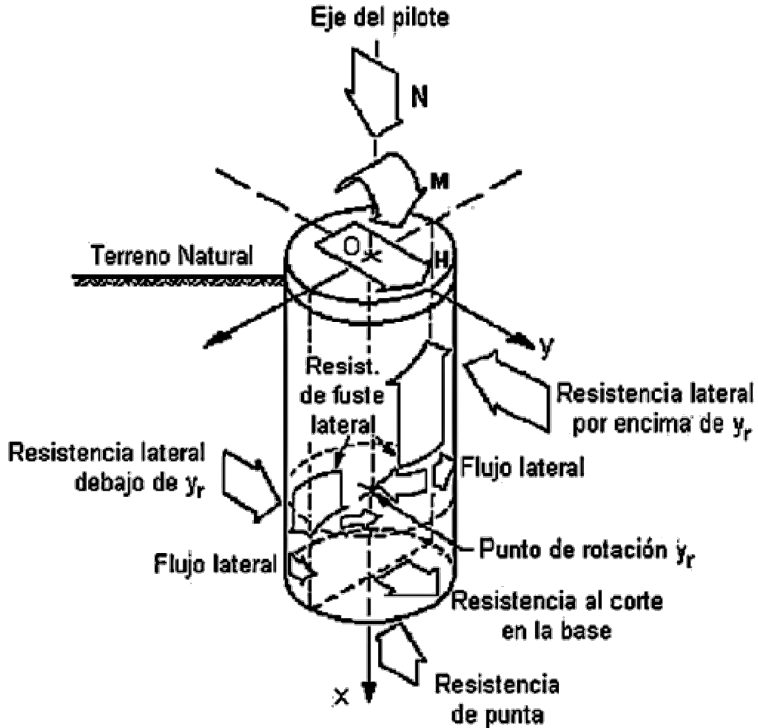




GEOTECNIA APLICADA 94.09

FUNDACIONES PROFUNDAS





FUNDACIONES PROFUNDAS



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”.



¿En qué casos se utiliza una fundación profunda?



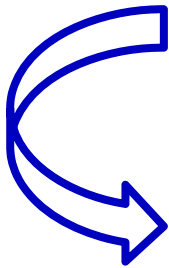
MOTIVOS PARA UTILIZAR UNA FUNDACIÓN PROFUNDA

- cargas elevadas que necesitan alto valor soporte obtenidos solamente en profundidad
- 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 y dificulta la etapa constructiva.
- para controlar/disminuir asentamientos.
- existencia de cargas principales laterales ó de tracción
- cuando existan interferencias
- suelos superficiales de relleno o baja capacidad portante
- simplicidad constructiva: inexistencia de subsuelo



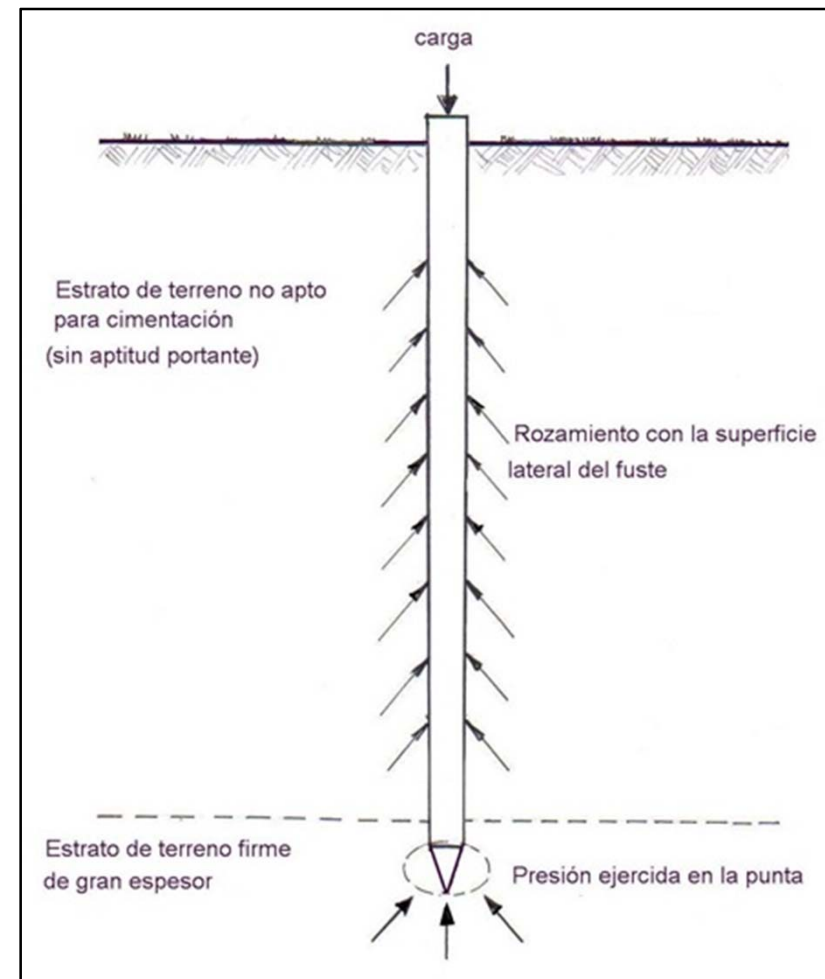
ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE CIMIENTOS PROFUNDOS

- * 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



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.





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.



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

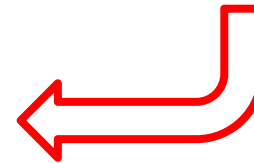
- Cargas horizontales
- Fricción negativa (asentamiento del terreno por colocación de sobrecargas o rellenos, descenso del nivel freático ó suelos blandos aún en proceso de consolidación)
- Flexión por deformación lateral
- Esfuerzos de corte, cuando los pilotes atraviesan superficies de deslizamiento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



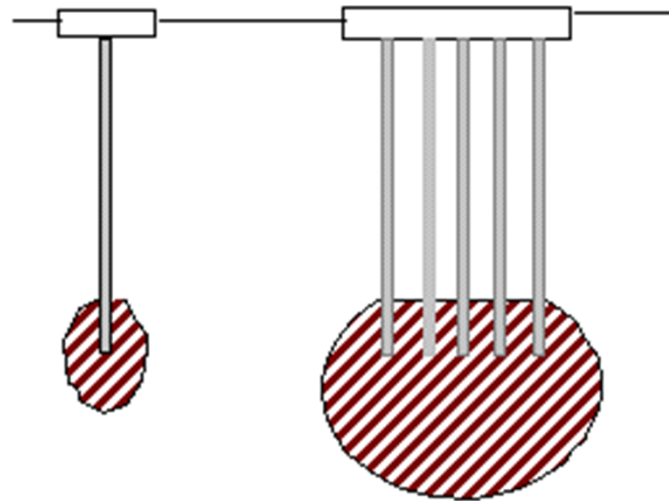
Pilotes verticales ó inclinados.



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



Pueden estar aislados ó en grupos.





TIPOS DE PILOTES SEGÚN EL MATERIAL

- ✓ madera
- ✓ acero
- ✓ hormigón simple
- ✓ hormigón armado
- ✓ hormigón pretensado
- ✓ mixtos (combinación de perfiles con hormigón)
- ✓ arena (drenaje para consolidación)



PILOTES DE MADERA





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”



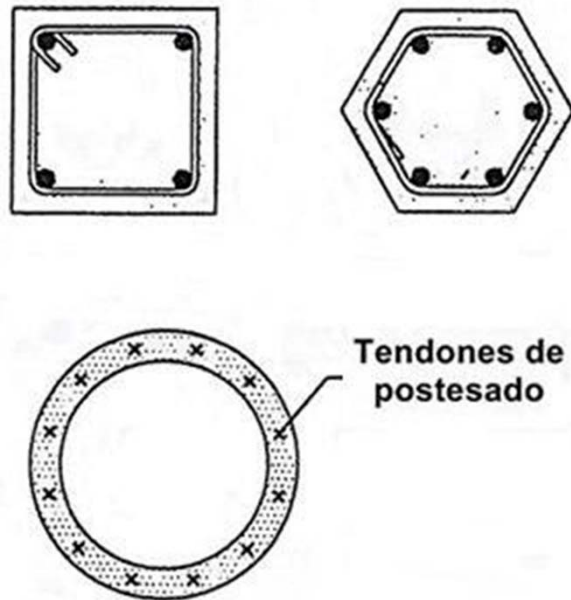


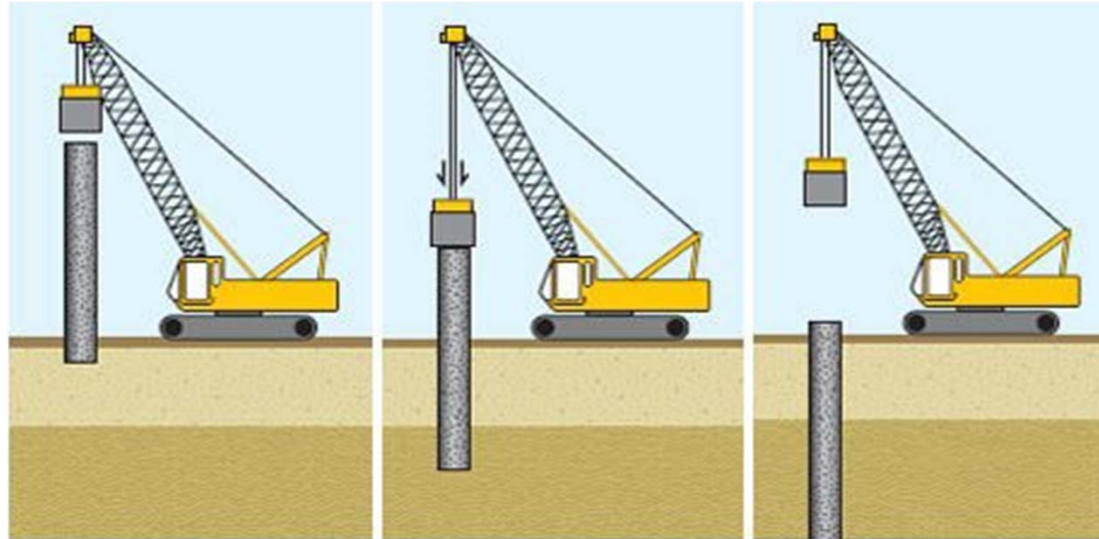
PILOTES PREFABRICADOS

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.





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.



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

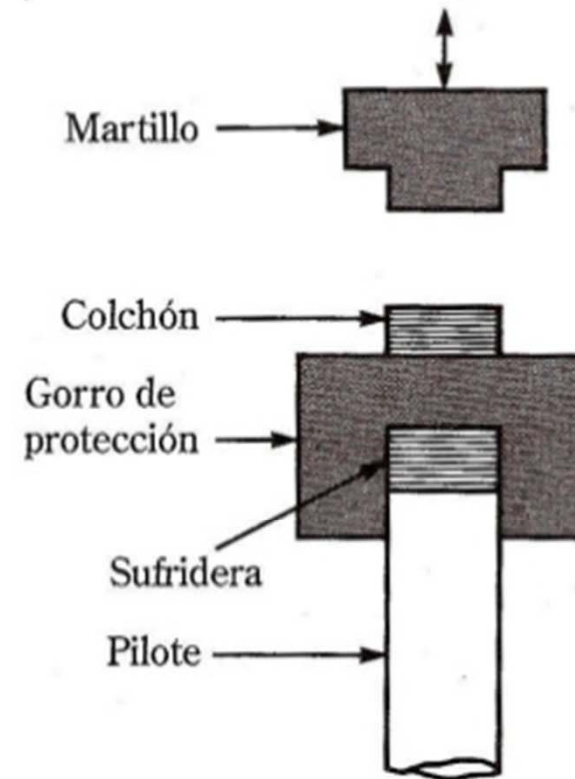
b) Por Vibración

- Vibradores



Martillo de caída libre

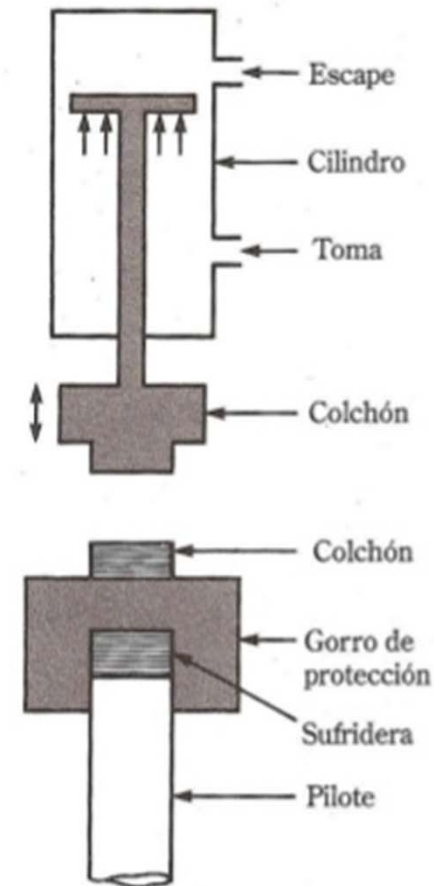
- El martillo se levanta con un malacate y se deja caer desde una altura H .
- Su desventaja es la baja velocidad de golpeo.





Martillo de aire o vapor de acción simple

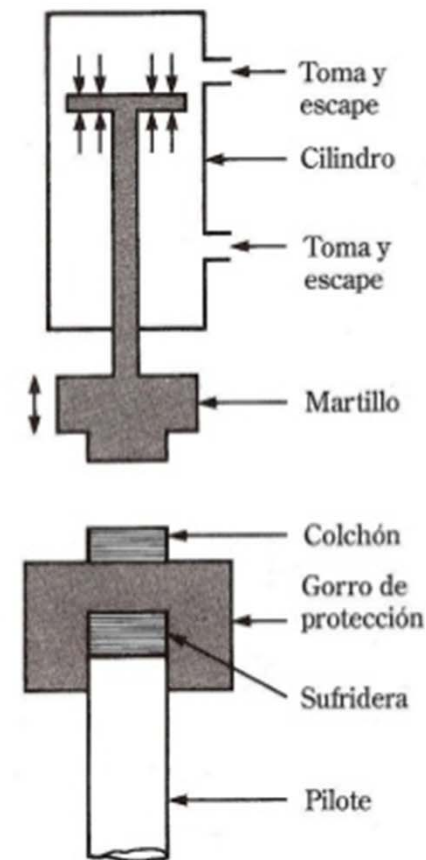
- La parte percusiva o martillo, se eleva por la presión del aire o vapor y luego se deja caer por gravedad.





Martillo de aire o vapor de acción doble y diferencial

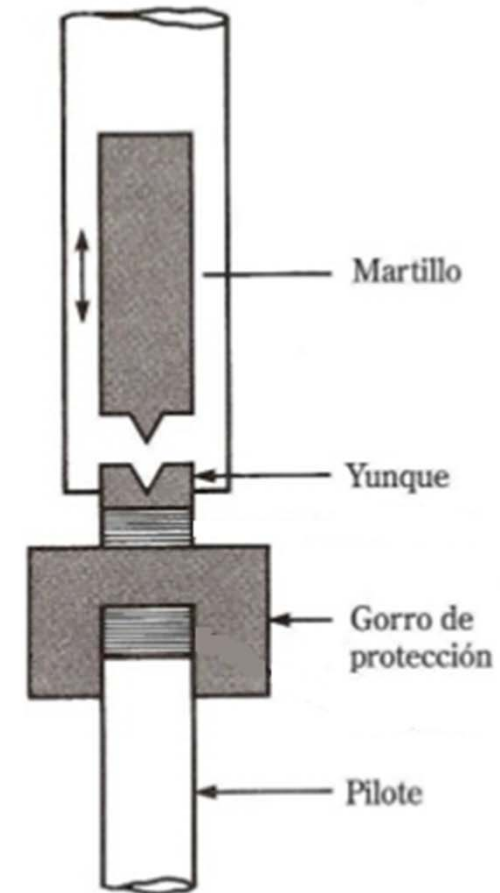
- Se utiliza aire o vapor para elevar el martillo y también para empujarlo hacia abajo, incrementando la velocidad de impacto.





