

# COMPORTAMIENTO DE PILOTES *IN SITU* CONSTRUIDOS EN DISTINTOS TERRENOS

Por SALVADOR MONTAGUT CUADRAT y JOSE HERNANDO REQUEJO,  
Ingenieros de Caminos.

*Se describen en el presente artículo cuatro pruebas de carga de pilotes "in situ", realizadas en distintos terrenos, que aportan muy interesantes datos para el estudio de cimentaciones profundas, ya que permiten adaptar los coeficientes generales a un tipo particular de pilote, obteniéndose mayor aproximación en el cálculo.*

Exponemos a continuación los resultados obtenidos en cuatro pruebas de carga de pilotes realizadas en distintos terrenos, con la creencia de que tales resultados experimentales pueden, en algunos casos, servir de orientación en el proyecto de cimentaciones profundas. Dos de ellas se realizaron en el año 1948, y se refieren a pilotes de la cimentación construída en Avilés para la factoría de "Siderúrgica Asturiana, S. A.", situada en las inmediaciones de la margen izquierda de la ría.

Las otras dos pruebas forman parte de un grupo de cuatro que se hicieron en el año 1953, con motivo de construir la cimentación de las nuevas naves de calderería de la Maquinista Terrestre y Marítima, S. A., en San Andrés (Barcelona). De estos cuatro pilotes probados, tres atravesaban una capa de arcilla y apoyaban su punta en arenas; el cuarto no llegaba a las arenas, que quedaron a unos 5 m. de su punta. Las dos pruebas que exponemos se refieren a este último y a uno de los tres primeros.

## Características del terreno.

PILOTES I Y 10. — Construídos en Avilés. Atravesan una capa de arena prácticamente indefinida a efectos de pilotaje. La cota del nivel freático, variable con la distancia a la ría y las mareas, es del orden de  $-2,00$  m.

El pilote 10 tiene la particularidad de que está construído en una zona donde los 2,35 primeros metros hormigonados están rodeados de arenas vertidas para rellenar la excavación que existía unos quince días antes de construir el pilote. Las arenas vertidas son de la misma calidad que las del terreno natural. El análisis granulométrico de las arenas da la siguiente composición, variable con la profundidad, desde la cabeza a la base del pilote, dentro de los límites siguientes:

Arenas medianas ...	( $0,2 < D < 0,6$ mm.)	de 37 al 50 %
» finas .....	( $0,06 < D < 0,2$ mm.)	de 62 al 44 %
Limos .....		0,5 %

En las capas profundas se encuentra cierta cantidad de conchas, que en algunos casos llega al 4 % en peso.

PILOTES 28-A y 3-A. — Construídos en San Andrés (Barcelona), en terreno arcilloso de las siguientes características:

*Contenido en agua:* Variable entre 17 y 35 %, con un valor medio de 25,4 %.

*Límites de Atterberg:* El límite líquido oscila entre 30 y 50. El índice de plasticidad, entre 20 y 30.

En la clasificación de A. Casagrande corresponde a este terreno la denominación de arcilla inorgánica de plasticidad media.

La punta del pilote 28-A queda a unos 5,00 m. encima de las arenas.

El 3-A apoya en ellas.

## Características de los pilotes.

Los pilotes fueron construídos por el sistema Capblanch, hormigonándolos en seco y apisonando el hormigón, de consistencia seca, contra el terreno, que actúa como molde.

PILOTE 10. — Forma parte de un grupo de 25, distanciados 1,30 m. entre ejes, sobre el que apoya la chimenea de la factoría. Diámetro de cálculo, 0,50.

PILOTE I. — Es un pilote aislado, construído en las inmediaciones del puente-grúa, pero de modo que las pruebas realizadas en él no interrumpieran la marcha de las obras. Se construyó exclusivamente para realizar una prueba de carga más completa que la del pilote 10. Diámetro de cálculo, 0,50.

PILOTE 28-A. — Forma parte de un grupo de dos pilotes, separados 2,10 m. entre ejes. Diámetro de cálculo, 0,70.

PILOTE 3-A. — Forma parte de un grupo de 16 pilotes, también separados 2,10 m. entre ejes. Diámetro de cálculo, 0,70.

Los pilotes 10, 28-A y 3-A fueron señalados para las pruebas por la Dirección facultativa de las obras correspondientes.

### Descripción general de las pruebas de carga y descarga.

La carga se realizó colocando carriles y perfiles sobre una losa tronco-piramidal construida sobre la cabeza del pilote.

