con el fin de evitar cortes en el fuste del pilote.

La armadura se introduce posteriormente al vertido del hormigón.

Sustituye con ventaja el sistema de perforación con lodos bentoníticos.



Pilotes perforados por rotación de balde.



Pilotes perforados por rotación de balde.



Pilotes perforados por rotación de balde.

Se realiza con un equipo de accionamiento hidráulico y consiste en perforar con balde "bucket", herramienta que posee la particularidad de almacenar todo el material en su interior evitando que éste quede disgregado en la perforación.



FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Pilotes perforados por rotación de balde. La perforación por rotación de balde se realiza en general con el aporte de lodos bentoníticos, para garantizar la estabilidad de las paredes laterales de la excavación y sostenerlas evitando posibles desmoronamientos de terreno. Una vez alcanzada la profundidad necesaria se procede al bajado de armadura con sus correspondientes separadores. Esta operación se realiza normalmente con la perforadora usándola como grúa. Una vez posicionada la armadura en el lugar correcto, se hormigona con el método del tubo Tremie
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 65

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	PILOTES EJECUTADOS “IN SITU” Ventajas – Su transporte y la maquinaria utilizada son más sencillos. – Existe la posibilidad de atravesar capas duras. – Se producen menos ruidos y vibraciones. – Se evitan posibles daños al terreno en el proceso de hinca. – Se pueden realizar en diámetros grandes Desventajas – Se pueden crear vacíos cuando se cuela el hormigón – El hormigón no puede ser inspeccionado después de terminado
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 66

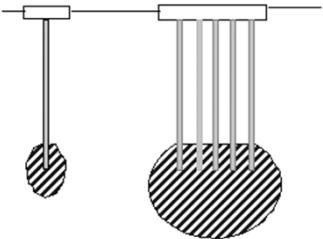
 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	<u>VIDEO</u> PILOTES PERFORADOS
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 67

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	¿Cómo elegir el tipo de pilote?
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 68

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	- Tipo de suelo. - Posición del nivel freático. - Longitud probable de los pilotes. - Disponibilidad de materiales. - Disponibilidad de equipos. - Factores que pueden causar deterioro en el pilote. - Plazo de ejecución. - Costo.
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 69

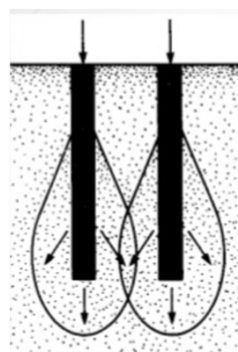
 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	No es conveniente disponer un solo pilote bajo una columna aunque exista exceso en la capacidad de carga, por razones de estabilidad y por la relativa imprecisión en su posicionado. En general los pilotes se colocan en grupos. Se aconseja como mínimo dos pilotes. Permite la transferencia de momentos flectores (aunque sólo sean de carácter secundario). La capacidad portante de un grupo de pilotes puede no ser igual a la suma de las capacidades portantes de todos los pilotes individuales en el grupo, por lo que debe considerarse el comportamiento del grupo como un todo.
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 70

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	 GRUPO DE PILOTES
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 71

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	 Bulbo de presiones: zona del terreno que se ve más afectado por la presencia de la cimentación y colabora en la capacidad portante del pilote y en su deformabilidad. Cuando los pilotes se aproximan, los bulbos individuales se van uniendo creando un único bulbo de mayor volumen. Este bulbo encierra zonas con incrementos de tensión diferentes, y alcanza una profundidad mayor que en el caso del pilote aislado origina en el terreno una deformación mayor de la que se produciría si los pilotes estuvieran separados y con la misma carga.
	FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 72



Cuando los pilotes se colocan uno cerca del otro, los esfuerzos que transmiten al suelo se superponen.



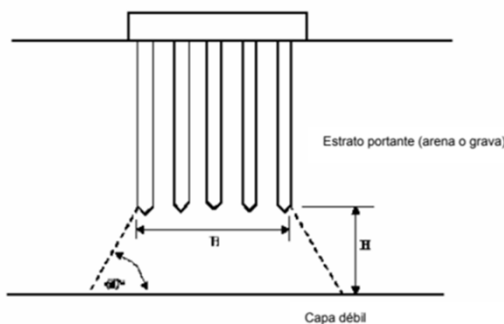
En los grupos, los pilotes se colocan en general, con separación entre ejes no inferior a 2,5 diámetro del pilote ni superior a 4 diámetro del pilote, para su funcionamiento en grupo.