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.





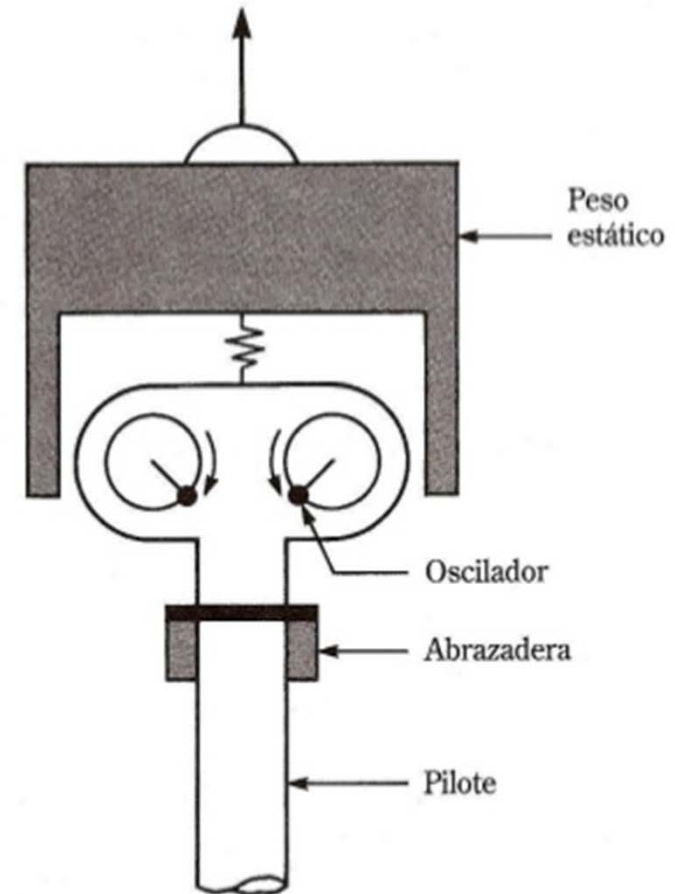
Martillo Diesel





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





vibrohincador





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.



Fórmulas de Hınca

- En un choque rígido ideal:

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

- En un choque elástico:

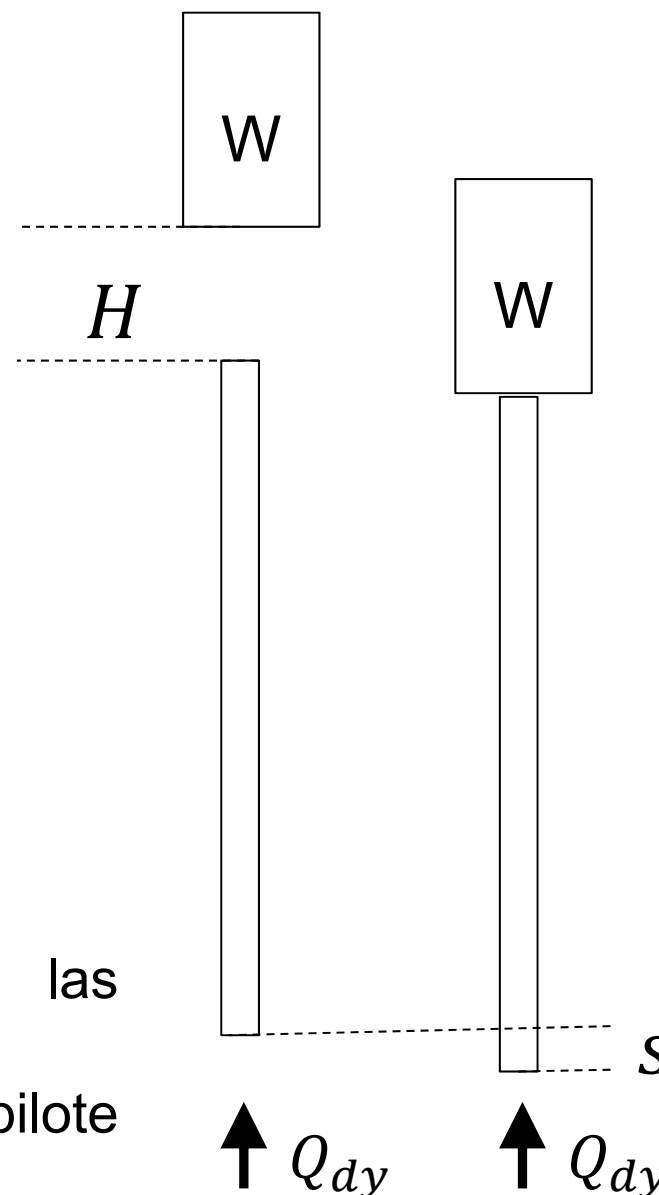
$$Q_{dy} \cdot (s + d_e) = W \cdot H$$

- 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.





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



Fórmulas de Hinca

3) Otras fórmulas de hinca:

- **Danese**
- **Engineering News – Record (modificada) (ENR)**
(tiene en cuenta las pérdidas como una penetración adicional)
- **Brix**
- **Hiley**
- **Janbu**





* En la Argentina y otros países de habla hispana y portuguesa se utiliza mucho la llamada fórmula holandesa de expresión:

$$Q_{es} = \frac{W_H H}{S (W_H + P)}$$

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:

$$Q_{es} = \frac{E}{s} \frac{W_H}{W_H + L}$$

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_H 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 $W_H H$ 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.



Recomendaciones para el uso de fórmulas de hinca

- Todas las fórmulas tienen limitaciones.
- La confiabilidad de cualquier fórmula de hinca 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 hinca suelen ser aplicables.
- Las fórmulas de hinca suelen ser válidas en suelos granulares,
- En arcillas y suelos poco permeables, las fórmulas de hinca no son útiles para determinar la capacidad de carga.



Fórmulas de Hinca - 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).

Medida de rechazo:

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 hinca.

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES Y PARÁMETROS GENERALES
PARA LOS MARTILLOS DIÉSEL
A UTILIZAR EN LA HINCA DE PILOTES:
MARTILLO DIÉSEL PARA HINCA DE PILOTES**

Energía Eh (kg-m)	Marca	Modelo	Carrera (cm)	Peso Martillo Wr (kg)
2212	MKT	DE-20	244	907
2516	Link Belt	440	94	1814
3100	MKT	DE-30	244	1270
3111	Delmag	D-12	250	1247
3373	Kobe	K13	259	1302
3636	Link Belt	520	110	2300
4424	MKT	DE-40	244	1814
5439	Delmag	D-22	250	2200
5710	Kobe	K-22	259	2200
5809	MKT	DE-42/32	300	1905
6915	MKT	DE-50B	300	2270
7125	Kobe	K-25	285	2500
7137	Link Belt	660	200	3435
8261	Delmag	D-30	275	2995
9682	MKT	DE-70B	300	3175
9984	Kobe	K-35	285	3500
11593	Delmag	D-36	320	3600
11000	Kobe	K-42	265	4170
12469	Delmag	D-44	285	4310
12829	Kobe	K-45	285	4500
14810	Delmag	D-46	320	4600
16500	Delmag	D-55	300	5500
18000	Kobe	K-60	300	6000
22900	Delmag	D-62	370	6200
24000	Kobe	K-80	300	8000



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)



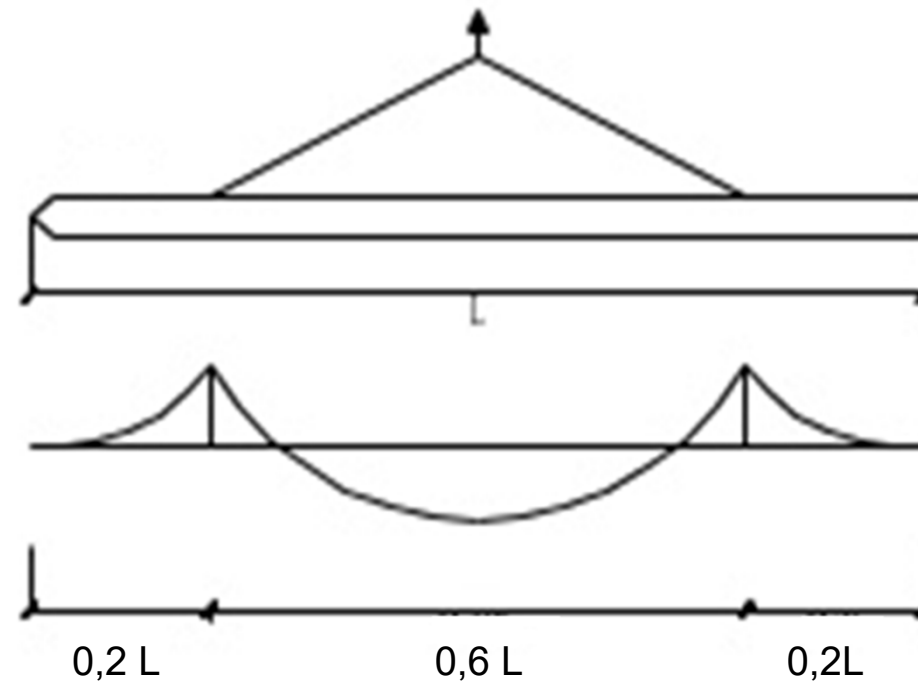
PILOTES PREFABRICADOS

Estado de solicitaciones:

- 1) Almacenamiento y estiba
- 2) Transporte en obra
- 3) Elevación y manipulación para la hinca
- 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.



VIDEO PILOTES HINCADOS



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 Continuous Flight Auger)
 - Pilotes por rotación de balde

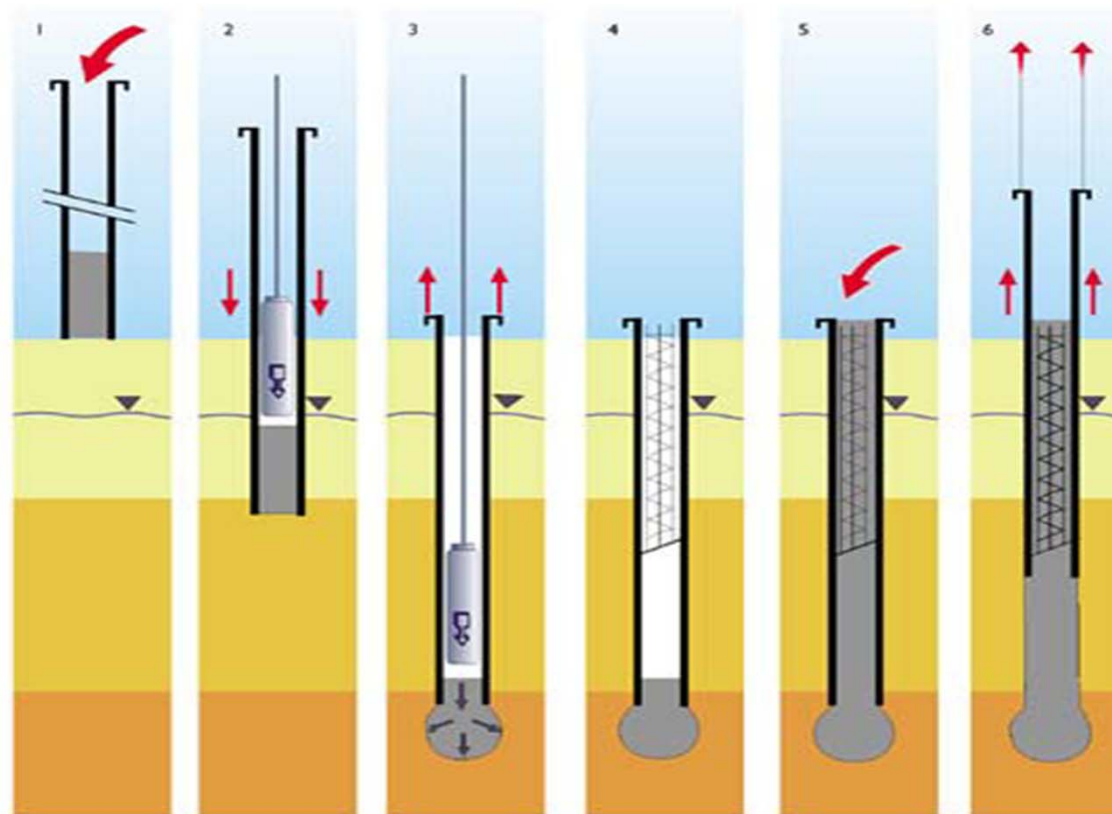


PILOTES POR DESPLAZAMIENTO



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

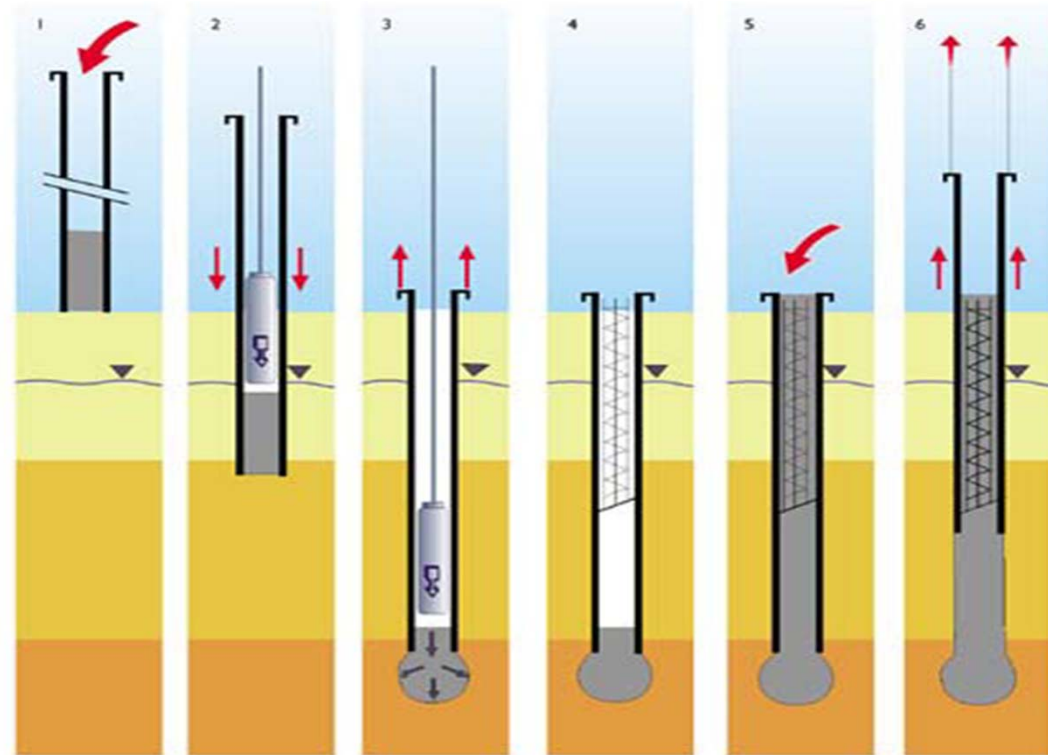
La ejecución del pilote tipo Franki comienza con el hincando de la entubación por golpes con un pilón sobre el tapón de gravas que se coloca previamente en la punta.





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.