Para medir los asientos se dispusieron en todos los casos tres flexímetros "ICON", aplicados a la plataforma de carga, a la altura de su tercio inferior,

y colocados en planta a 120°. En la prueba de los pilotes 1 y 10 se dispuso un cuarto flexímetro aplicado al fuste del pilote. La media de las lecturas realizadas se aceptó en cada caso como el asiento producido.

En la prueba del pilote 3-A se comprobaron los asientos finales mediante nivelación.

Los flexímetros apoyaban en un bastidor metálico triangular, soportado en sus tres vértices por vigue-

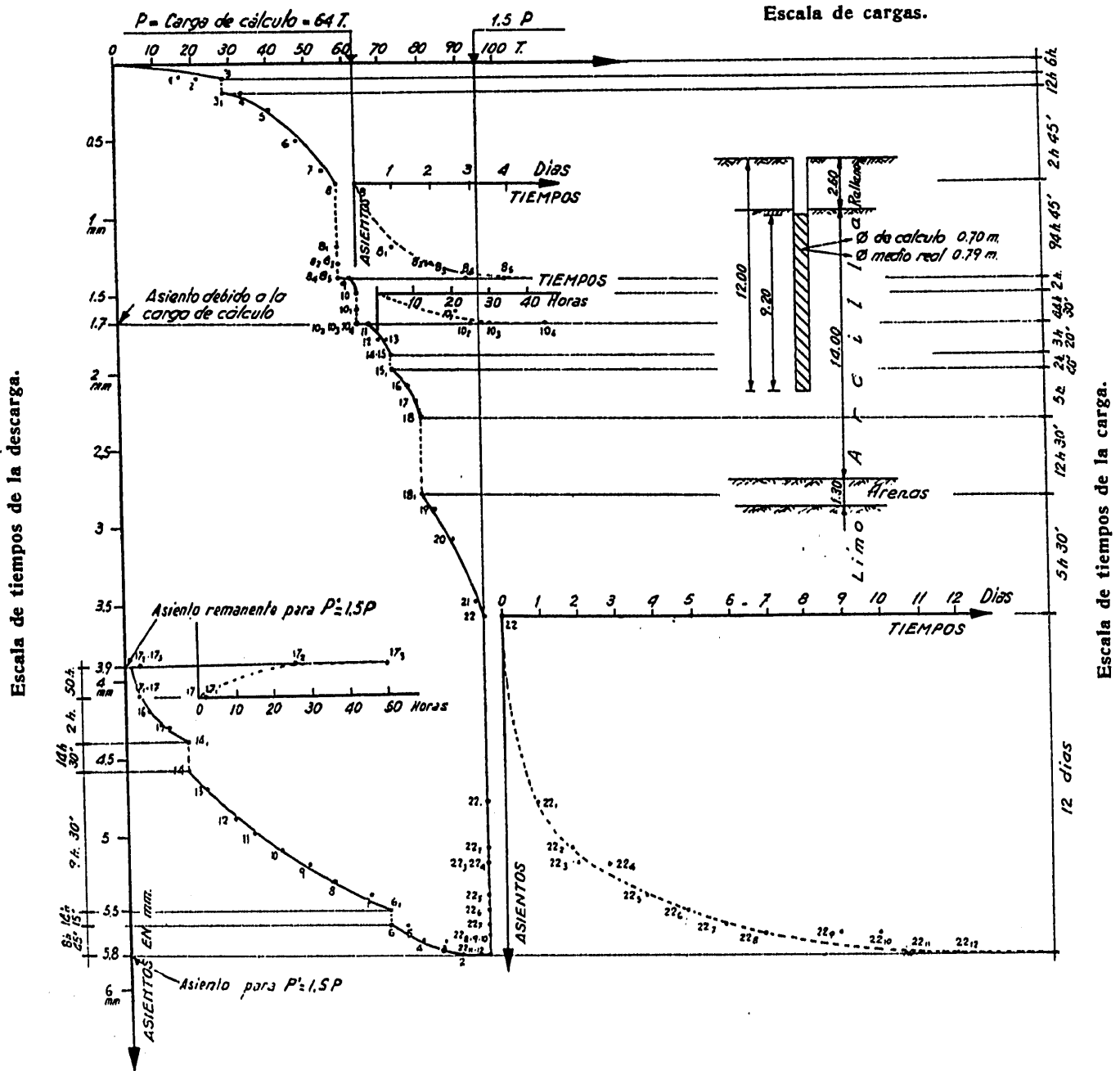


Gráfico num. 1. — Pilote 28-A.



al terreno, más el acortamiento del pilote, ya que éste no es fácil de calcular al no ser bien conocido el reparto de la resistencia entre la punta y el fuste, y de la debida a éste, su distribución a lo largo de su longitud.

para cada pilote, ya que 1 cm. representa 1/10 p toneladas.