Determinación de asentamientos:

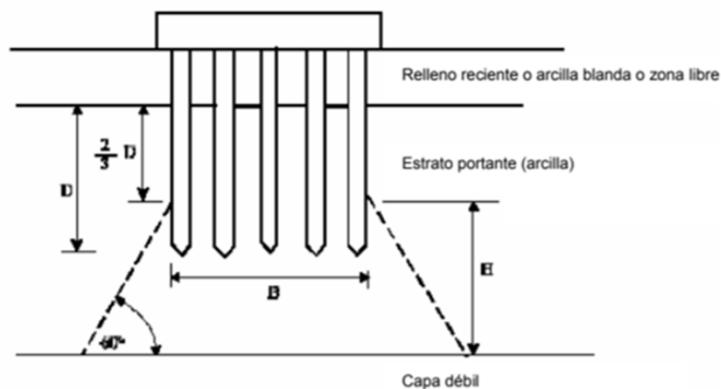
En general resultan difíciles de calcular.

Se puede sustituir el pilotaje por una base equivalente, o sea asimilar el grupo de pilotes a una cimentación superficial, con la misma forma en planta, considerando que la superficie de cimentación está a la misma profundidad que la punta de los pilotes, si el trabajo de éstos es por punta.





En el caso de pilotes que trabajan por fricción, se considera la carga actuando a $\frac{2}{3}$ de la longitud del pilote.



Capacidad de Carga de Grupos de Pilotes

Eficiencia de Grupo: EG

$$EG = \frac{\text{capacidad de carga de rotura del grupo}}{\text{capacidad de carga de los pilotes sin efecto grupo}}$$

$$EG = \frac{Q_{ug}}{\sum Q_{upi}}$$

Siendo: Q_{ug} : carga última del grupo de pilotes.

Q_{upi} : carga última del pilote individual

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

Suelos Granulares

Los **pilotes hincados** compactan al suelo granular, aumentando su capacidad portante y la resistencia del grupo es mayor que la suma de resistencias de los pilotes aislados.

Ensayos en modelos han demostrado que EG de pilotes hincados en arena pueden llegar hasta 2.

En diseño se utiliza un factor de EG = 1 para todo tipo de pilotes hincados en suelo granular. Significa que se ignoran los efectos de grupo al predecir la capacidad portante.



$$Q_{ug} \cong \sum Q_{u_i}$$

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes
Lámina 77

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

Suelos Granulares

En **pilotes excavados**, la acción de excavación reduce la resistencia por fricción, por lo que el EG es difícil que sea mayor que 1.

Los pilotes excavados deben tener un espaciamiento mayor que 4 diámetro del pilote (centro a centro) para que sea válida esta aproximación. Pero como en general el espaciamiento es menor a cuatro diámetros resulta que se disminuye algo la resistencia por el fuste y fundamentalmente por punta por efecto de la superposición de tensiones, adoptándose: EG = 0.7



$$Q_{ug} \cong 0,7 \sum Q_{u_i}$$

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes
Lámina 78

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Suelos Cohesivos En suelos arcillosos, se produce remoldeo de la arcilla, lo que suele reducir la eficiencia del grupo de pilotes. El efecto grupo o “eficiencia” es en este caso: $EG \leq 1.0$ Se considera al grupo (pilotes y suelo contenido) como una cimentación profunda. Si los pilotes están muy juntos ($s \leq 2d$) y el cabezal apoya en el suelo, puede producirse la llamada “rotura en bloque” Por lo tanto, conviene separar los pilotes como mínimo $2,5 d$
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 79

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Suelos Cohesivos Pilotes en suelo arcilloso que trabajan a fricción. La superposición de los efectos para los pilotes en grupo, es muy pronunciada, especialmente si están ubicados muy próximos, por lo cual su capacidad resistente se ve disminuída. La separación aconsejable para los pilotes a fricción en suelos cohesivos, es de 3 a 5 veces el diámetro del pilote, evitándose así la interferencia en la transmisión de la carga al suelo circundante. Pilotes en suelo arcilloso que trabajan de punta. La superposición de los efectos para los pilotes en grupo, es mucho menos pronunciada que para los pilotes en suelo arcilloso que trabajan a fricción y por lo tanto la separación mínima es de 1.75 a 2.5 veces el diámetro del pilote.
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes	Lámina 80