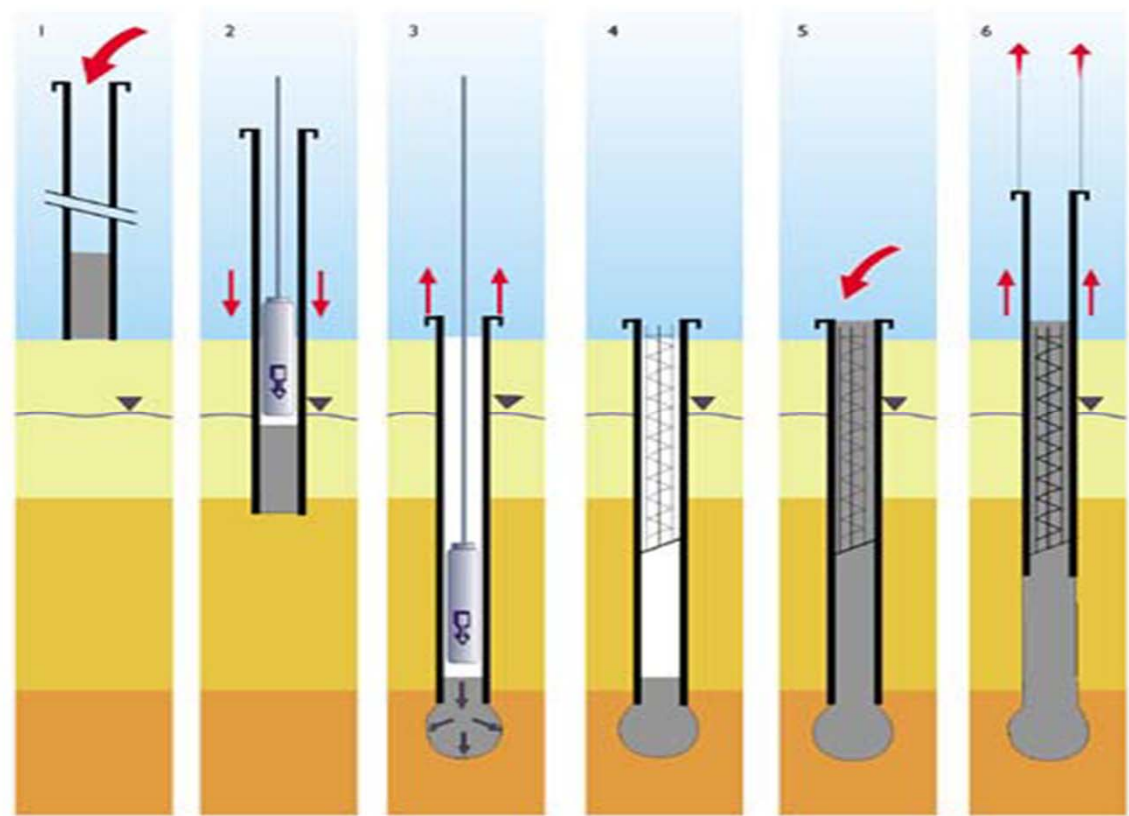




Pilotes de H°A° con tapón de gravas (Franki)

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.

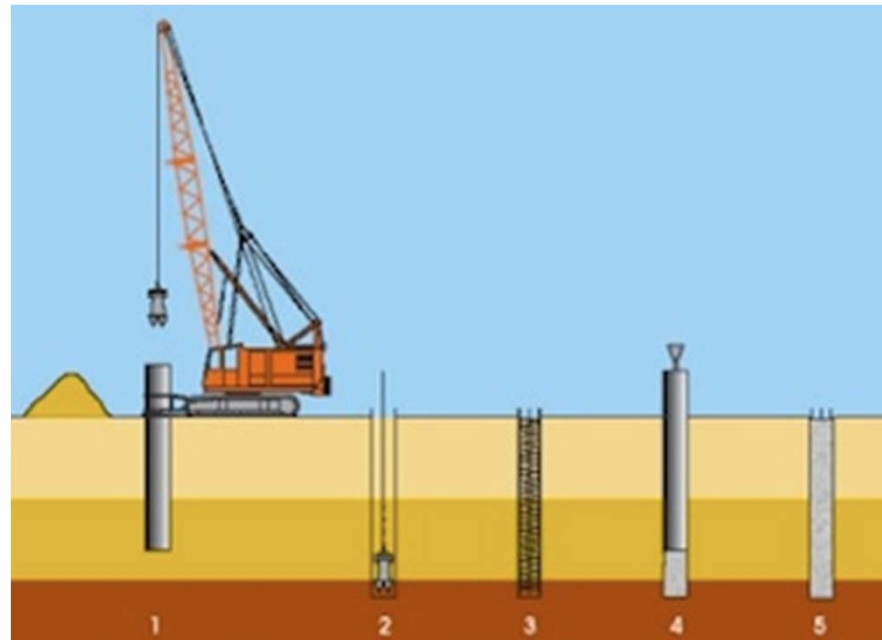




Pilotes con camisa recuperable

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.



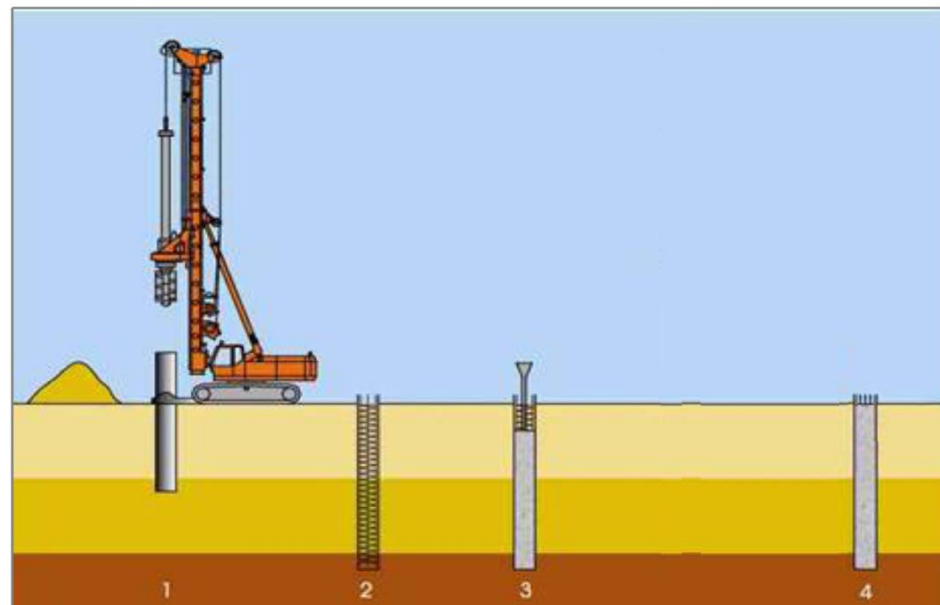


Pilotes con camisa perdida

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.



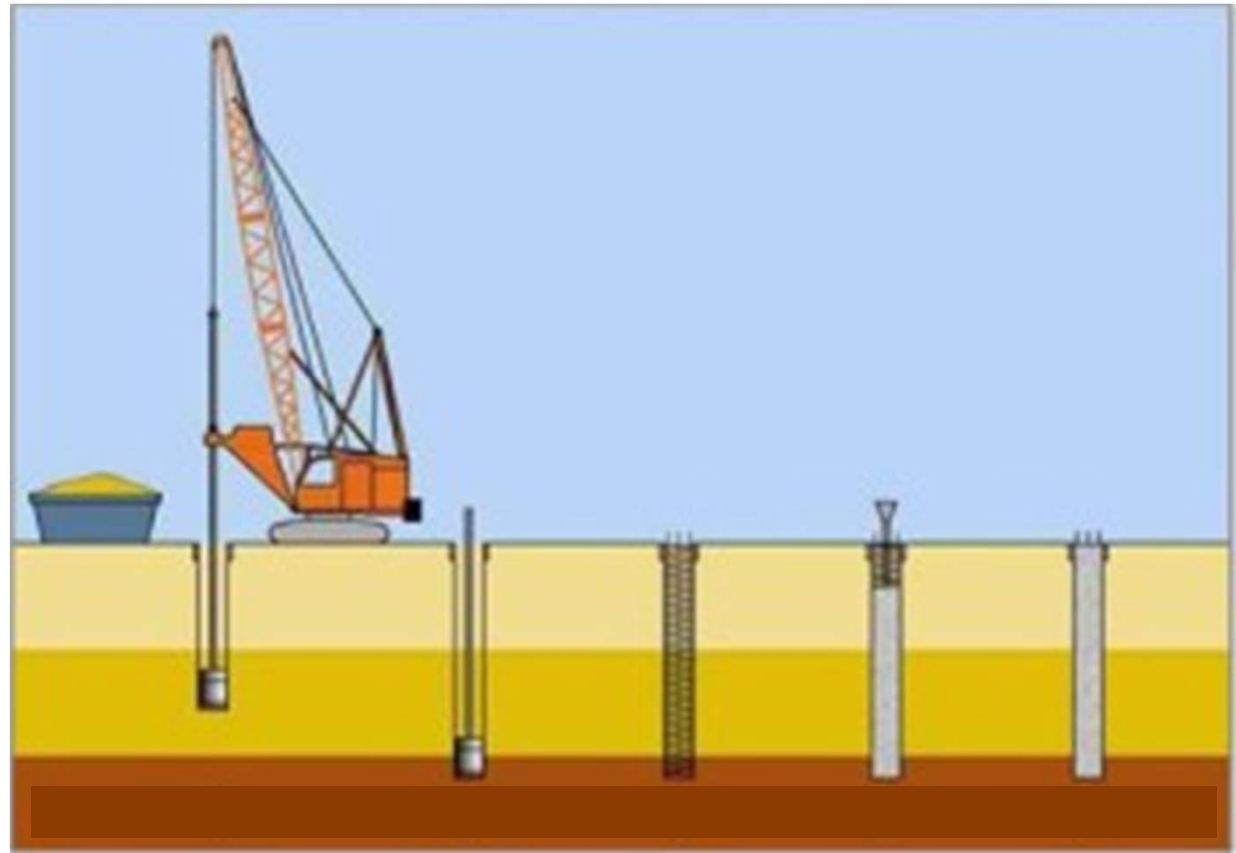


PILOTES PERFORADOS



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



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.



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

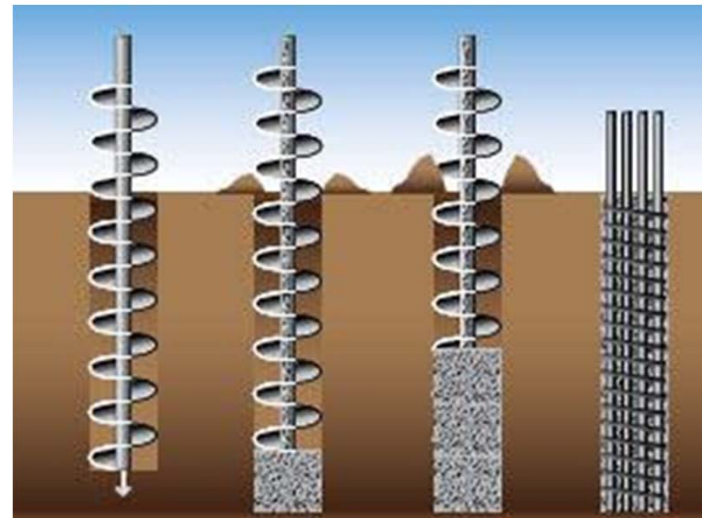
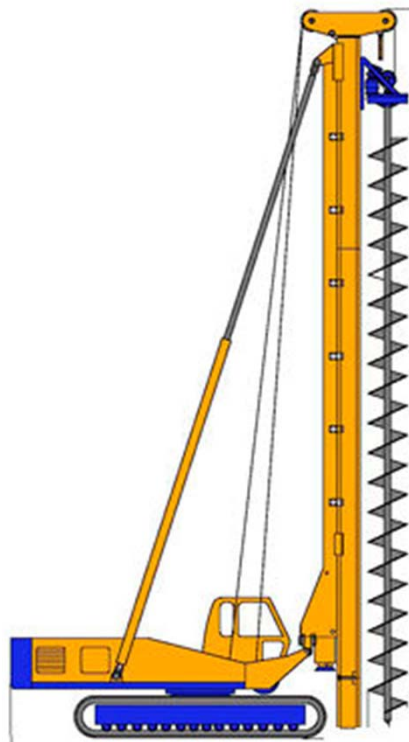
Se usan para separar la arena de los lodos de perforación. Durante el proceso de excavación se van aportando lodos a medida que se avanza en profundidad, y el lodo aportado se va mezclando con el terreno excavado y se va contaminando de arena y limos, de forma que al terminar la perforación, es necesario reciclar el lodo con el desarenador para separar la arena y limpiar el lodo que será usado en las siguientes perforaciones.

BOMBAS DE LODO



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.





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



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 hincado.
- 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



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.

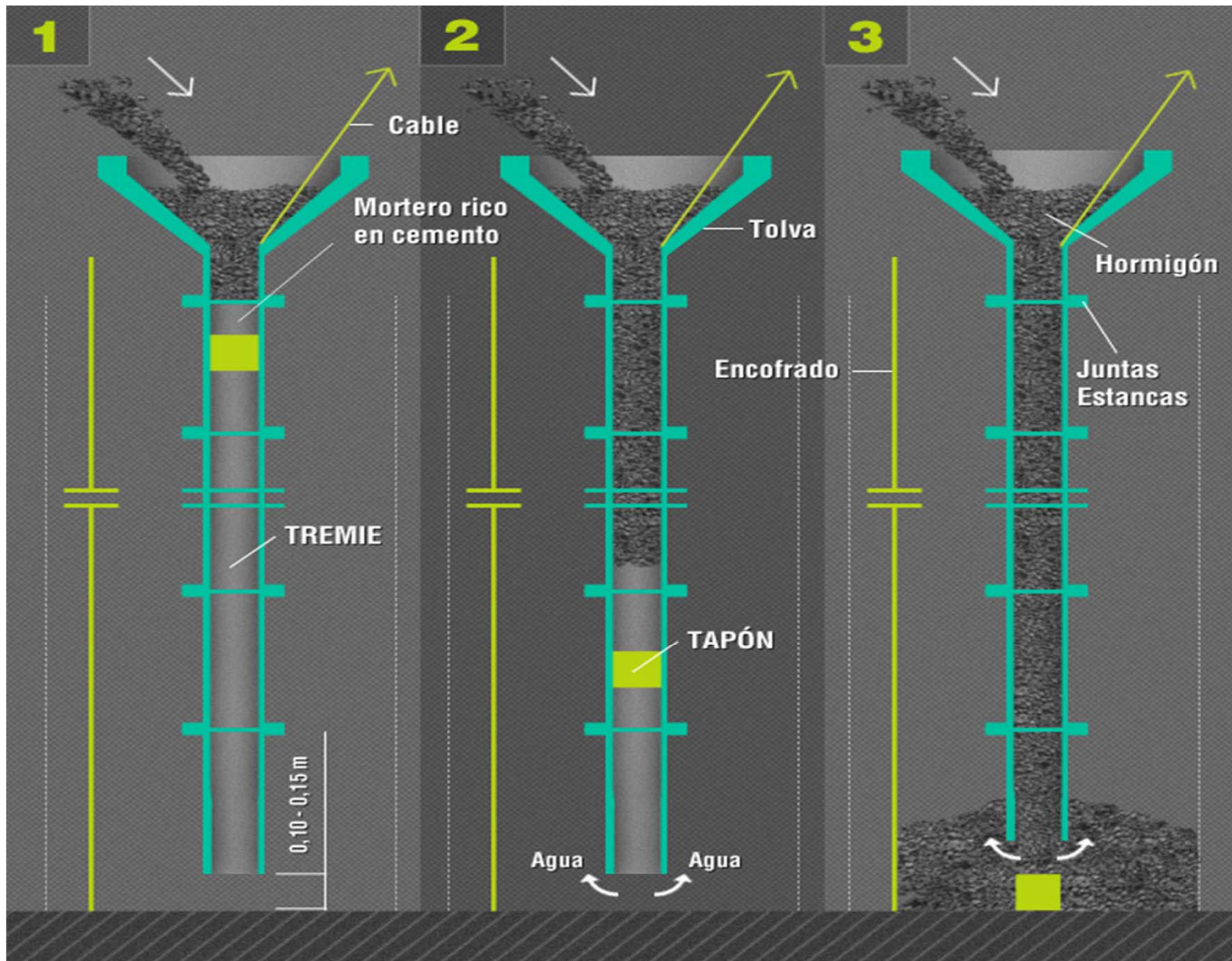


HORMIGONADO – COLOCACIÓN TUBO TREMIE





TUBO TREMIE





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.