### Cuadros y gráficos representados.

Los resultados de las pruebas de carga se recogen en los gráficos 1 al 5.

En los gráficos 1 al 4 se indican, para la carga y descarga, los asientos correspondientes a distintas capas, y para una misma carga, los correspondientes a distintos tiempos. A la derecha de la vertical que contiene asientos distintos debidos a una misma carga, se ha dibujado la ley de asientos-tiempo correspondiente.

El gráfico núm. 5 reúne las curvas de asientos de los cuatro pilotes. La escala de cargas es distinta

Pilote	$p =$ carga de cálculo
1	43 Tn.
10	43 »
28-A	64 »
3-A	97 »

### Comentario.

Llamamos carga de cálculo a la que se obtiene aplicando la fórmula de Dörr, con los coeficientes que él aconseja según el tipo de terreno.

Para estimar el acierto del valor dado por la fórmula anterior, es preciso disponer de un criterio que defina el coeficiente de seguridad de la cimentación

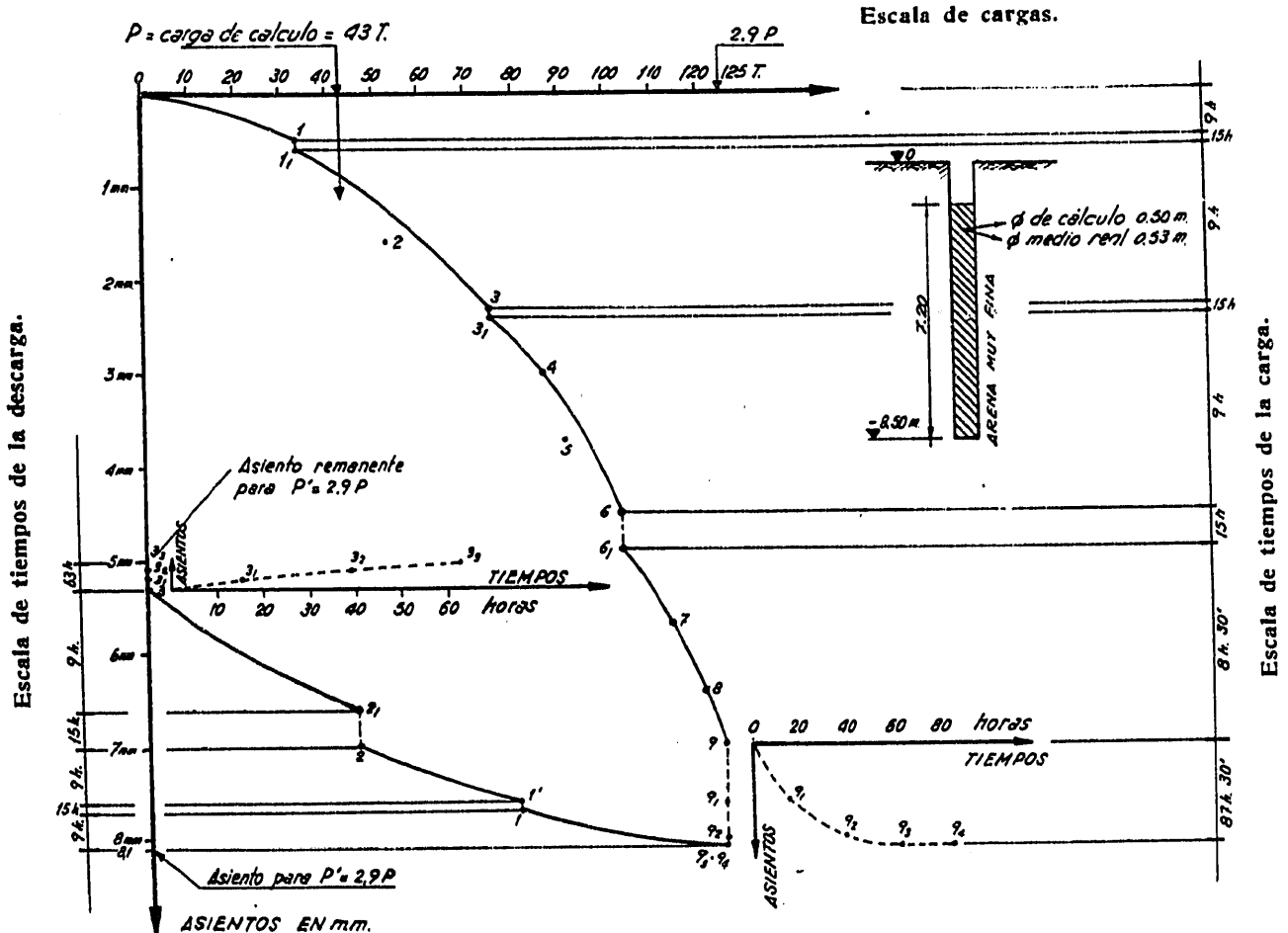
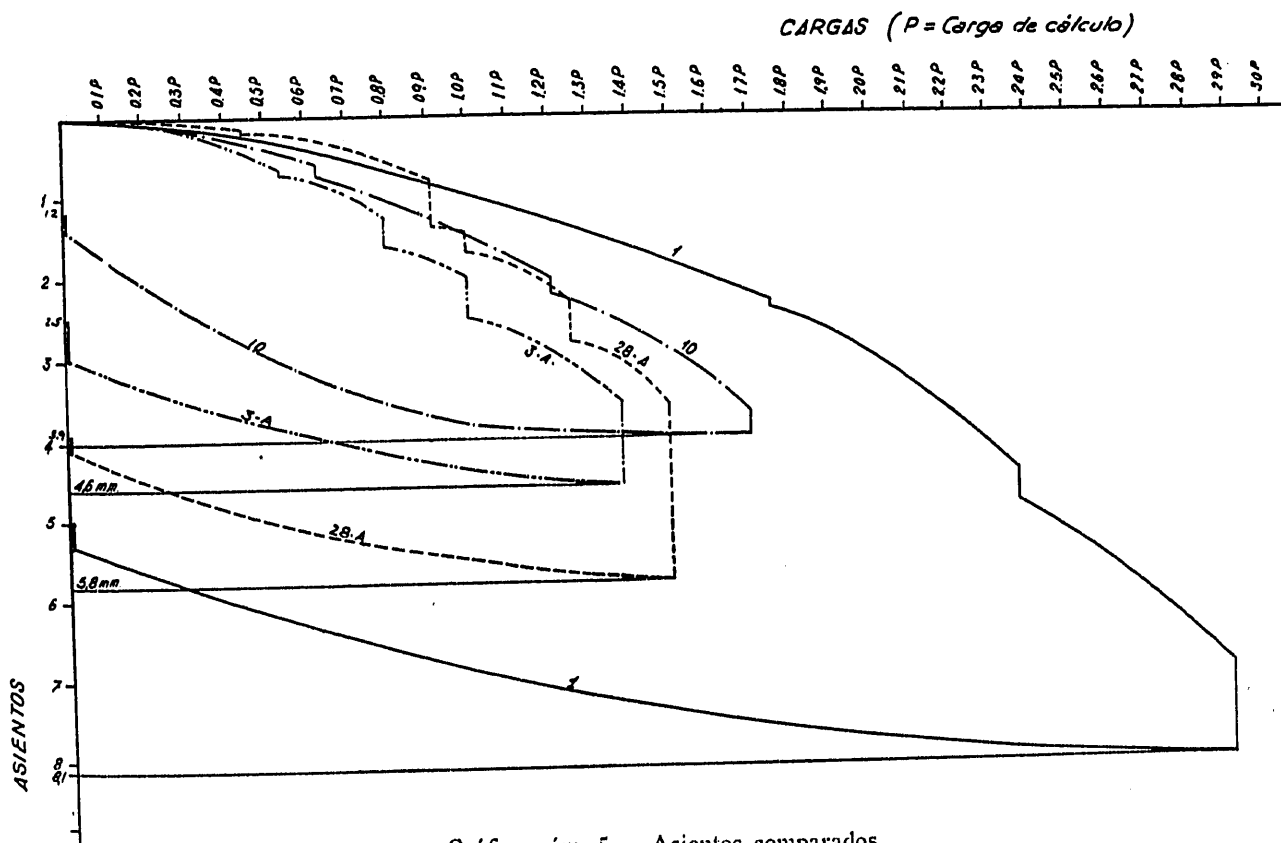
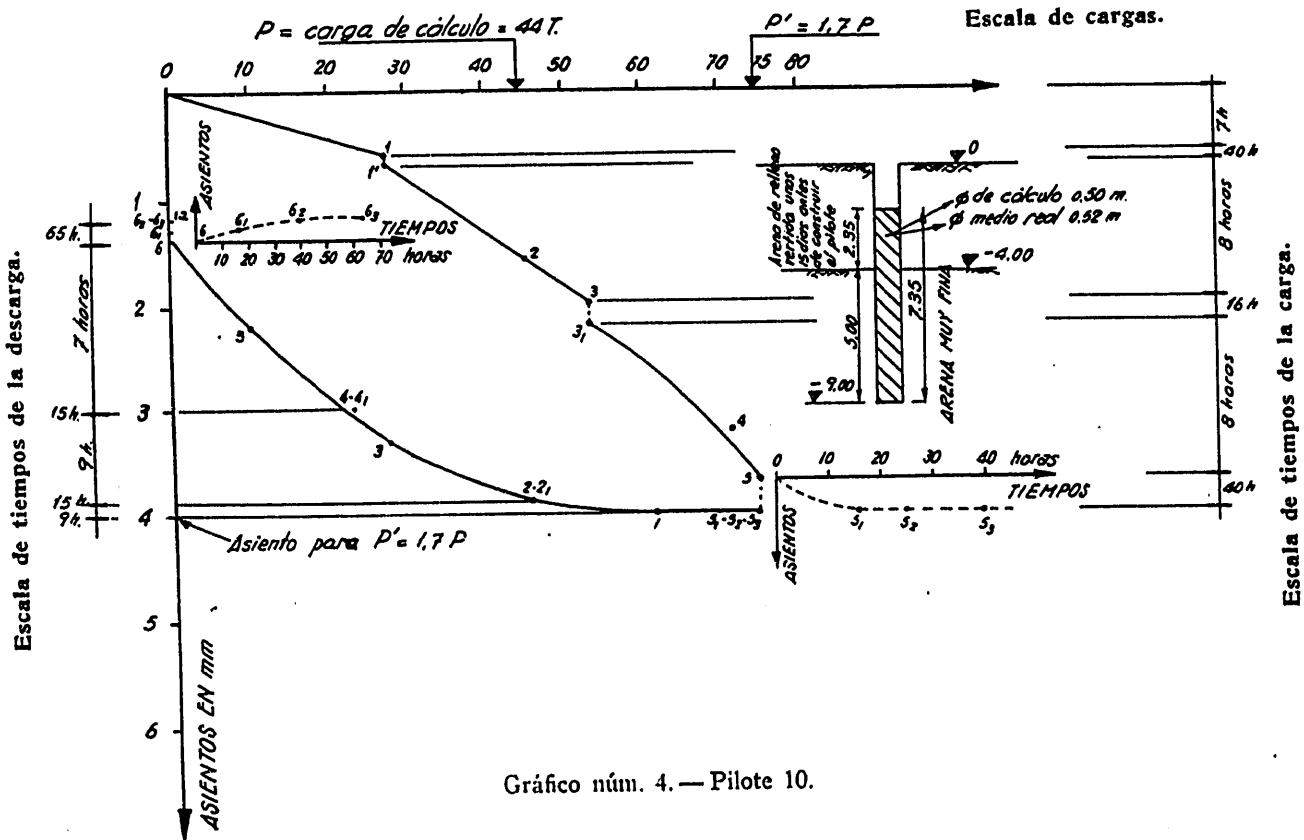