Fórmula de Acción de Grupo de Los Angeles (empírica)

$$E = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} \left[m \cdot (n - 1) + n \cdot (m - 1) + \sqrt{2} \cdot (m - 1)(n - 1) \right]$$

donde:

D: diámetro del pilote

s: separación entre ejes de pilotes

m: n° de pilotes por fila del grupo

n: n° de pilotes por columna del grupo

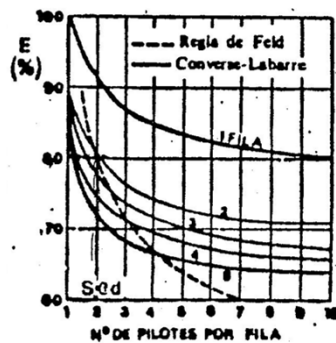
$$Q_{ug} = 0,7 \sum Q_{u_i}$$

$$Q_{adm} = \frac{Q_{ug}}{3}$$

- Esta fórmula no tiene en cuenta el tipo de suelo.
- No puede ser utilizada en terrenos estratificados

Existen varias ecuaciones para calcular la eficiencia de grupo de pilotes de fricción, como la ecuación Los Angeles Group Action, la ecuación Converse-Labarre, la ecuación Seiler-Keeney.

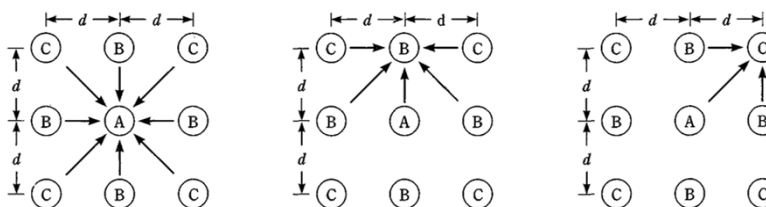
Feld (1943) sugirió un método para determinar la capacidad de carga de pilotes individuales (de fricción) en un grupo hincados en arena.



Curvas semiempíricas de eficiencia

Método sugerido por Feld (1943)

La capacidad de un pilote se reduce 1/16 por cada diagonal adyacente o fila de pilotes.



Para el pilote A, hay ocho pilotes adyacentes. Para el tipo de pilotes B, hay cinco adyacentes y para el C, hay tres adyacentes.

Hay que generar una tabla.

Tipo de pilote	Nó. de pilotes	No.de pilotes adyacentes	Factor de reducción para cada pilote	Capacidad última ^a
A	1	8	$1 - \frac{8}{16}$	$0.5Q_u$
B	4	5	$1 - \frac{5}{16}$	$2.75Q_u$
C	4	3	$1 - \frac{3}{16}$	$3.25Q_u$
				$\Sigma 6.5Q_u = Q_{g(u)}$
^a (No. de pilotes)(Q_u)(factor de reducción) Q_u = capacidad última de un pilote aislado				

Por lo tanto:

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\Sigma Q_u} = \frac{6.5Q_u}{9Q_u} = 72\%$$

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Ecuaciones para la eficiencia de grupos de pilotes de fricción	
	Nombre	Ecuación
	Ecuación Converse-Labarre	$\eta = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1) n_2 + (n_2 - 1) n_1}{90 n_1 n_2} \right] \theta$ donde θ (grados) = $\tan^{-1} (D/d)$
	Ecuación Los Ángeles Group Action	$\eta = 1 - \frac{D}{\pi d n_1 n_2} [n_1 (n_2 - 1)]$ $+ n_2 (n_1 - 1) + \sqrt{2} (n_1 - 1) (n_2 - 1)$
	Ecuación Seiler-Keeney (Seiler y Keeney, 1944)	$\eta = \left\{ 1 - \left[\frac{11d}{7(d^2 - 1)} \right] \left[\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0.3}{n_1 + n_2}$ donde d está en pies
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes		Lámina 85