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.



VIDEO PILOTES PERFORADOS

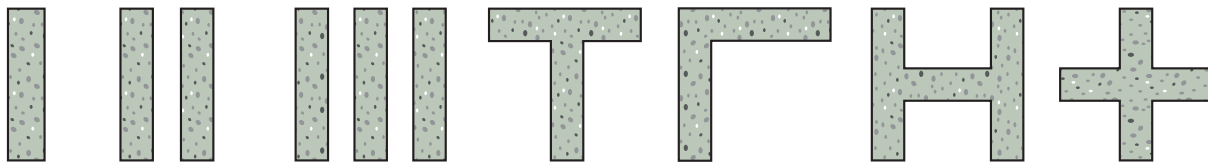


BARRETES

PILOTES RECTANGULARES (BARRETES)

Este tipo de pilote relativamente nuevo, es similar a los muros colados y sigue patrones de diseño especial para adaptarlos a situaciones diversas. Podemos poner como ejemplo estas secciones

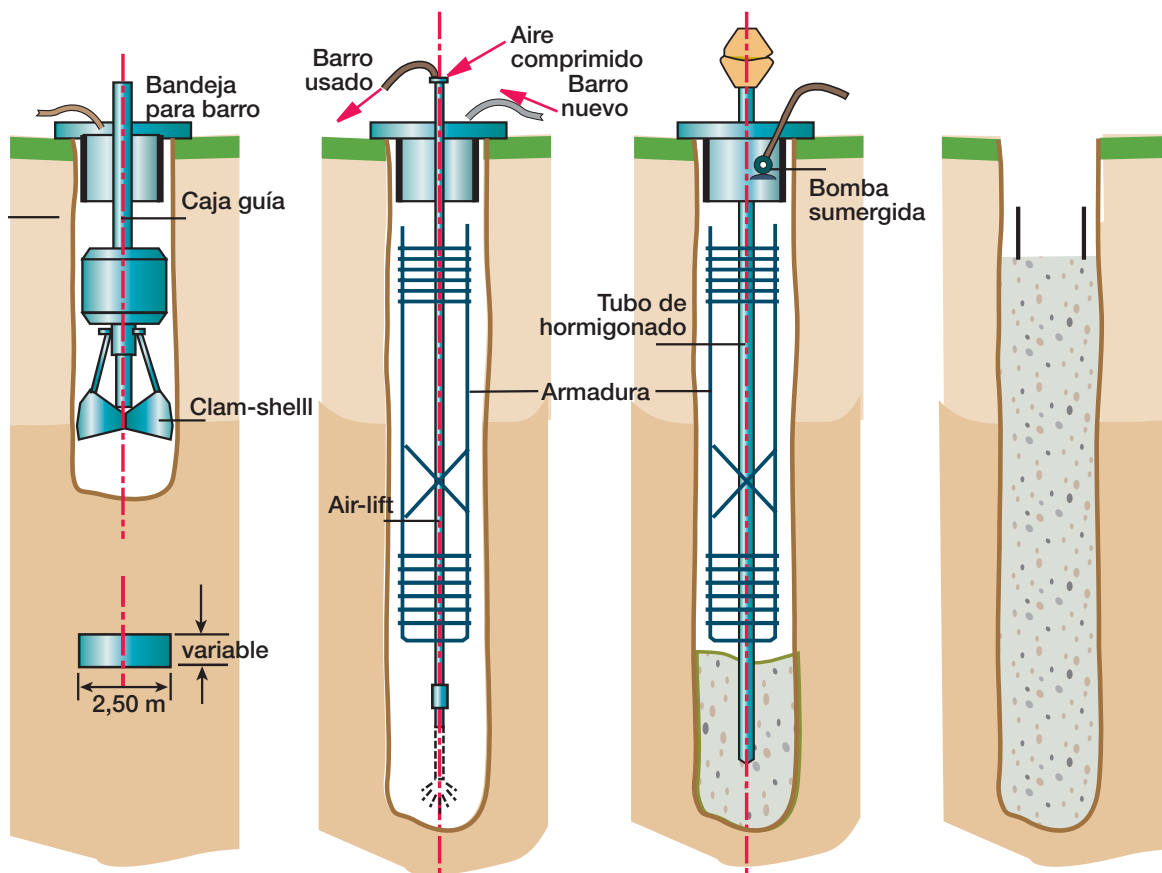
Modelos más usuales de barretes



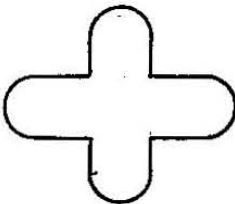
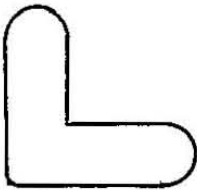
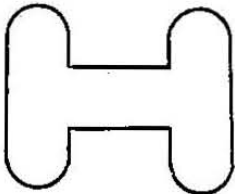
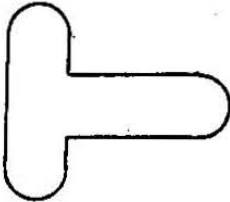
Todas las referencias sobre el uso del lodo bentonítico, su fabricación y propiedades, así como de la excavación, armaduras (no necesariamente) y hormigonado de estos pilotes rectangulares, son las mismas que para los muros colados.

Pilote excavado rectangular (barrete)

Secuencia de ejecución



TIPOS DE PILOTES BARRETES

DIMENSIONES L * D	FORMA	TIPO
1.90 x 0.30		NORMAL
1.90 x 0.40		CRUZ
1.90 x 0.50		ELE.
1.90 x 0.60		HACHE.
L en todos los casos puede llegar a los 5.00 metros.		TE.

OBSERVACIONES :

1- L = LONGITUD DEL ELEMENTO.

2- D = ESPESOR ELEMENTO.

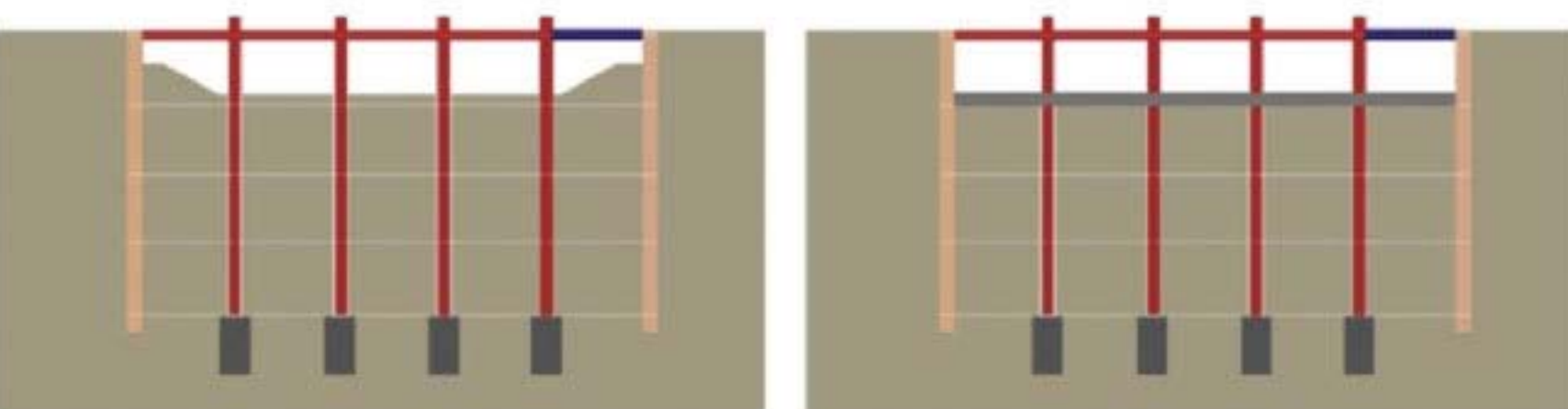


SISTEMA CONSTRUCTIVO ASCENDENTE Y DESCENDENTE

SISTEMA TOP-DOWN

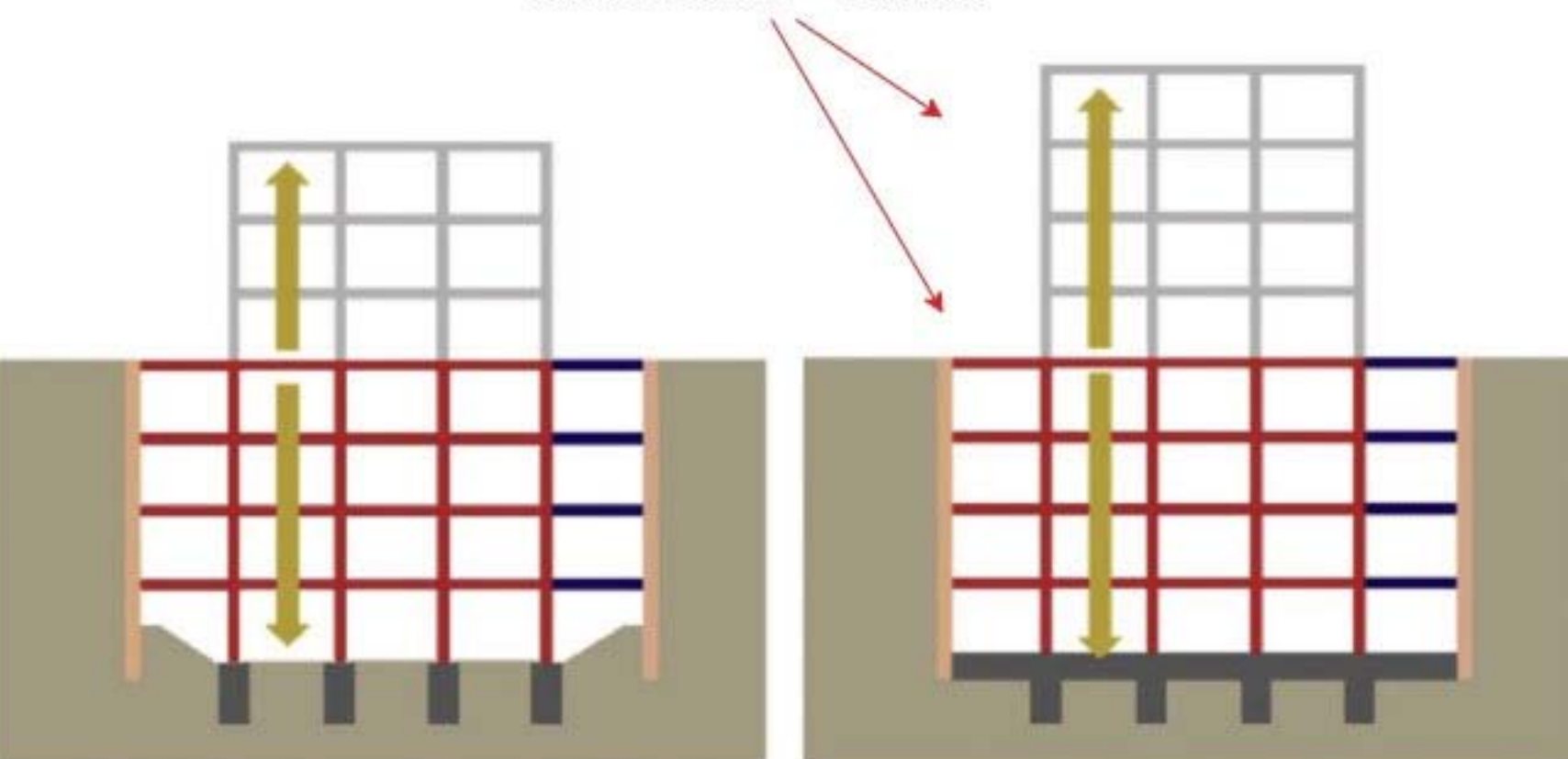


FASE 1



FASE 2

Se realizan dos fases constructivas al mismo tiempo:
Cimentación + Edificio



FASE 3



¿Cómo elegir el tipo de pilote?



- 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.



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.

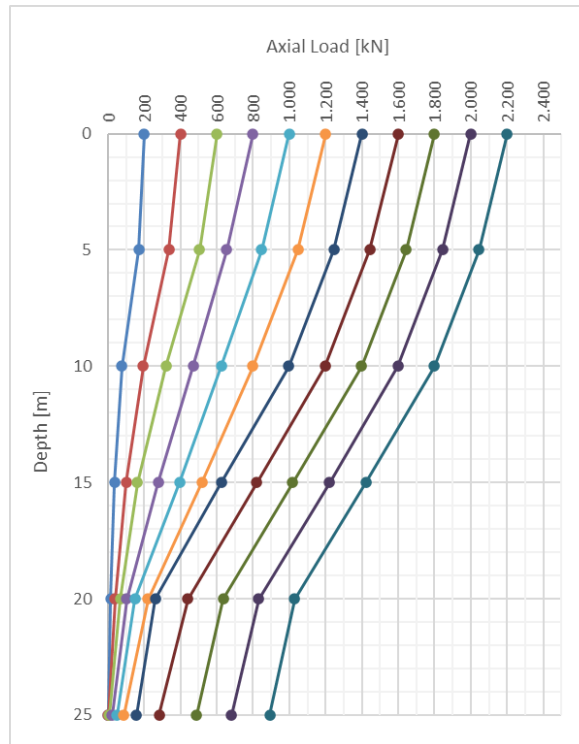
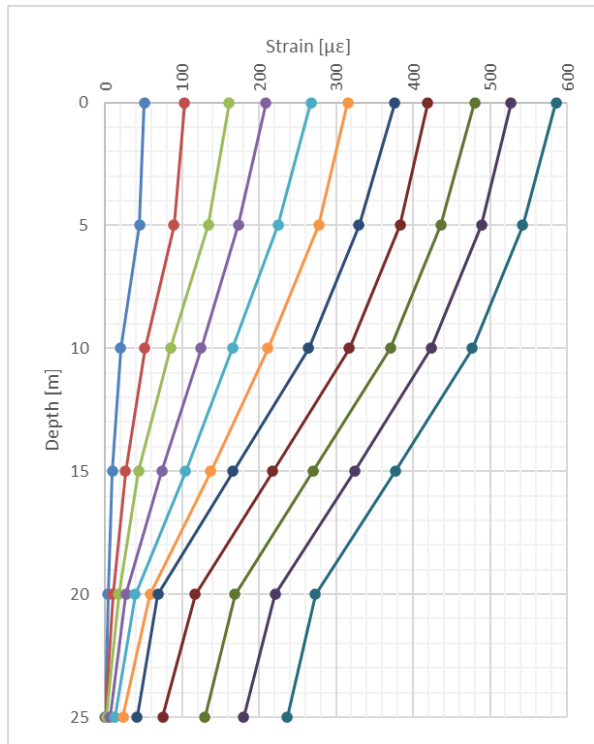
En general los pilotes se colocan en grupos.