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	Asentamientos Pilote aislado	
	TEORÍA DE VESIC	
	$W = W_s + W_{pp} + W_{ps}$	
	W = asentamiento total de la cabeza del pilote Ws = asentamiento debido a la compresión axial del pilote Wpp = asentamiento de la punta debido a la carga que la misma aplica al terreno subyacente. Wps = asentamiento de la punta causado por las cargas que el fuste transmite al terreno superior.	
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes		Lámina 86

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

Asentamientos Pilote aislado

TEORÍA DE VESIC

$$W = W_s + W_{pp} + W_{ps}$$

$W_s = (Q_p + \alpha Q_s) \cdot \frac{L}{A_p \cdot E_p}$

Donde:

- Q_p = carga de punta
- Q_s = carga del fuste
- $\alpha = 0.3$ (perforado) a 0.65 (hincado) según tipo pilote y método constructivo
- L = longitud
- E_p = coeficiente de elasticidad del pilote
- A_p = sección pilote

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes
Lámina 87

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

Asentamientos Pilote aislado

TEORÍA DE VESIC

$$W = W_s + W_{pp} + W_{ps}$$

Donde:

$W_{pp} = \frac{C_p \cdot Q_p}{B \cdot \sigma_p}$

- C_p = ver tabla según tipo de suelo y tipo pilote
- Q_p = carga de punta
- B = ancho del pilote
- A_p = sección pilote
- σ_p = resistencia a la penetración de punta

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes
Lámina 88

 FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras (94.09) GEOTECNIA APLICADA	TABLA VALORES TÍPICOS DE C_p SEGÚN VESIC (1975)		
	Tipo de suelo	Pilotes hincados	Pilotes con extracción
	Arena (densa a floja)	0,02 a 0,04	0,09 a 0,18
	Arcilla (firme o blanda)	0,02 a 0,04	0,04 a 0,08
	Limo (denso a flojo)	0,03 a 0,05	0,09 a 0,12
FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes			Lámina 89

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

Asentamientos Pilote aislado

TEORÍA DE VESIC

$$W = W_s + W_{pp} + W_{ps}$$

Donde:

$$W_{ps} = \frac{C_s \cdot Q_s}{D \cdot \sigma_p}$$

C_s = ver tabla en función de D/B y C_p (depende del tipo de suelo)

Q_s = carga del fuste

D = Profundidad

B = ancho del pilote

σ_p = resistencia a la penetración de punta

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes

Lámina 90

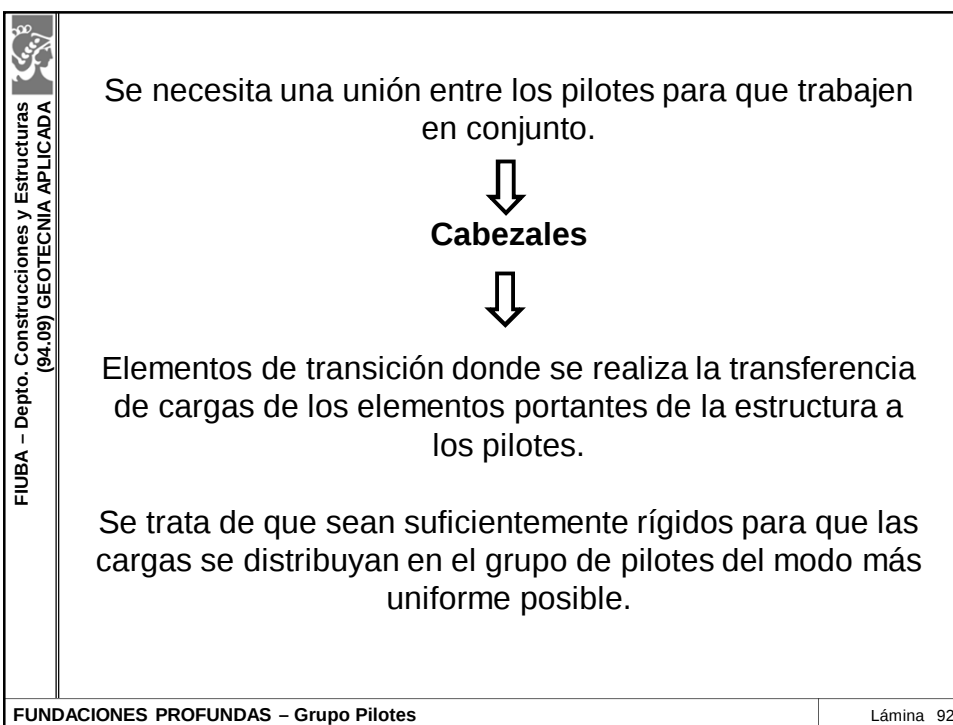
FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

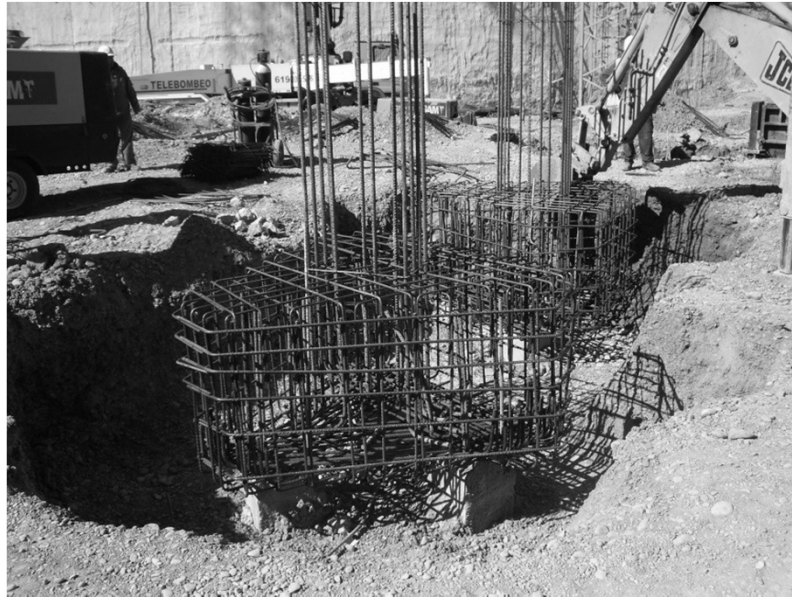
TABLA
VALORES DE C_s EN FUNCIÓN DE D/B Y C_p

$C_p \backslash D/B$	5	10	20	40	80	100
0,02	0,026	0,029	0,033	0,039	0,047	0,064
0,03	0,039	0,043	0,049	0,058	0,071	0,096
0,04	0,052	0,057	0,066	0,078	0,094	0,128
0,05	0,064	0,072	0,082	0,097	0,118	0,16
0,08	0,103	0,115	0,132	0,155	0,189	0,255
0,09	0,116	0,129	0,148	0,175	0,212	0,287
0,12	0,155	0,172	0,197	0,233	0,283	0,383
0,18	0,232	0,258	0,296	0,35	0,425	0,575

D/B: Esbeltez del pilote

FUNDACIONES PROFUNDAS – Grupo Pilotes Lámina 91





Para lograr la
unión entre los
pilotes y el
cabezal



Desmoche



Consiste en retirar el hormigón de la parte superior.
En pilotes excavados, se recomienda realizarlo dentro del
período de fragüe para facilitar su extracción y no tener que
utilizar procedimientos más agresivos que puedan afectar al
pilote.



Separación de pilotes

Pilotes que trabajan por punta:

$$S \geq \begin{cases} D + 30 \text{ cm} \\ 1,75 \text{ a } 2,5 D \\ \sqrt{\frac{\text{Carga en cada pilote}}{\text{capacidad portante del suelo}}} \end{cases}$$

D: diámetro de pilotes circulares ó diagonal en secciones cuadradas

Pilotes que trabajan por fricción:

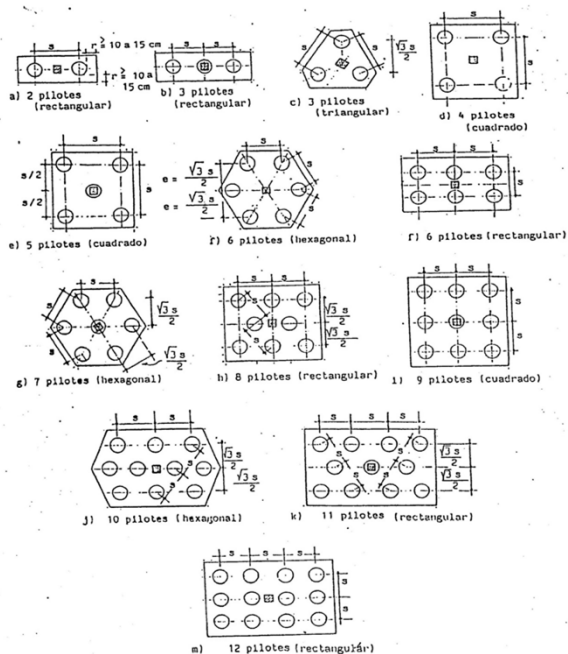
$$S \geq \begin{cases} 2,5 \text{ a } 3 D \\ 75 \text{ cm} \end{cases}$$