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

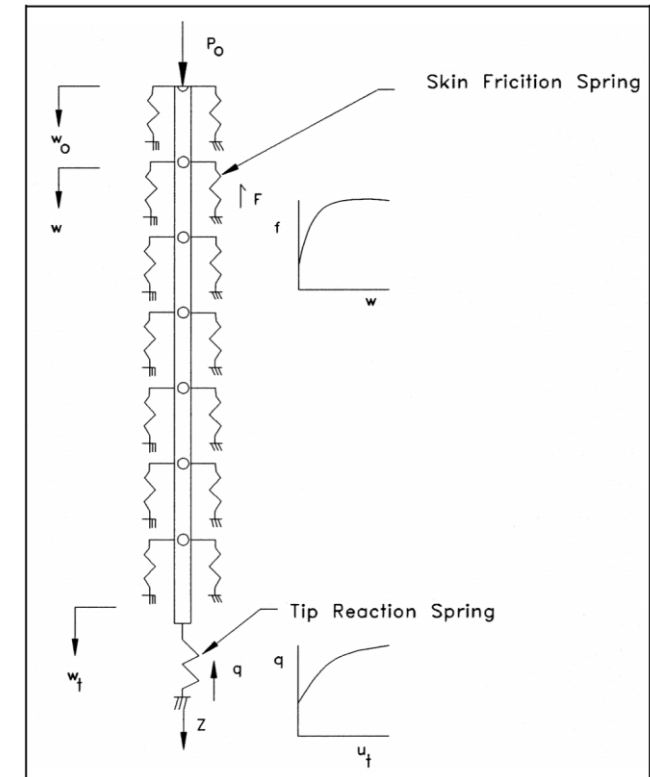
- El pilote toma cargas permanentes por fricción
- La reacción de la punta solo ocurre para cierto nivel de deformación (Función de la rigidez del pilote)



Fundaciones profundas

La velocidad a la que la carga en la cabeza del pilote se transfiere al terreno a lo largo del pilote y la deformación general del sistema dependen de numerosos factores

- Geometría, material y longitud del pilote;
- Tipo de terreno;
- Presencia de agua freática;
- **Método de instalación del pilote;**
- Presencia de tensiones residuales como resultado del método de instalación.



BPF [Bored Pile Foundation, caissons o drilled shafts]

(perforación con barra KELLY telescópica accionado por un convertidor de par BTM, método clásico de perforado para cualquier suelo)

CFA [Continuous Flight Auger]

(vuelo/barrena o hélice continua c/eje hueco)

FDP [Full Displacement Pile]

(pilotes de gran desplazamientos)

RCD [Rotary Core Drilling]

(de lodos)

PILOTINES []

(diámetro reducido)

MICROPILOTES []

(diámetro reducido e inyectado)

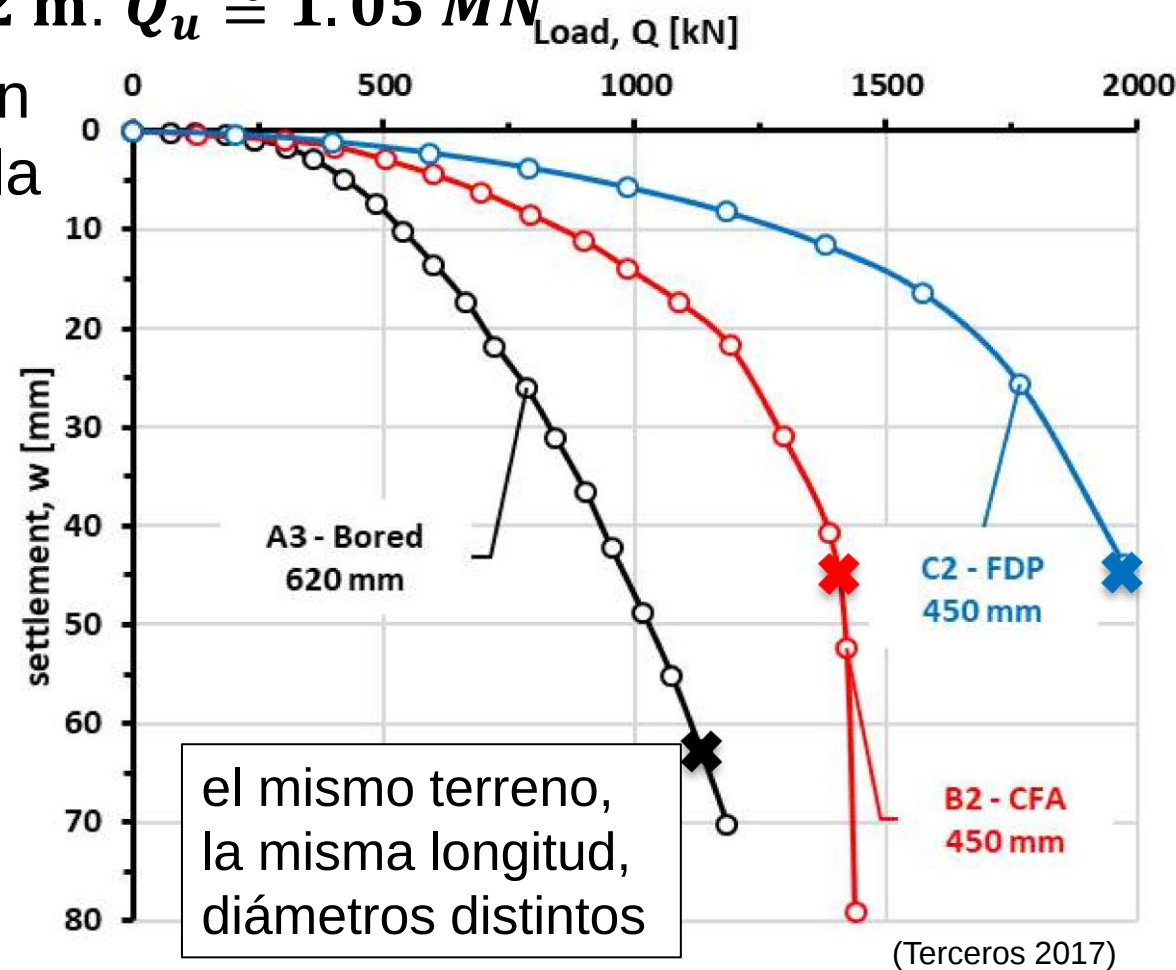
DSM [Deep-Soil Mixing]

(mezcla profunda de lodos, patente KELLER de pilotes de material mejorado tipo suelo-cemento)

El método constructivo controla la respuesta

Pilote perforado $\Phi = 0.62$ m: $Q_u \cong 1.05$ MN

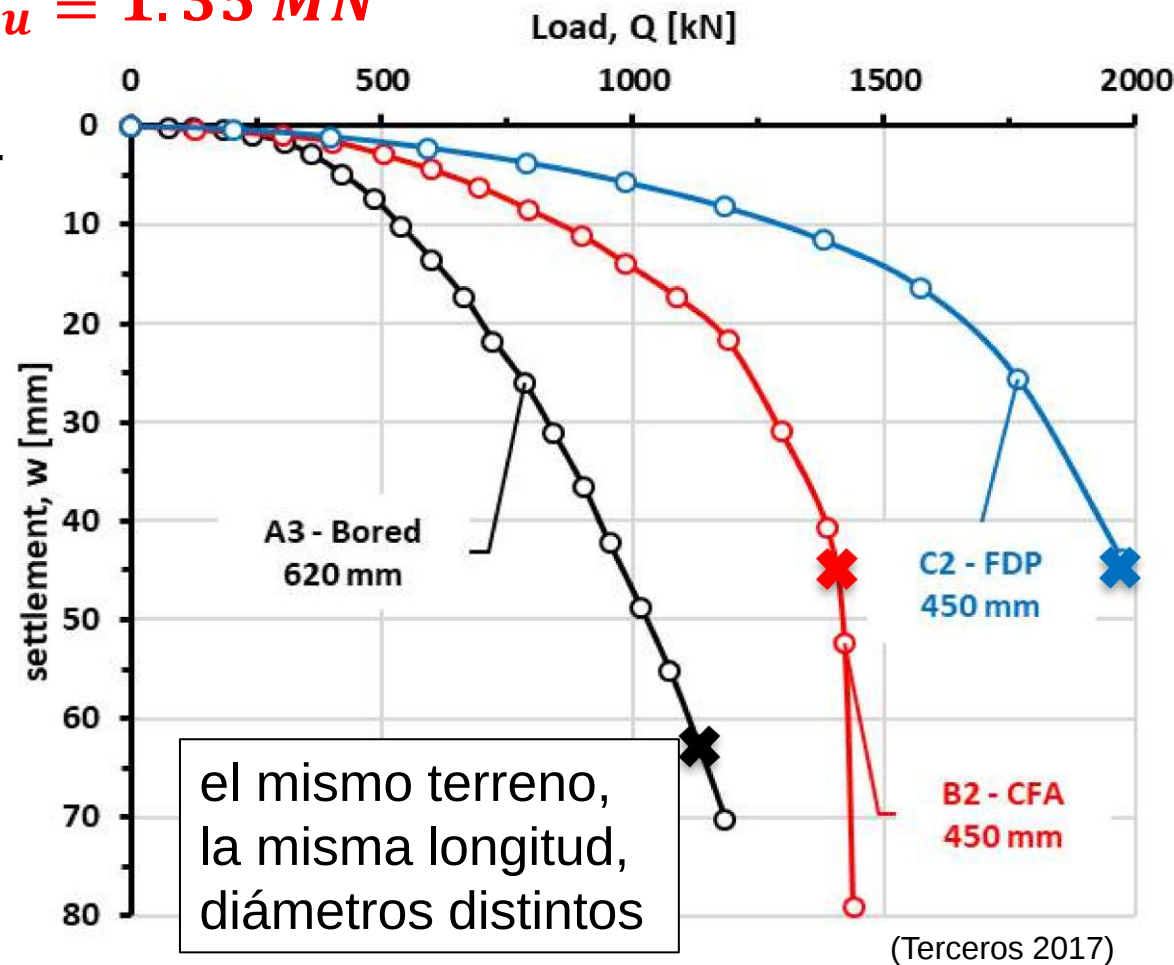
- Perforación relaja tensión del terreno en el fuste y la punta
- Excavación disturba el terreno bajo la punta



El método constructivo controla la respuesta

Pilote CFA $\Phi = 0.45$ m: $Q_u \cong 1.35$ MN

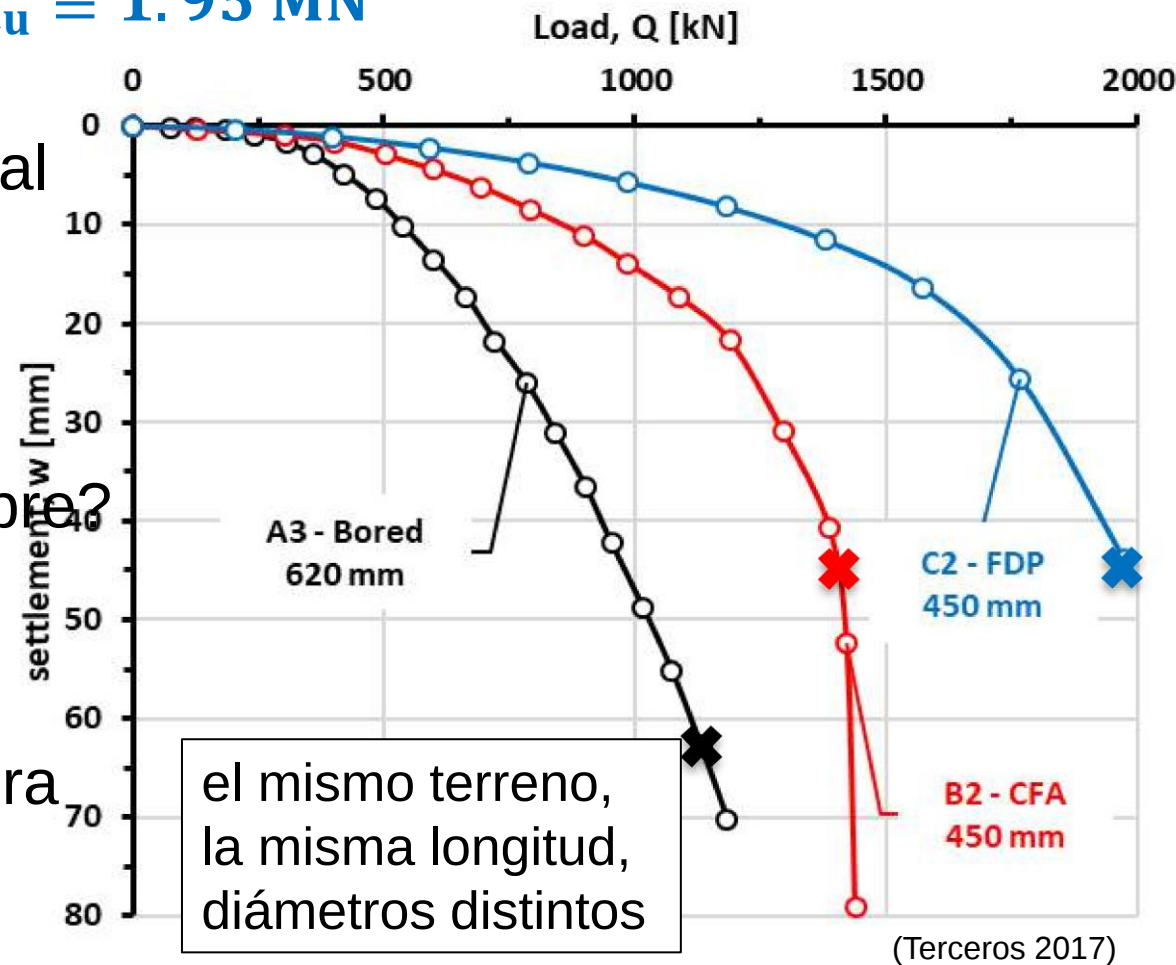
- Hélice se mantiene rellena con suelo: menor relajación de tensiones
- Excavación no disturba el terreno bajo la punta
- Extracción parcial del terreno: las tensiones horizontales se reducen: reduce la resistencia por el fuste



El método constructivo controla la respuesta

Pilote FDP $\Phi = 0.45$ m: $Q_u \cong 1.95$ MN

- No hay extracción: máxima tensión horizontal
- Excavación no disturba el terreno bajo la punta (punta queda cónica)
- ¿Porqué no usarlo siempre?
- Sólo pequeño diámetro
- Sólo suelo blando
- Hay que colocar armadura después de colocado el hormigón



El método constructivo controla la respuesta

Pilote FDP $\Phi = 0.45 \text{ m}$: $Q_u \cong 1.95 \text{ MN}$

- No hay extracción: máxima tensión horizontal
- Excavación no disturba el terreno bajo la punta (punta queda cónica)

¿Porqué no usarlo siempre?