En general:

$$S \geq \begin{cases} 3 D \\ 1,0 \text{ m} \end{cases}$$



**Cabezales con
diferente
número de
pilotes –
Esquema de
distribución de
pilotes.**





Distribución de las cargas en un grupo de pilotes

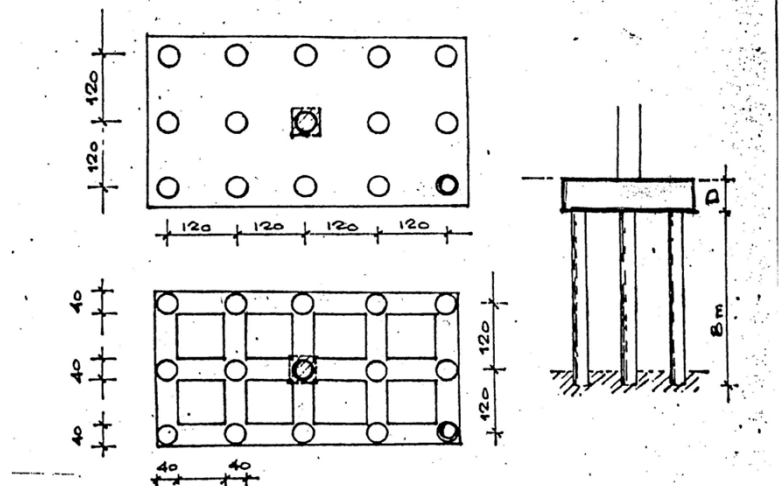
Cuando la carga P vertical transmitida por la columna coincide con el centro de gravedad de los n pilotes agrupados bajo un cabezal rígido, puede admitirse que cada pilote recibe una carga:

$$P_i = \frac{P}{n}$$

Existen bastantes casos, sin embargo, en que la columna transmite al cabezal, además de la carga vertical P , un esfuerzo cortante ó carga horizontal Q y un momento M . Bajo estas sollicitaciones el cabezal sufre desplazamientos y giros de los que resultan cargas desiguales en los pilotes, llegando éstos, en algunos casos, a trabajar a tracción.



INFLUENCIA DE LA RIGIDEZ RELATIVA DEL CABEZAL EN LA DISTRIBUCION DE CARGAS.



FIUBA - Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

Pilotes $H = 8.00$ m $\phi = 40$ cm $L = 8.00$ m $K = \frac{EP}{L}$

Columna central.

CABEZAL MACIZO :

$s = 3\phi = 120$ cm D variable

EMPARRILLADO DE VIGAS :

$s = 120$ cm $b = 40$ cm D variable

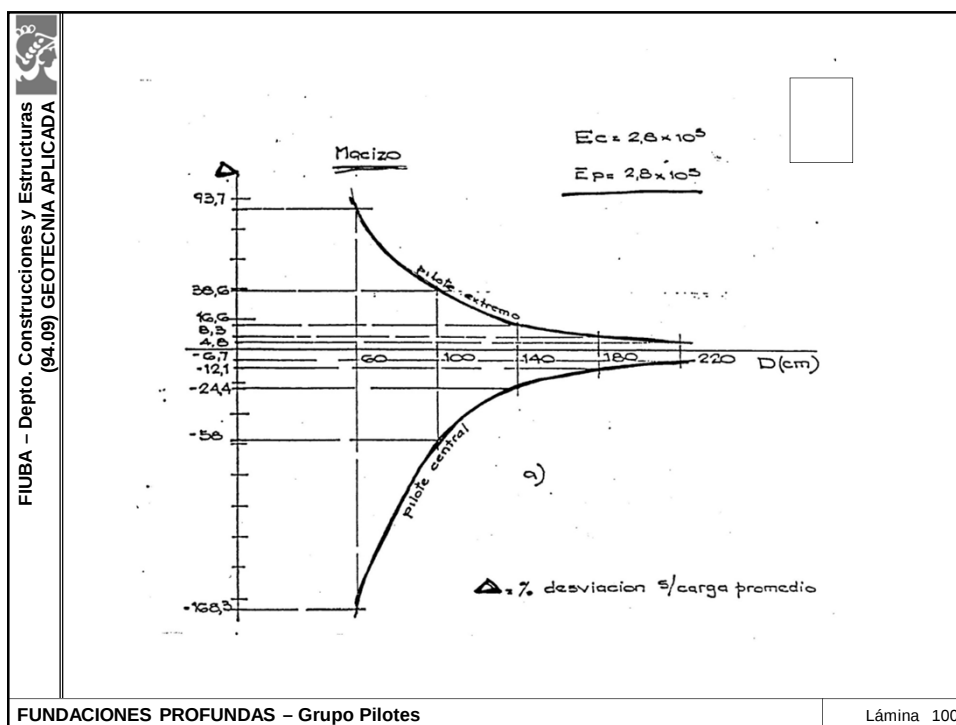
$E_b = cte$ en cabezal y emparrillado

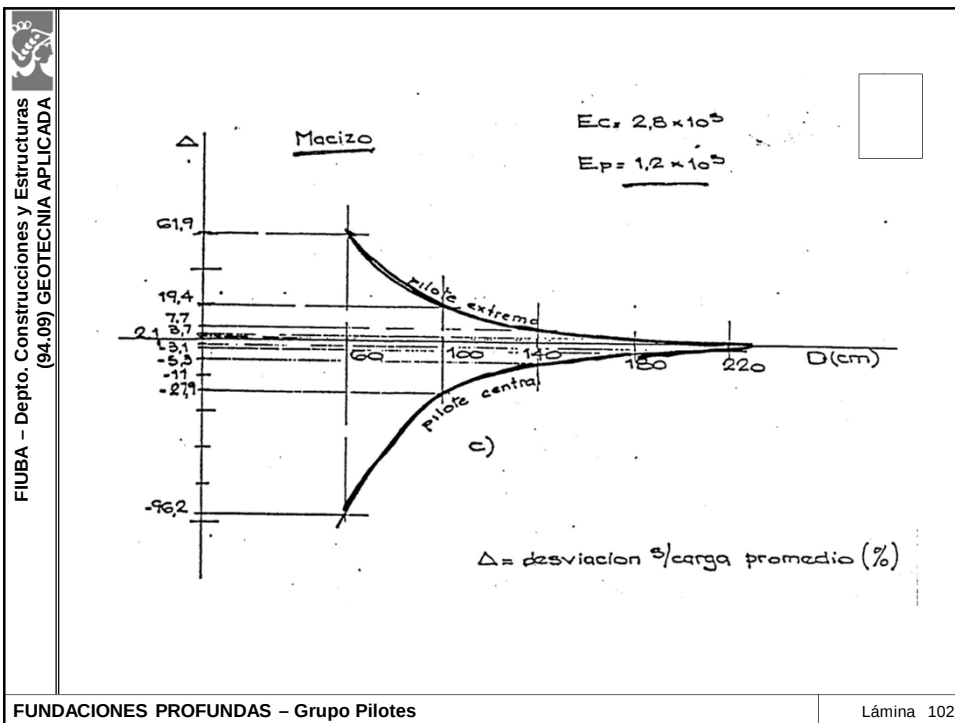
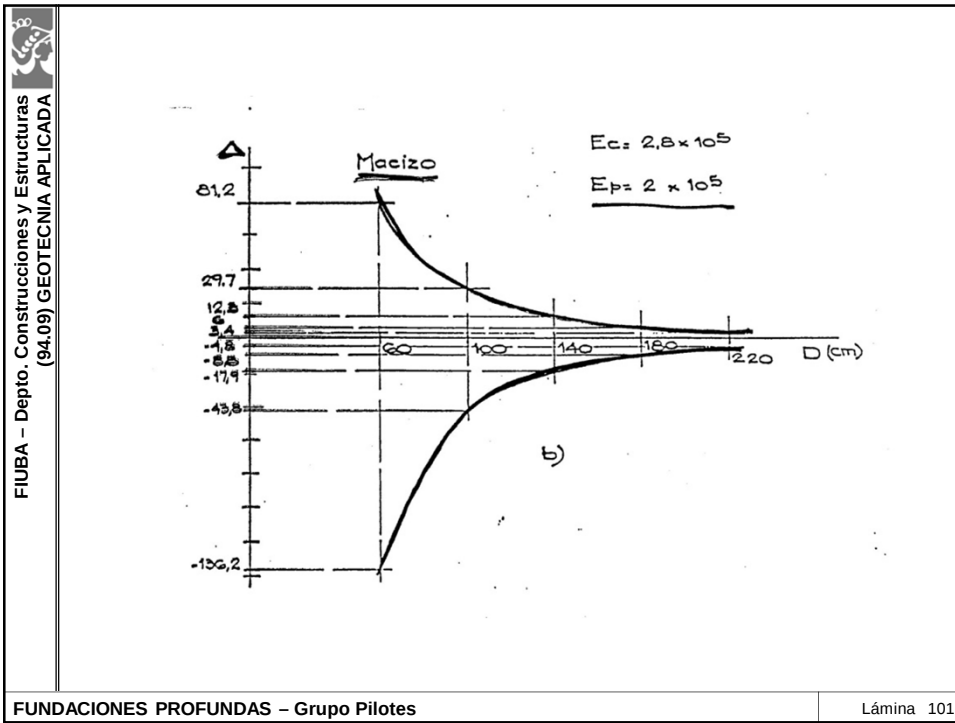
DIN 1046 - CIRSOC 201 : $\sigma_{bk} = 170$ kg/cm² $E_b = 280,000$ kg/cm