- Sólo pequeño diámetro
- Sólo suelo blando
- Hay que colocar armadura después de colocado el hormigón

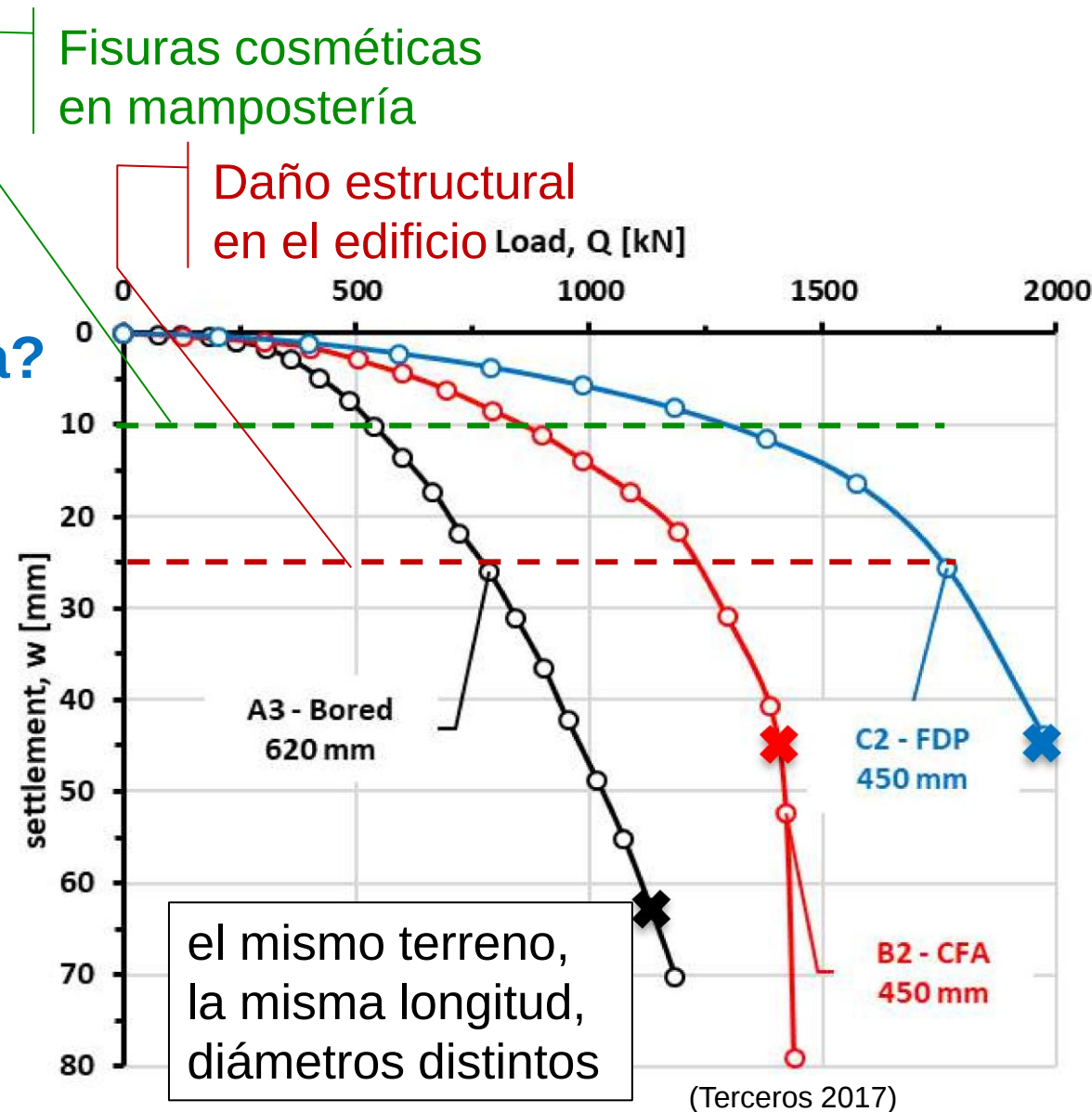


¿Existe el estado límite último de un pilote?

El estado límite último ¿es del pilote?, o ¿es de la superestructura?

- No hay deformación “catastrófica”
- Si el pilote se descarga recupera su “capacidad”

El “estado límite último” es de la superestructura

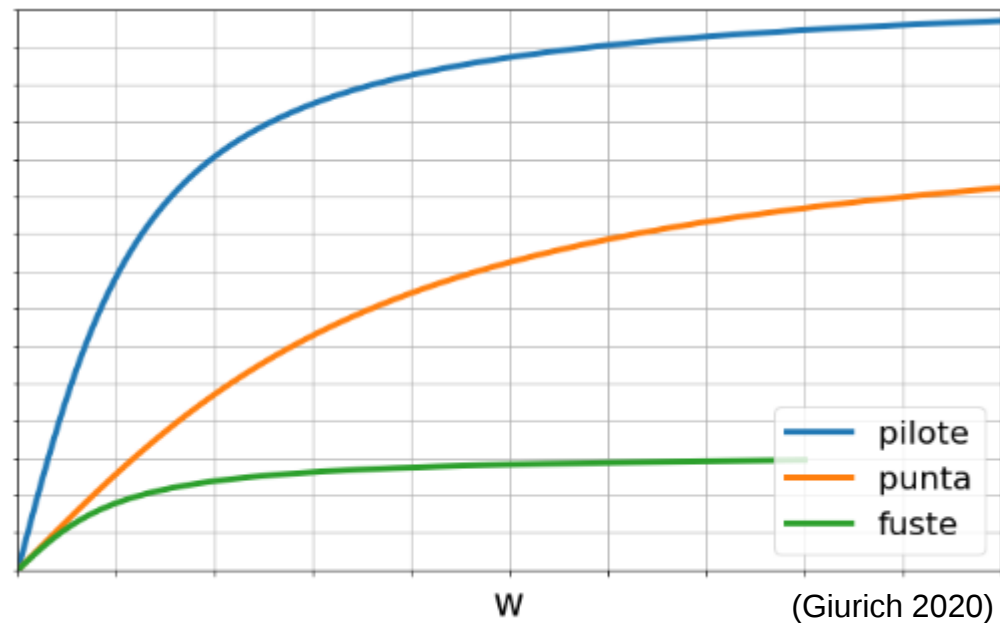


La idea: determinar la curva $P - \delta$ de diseño

Si ULS es de la superestructura y no del pilote:

Procedimiento para determinar la curva $P - \delta$

- Modelo de Duncan – Chang Δ



Esto permite que el estructuralista elija el asentamiento SLS y ULS de la superestructura y determine la carga de diseño

CLASIFICACION FUNDACIONES POR PILOTES

A) Por su material

madera
acero
hormigon. simple
hormigon armado
hormigon pretensado
mixtos
arena

B) Por su construccion- (pilotes de hormigon)

premoldeados en el lugar
en planta
con camisa perdida
in situ con camisa recuperable
perforados

C) Por su forma de colocacion

por desplazamiento (hincados+ *inyectados*)
por sustitucion (perforados o preperforados e hincados)

D) Por su forma de hincar

a golpes
a percusion
a vibracion
a esfuerzo continuo
en helice

E) Por su seccion

cuadrados
poligonales
circulares (peq. y gran diam.)
tubulares
en H

F) Por su funcionamiento

por punta
por friccion
por adherencia
mixtos

G) Por su direccion

verticales
inclinados

H) Por su cantidad

individuales
en grupo

I) Por su sollicitacion

compresion
traccion
flexion

J) Por su vinculacion

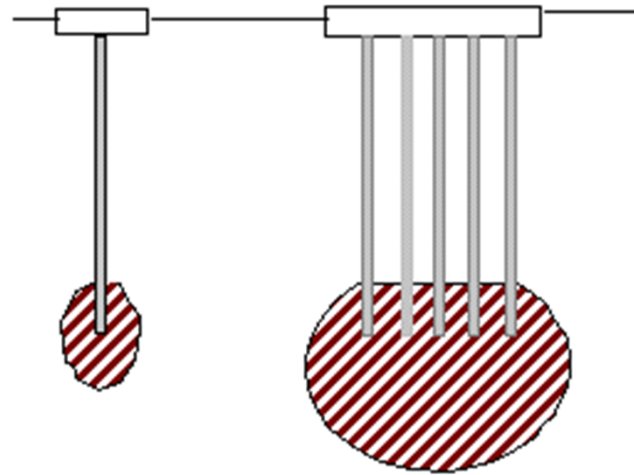
empotrados
apoyados
flotantes

K) Por su destino

fundacion de estructuras y recalces
compactacion de suelos
anclaje lateral y retencion
contencion de suelos
drenaje para consolidacion
proteccion
control



GRUPO DE PILOTES



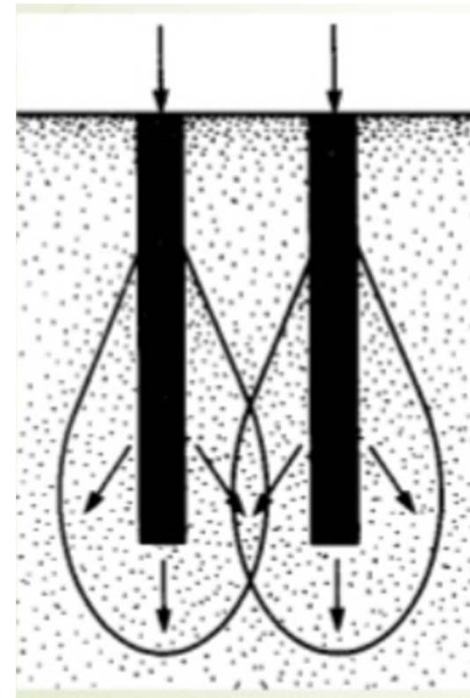
Bulbo de presiones: zona del terreno que se ve más afectado por la presencia de la cimentación y colabora en la capacidad portante del pilote y en su deformabilidad.

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.



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

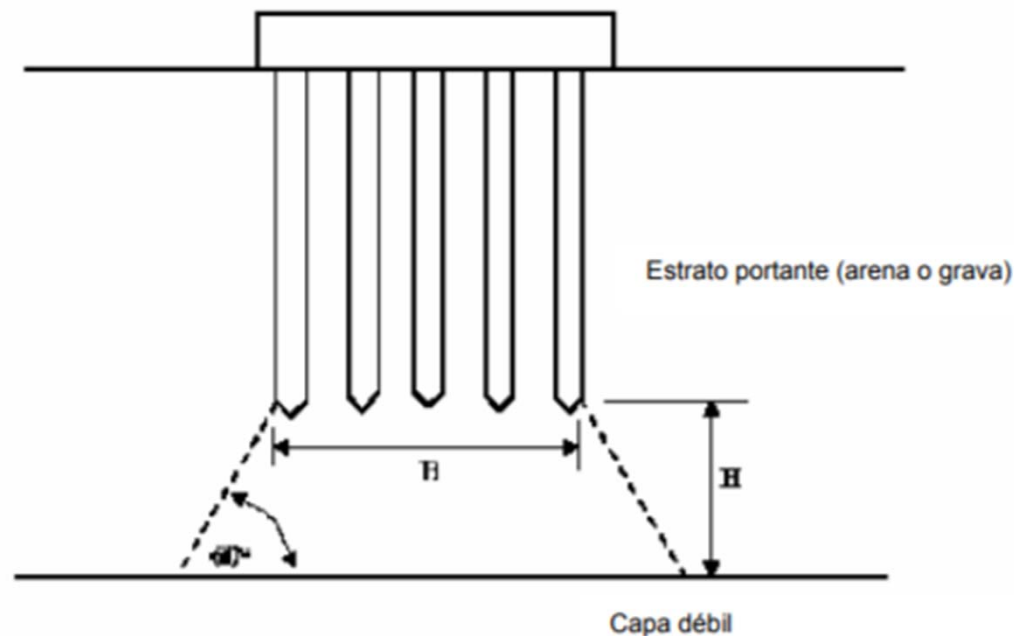


En los grupos, los pilotes se colocan en general, con separación entre ejes no inferior a 2,5 diámetro del pilote ni superior a 4 diámetro del pilote, para su funcionamiento en grupo.

Determinación de asentamientos:

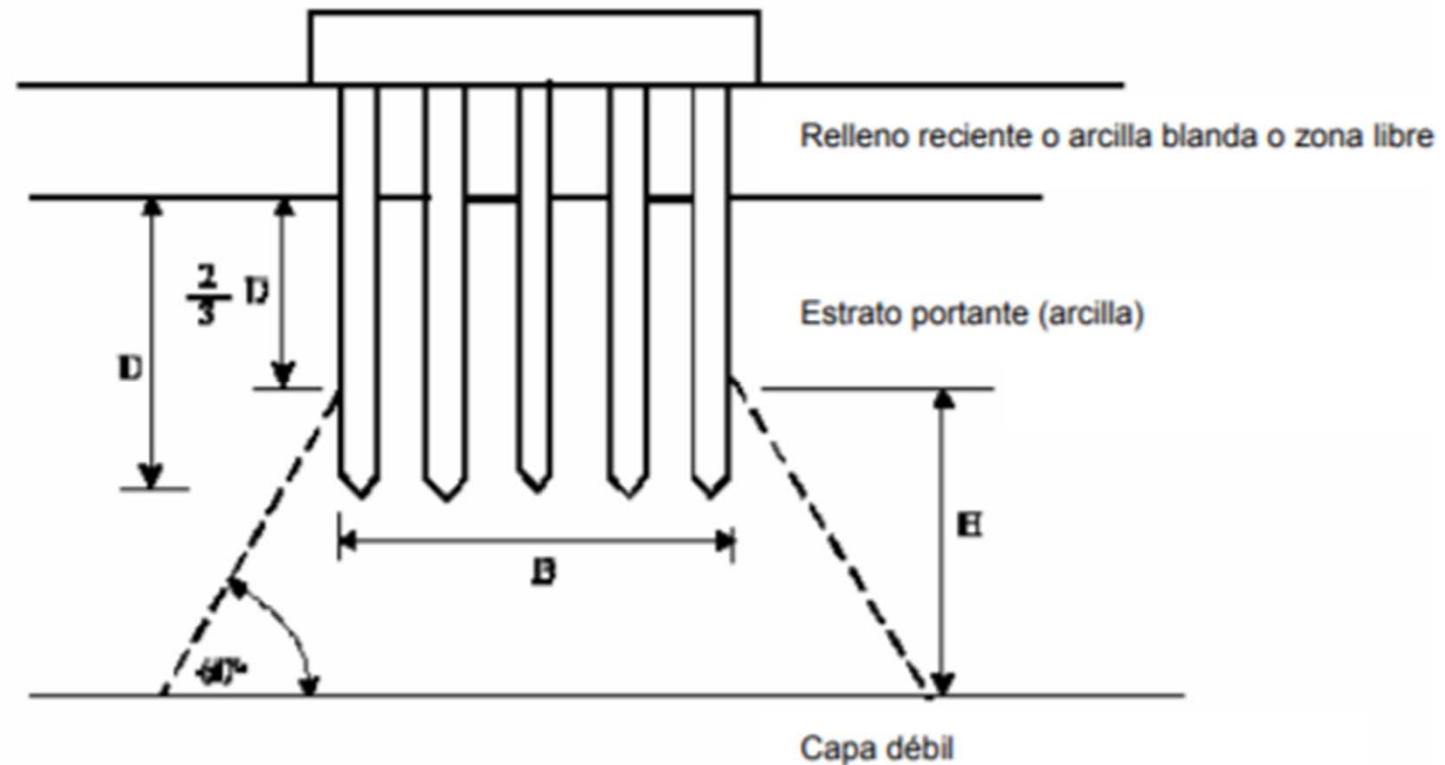
En general resultan difíciles de calcular.

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

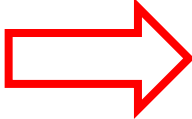


Suelos Granulares

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.

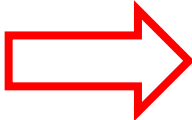

$$Q_{ug} \cong \sum Q_{ui}$$



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: $EG = 0.7$


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



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 $2,5 d$



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 disminuía. 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.



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

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

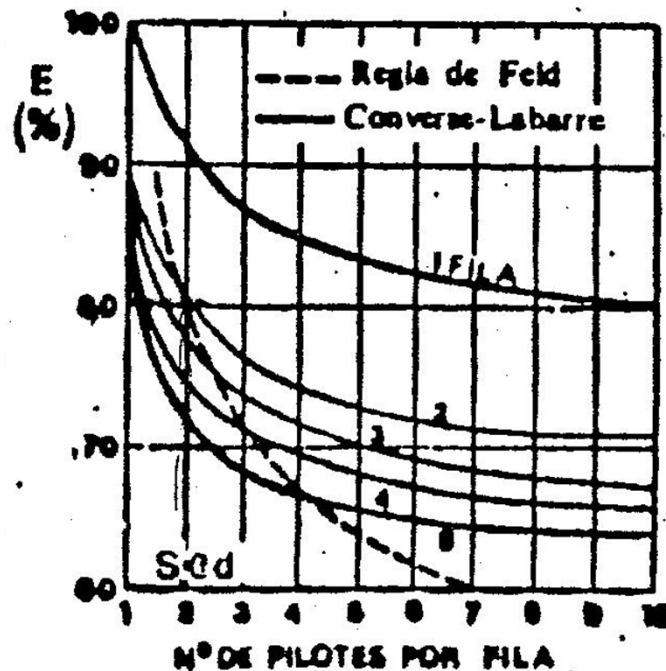
$$Q_{adm} = \frac{Q_{ug}}{3}$$

- 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.