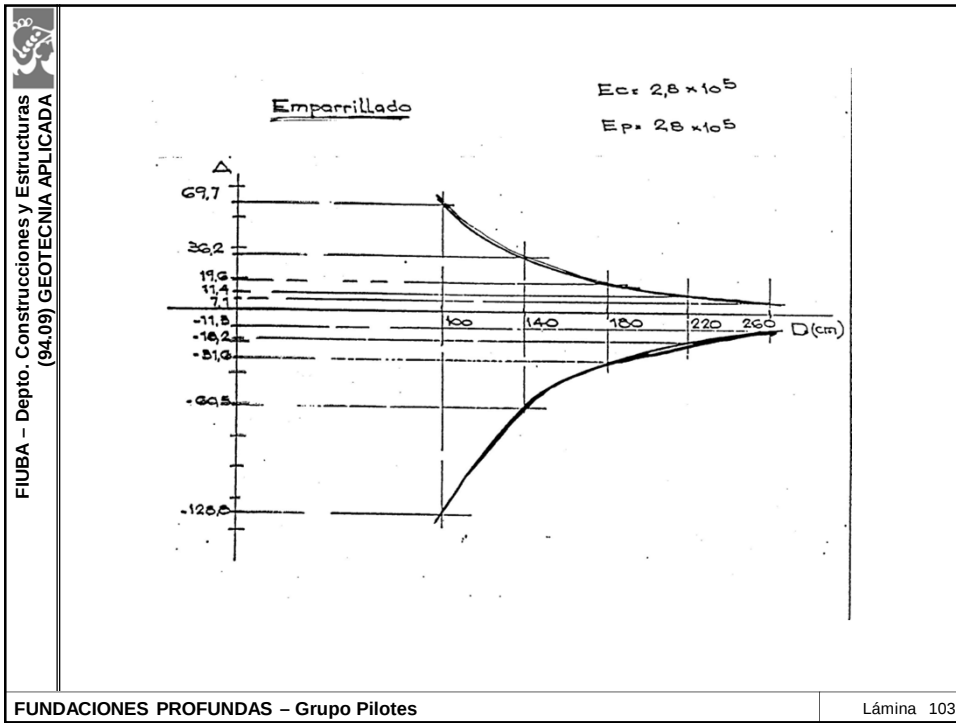
$E_b =$ variable en pilotes para cabezal macizo

FUNDACIONES PROFUNDAS - Grupo Pilotes

Lámina 99







FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
(94.09) GEOTECNIA APLICADA

FIN

GRACIAS POR SU ATENCION !!!