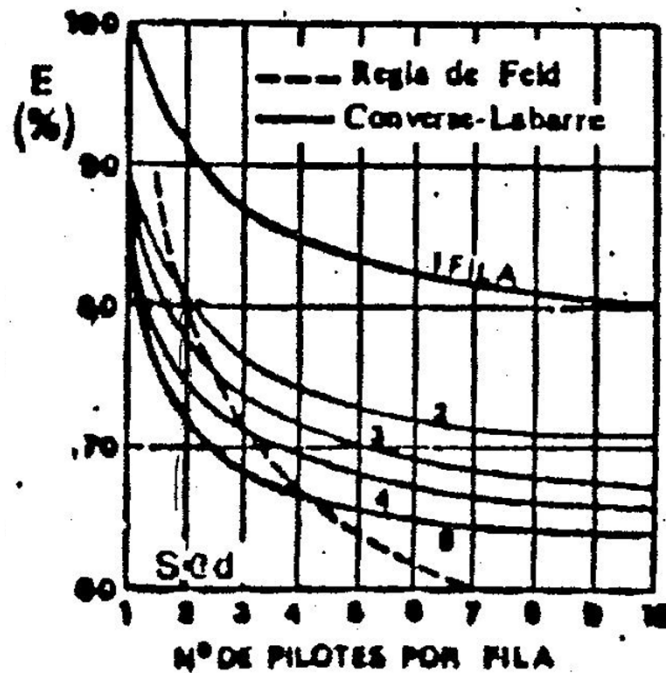


Curvas semiempíricas de eficiencia



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.

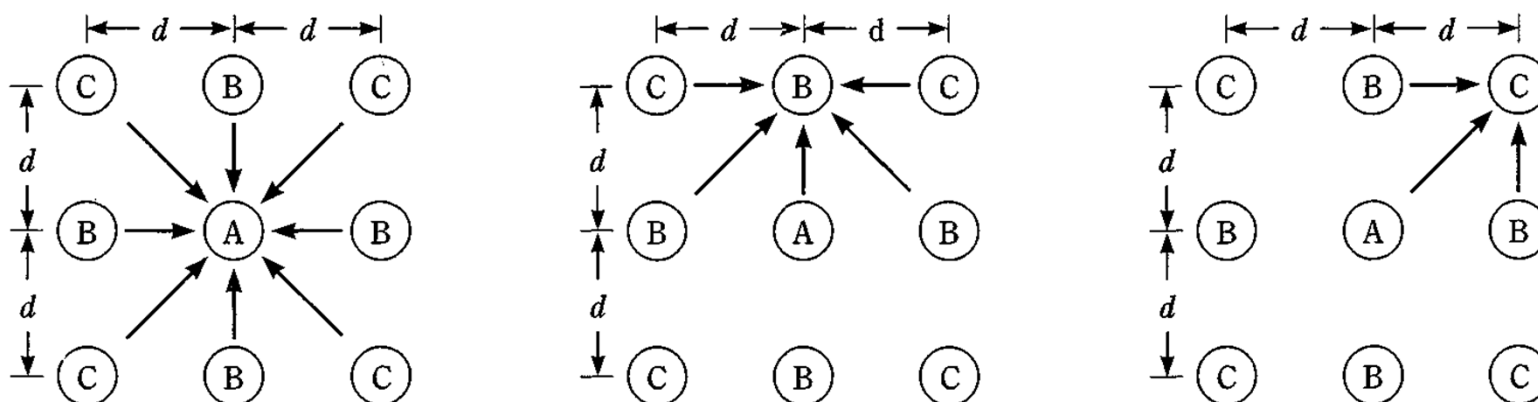


Curvas semiempíricas de eficiencia



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	Nº. 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:

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



Ecuaciones para la eficiencia de grupos de pilotes de fricción

Nombre	Écuación
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



Converse-Labarre

δ : factor que indica la cant.de diámetros de pilotes para obtener sepil

$$\delta := 3.0$$

$$nx_{low} := 1$$

$$ny_{low} := 1$$

$$nxn := 10$$

$$nx_{high} := 10$$

$$ny_{high} := 10$$

$$nyn := 10$$

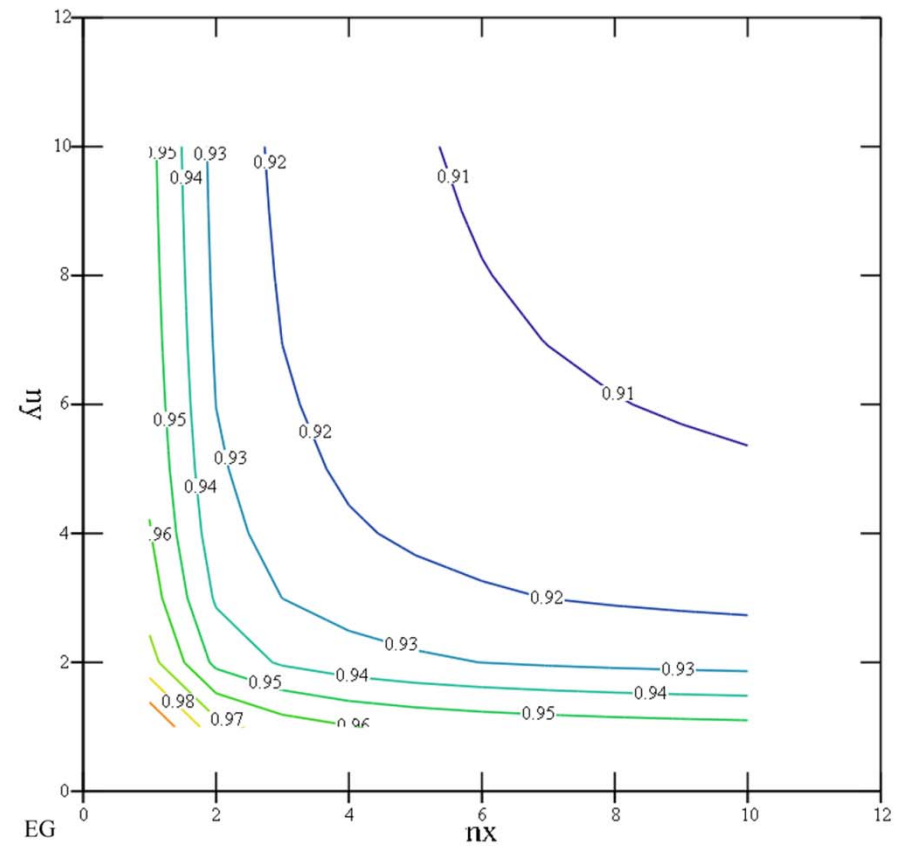
$$EG(nx, ny) := 1 - \left[\frac{(nx - 1) \cdot ny + (ny - 1) \cdot nx}{nx \cdot ny} \right] \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \text{acot}(2\delta)$$

$$EG(8, 8) = 0.908$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1$$

$$\text{asin}(1) = 0.5 \cdot \pi$$

EG := CreateMesh(EG, nxlow, nxhigh, nylow, nyhigh, nxn, nyn)





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.



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



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



TABLA
VALORES TIPICOS DE C_p SEGÚN VESIC (1975)

Tipo de suelo	Pilotes hincados	Pilotes con extraccion
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



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



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



Se necesita una unión entre los pilotes para que trabajen en conjunto.



Cabezales



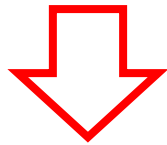
Elementos de transición donde se realiza la transferencia de cargas de los elementos portantes de la estructura a los pilotes.

Se trata de que sean suficientemente rígidos para que las cargas se distribuyan en el grupo de pilotes del modo más uniforme posible.





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:

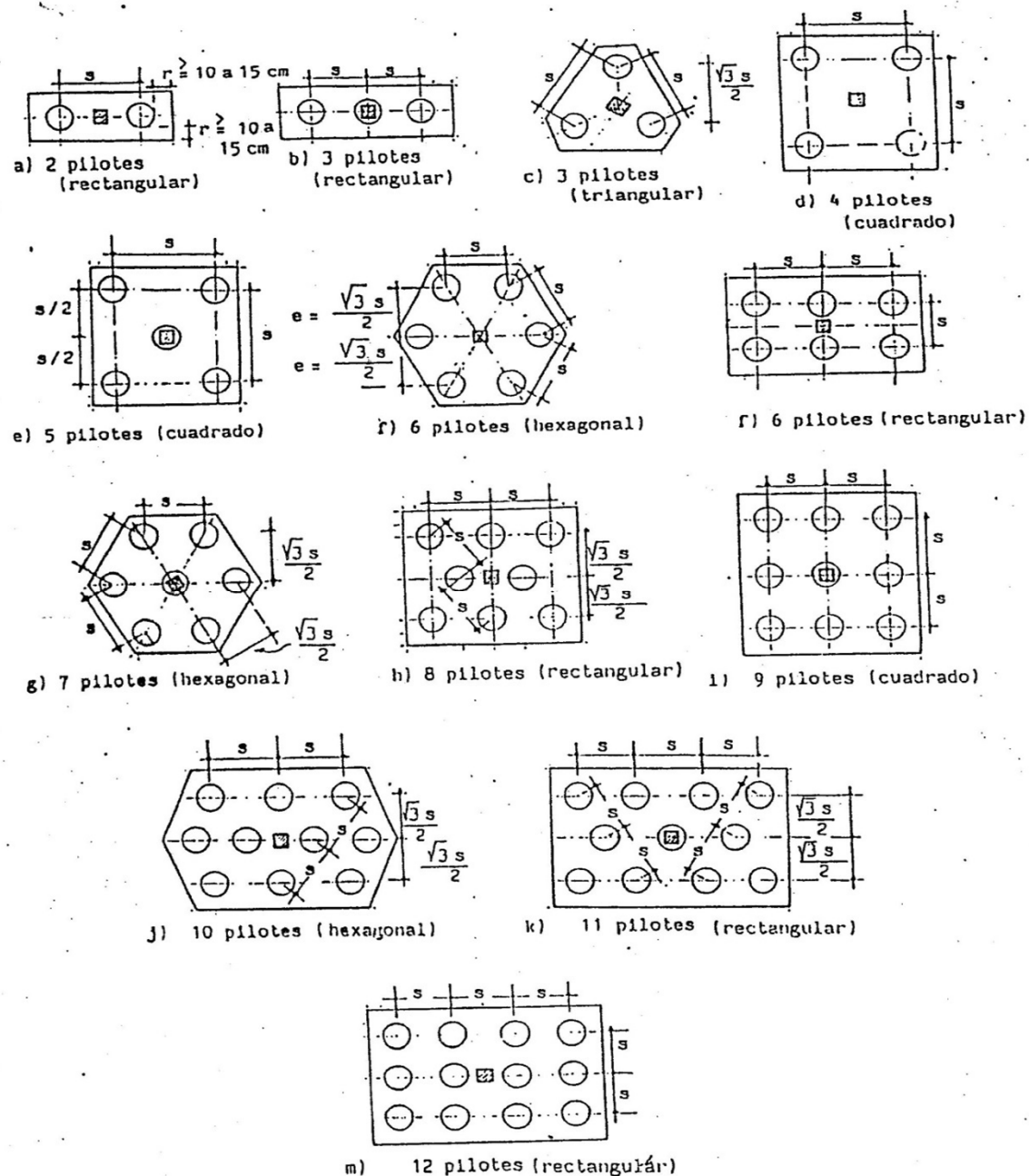
$$S \geq \begin{cases} 2,5 \text{ a } 3 D \\ 75 \text{ cm} \end{cases}$$

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

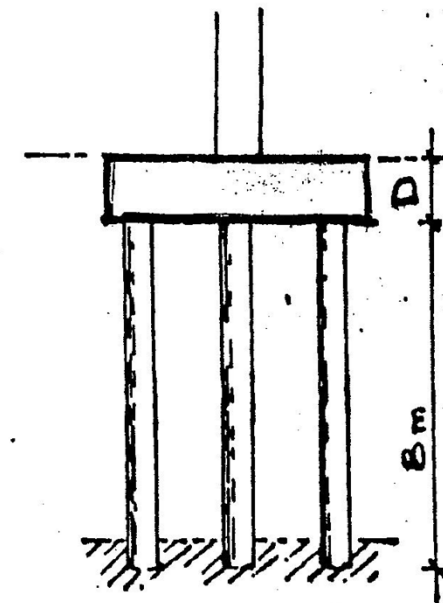
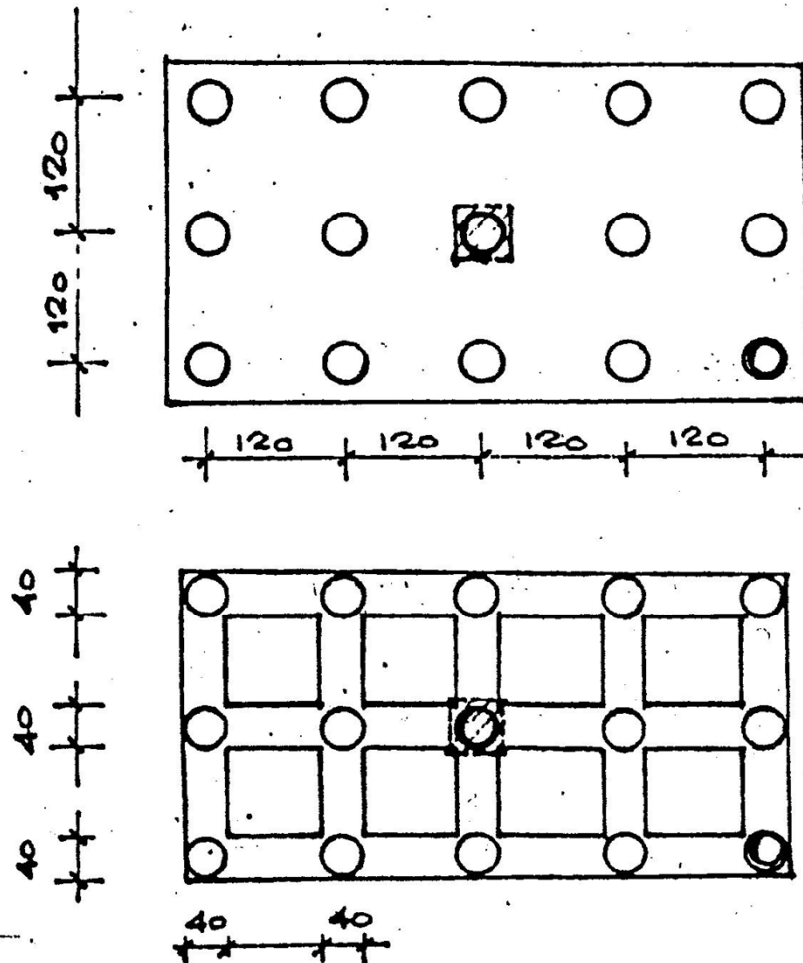
Cuando la carga P vertical transmitida por la columna coincide con el centro de gravedad de los n pilotes agrupados bajo un cabezal rígido, puede admitirse que cada pilote recibe una carga:

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

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.





Pilotes $H = 10\text{ m}$ $\phi = 40\text{ cm}$ $L = 8.00\text{ m}$ $K = \frac{EF}{L}$

Columna central.

CABEZAL MACIZO :

$S = 3\phi = 120\text{ cm}$ D variable

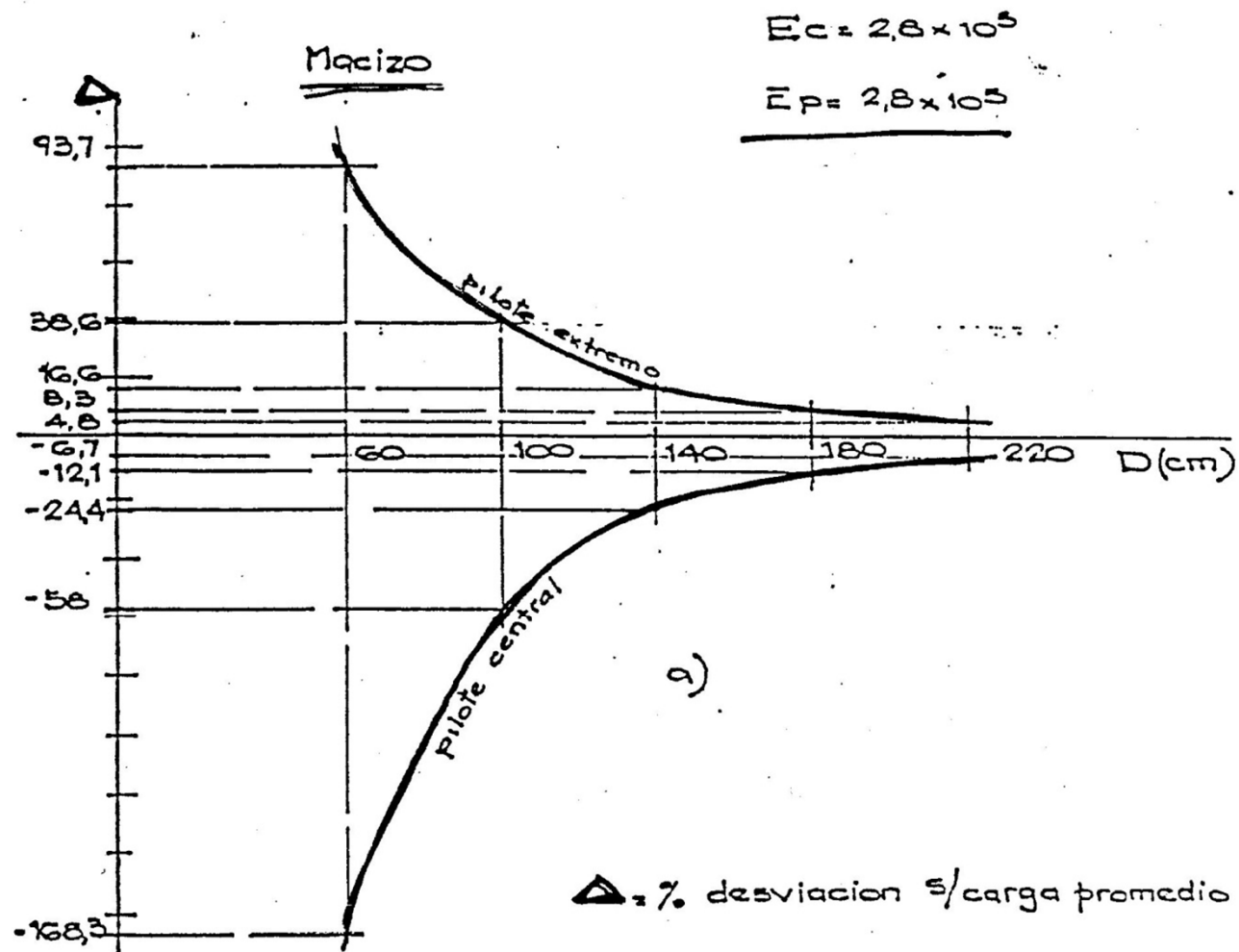
EMPARRILLADO DE VIGAS :

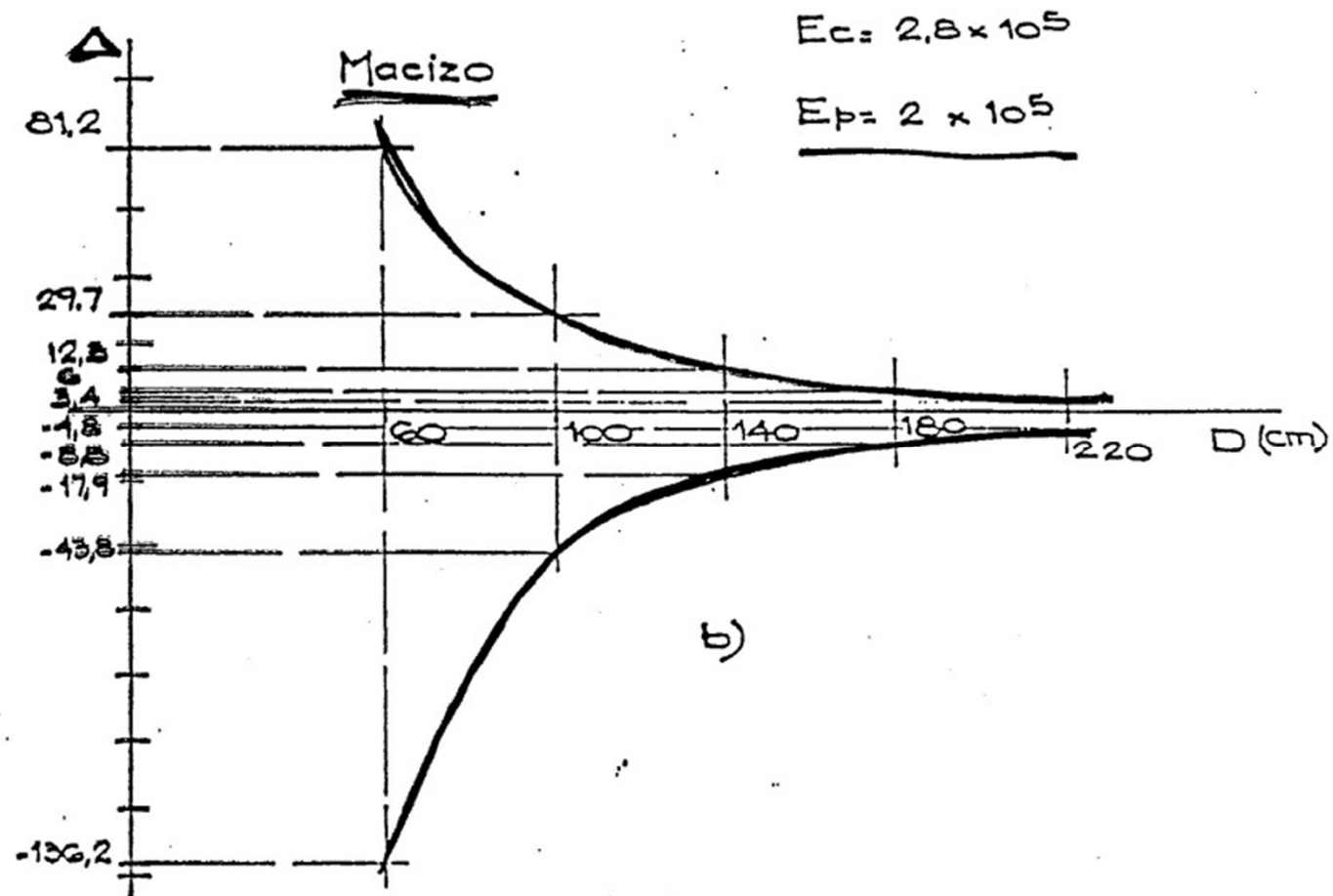
$S = 120\text{ cm}$ $b = 40\text{ cm}$ D variable

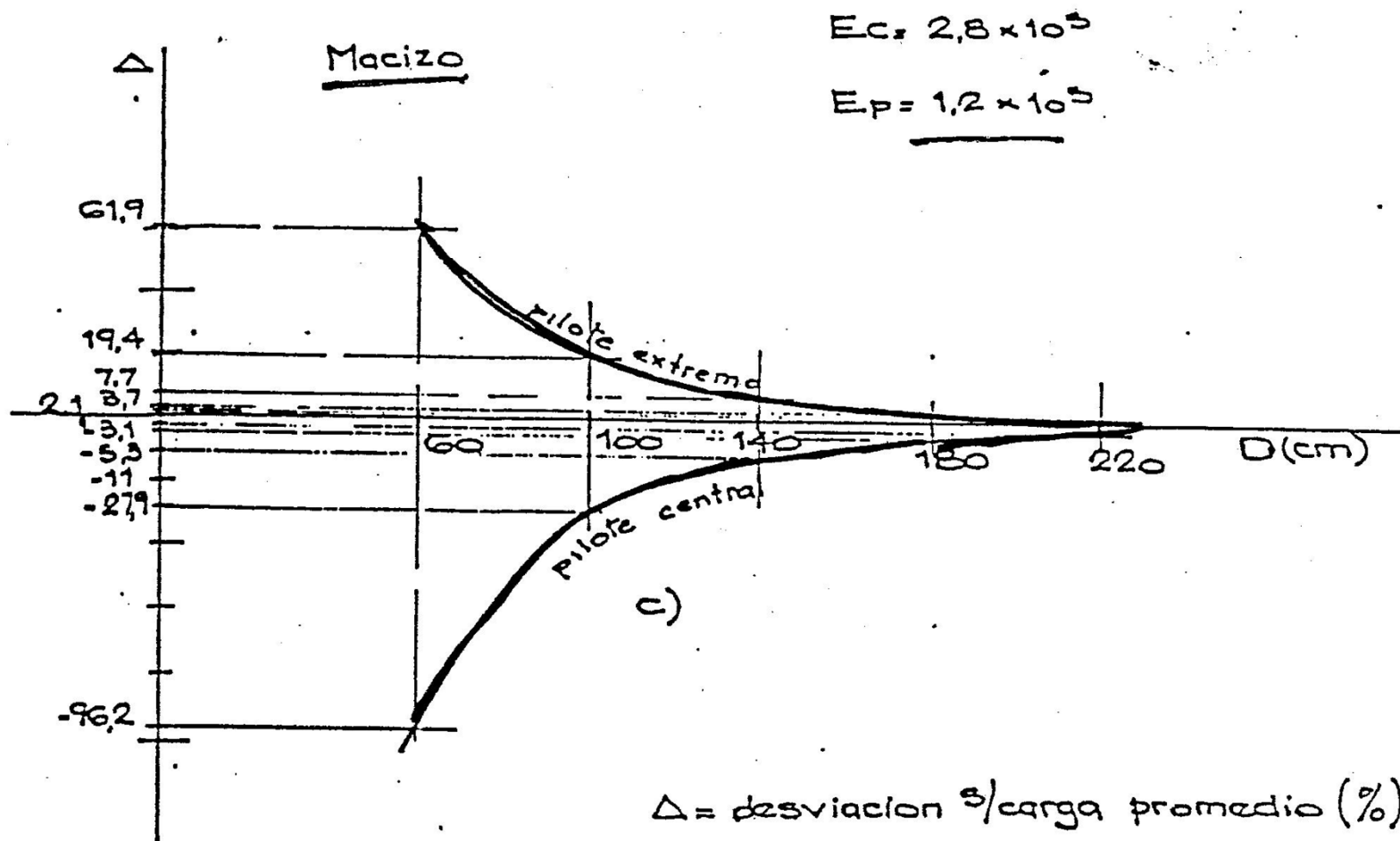
$E_b = \text{cte}$ en cabezal y emparrillado

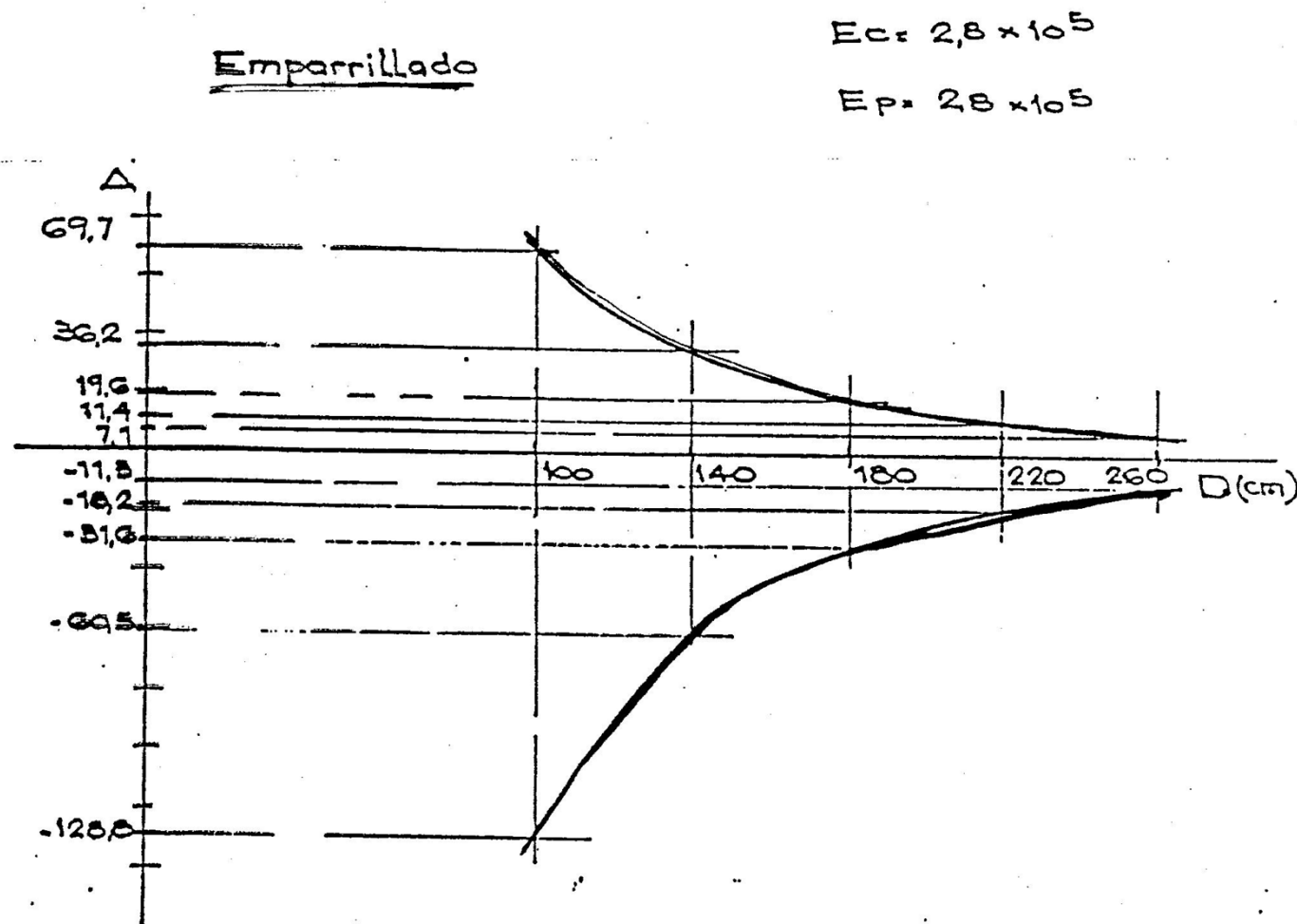
DIN 1045 - CIRSOC 201 : $\sigma_{bk} = 170\text{ kg/cm}^2$ $E_b = 280,000\text{ kg/cm}^2$

$E_b = \text{variable}$ en pilotes para cabezal macizo













FIN

GRACIAS POR SU ATENCION !!!