Gráfico núm. 3. — Pilote 1.



proyectada. Se suele considerar que es aceptable cuando en las pruebas de carga de los pilotes se cumple lo especificado en ciertas normas. Por ejemplo, el Código de Boston dice: "La carga admisible no excederá de la mitad de la que produzca un asiento total de 12 mm., que permanezca constante durante cuarenta y ocho horas"; la American Association of State Highway Officials señala que "la carga admisible será el 50 % de la que produzca un asiento remanente de 1/4" (6,35 mm.). Si la cimentación cumple estas normas, casi puede asegurarse que, cualquiera que sea la estructura, los asientos que puedan producirse no la dañarán. Con un estudio especial de los asientos que puede admitir la estructura, se llega, en muchos casos, a una solución más económica de la cimentación.

En las pruebas que comentamos no se pudo llegar, en el caso del pilote 10, a alcanzar una carga doble de la de cálculo; tampoco en el pilote 1 se llegó a cargarlo de modo que el asiento total fuese 12 mm., ó 6,35 mm. el remanente. A pesar de esto, aparece claro que, en el caso de las arenas que forman el terreno donde se construyeron los pilotes 1 y 10, la fórmula de Dörr da, para los pilotes experimentados, valores más bajos que los que admiten las normas citadas. Esta realidad, que hemos podido comprobar en otras pruebas realizadas, nos ha llevado a admitir, en terrenos formados por arenas limpias, y para ciertas estructuras, cargas de 75 Tn. para pilotes de 50 cm. de diámetro y 8,00 m. de longitud útil, con la seguridad de que se cumplen las normas aludidas. La carga admitida para mayores longitudes útiles viene limitada en estos terrenos por la conveniencia de no superar una cierta carga de trabajo en el hormigón de la cabeza del pilote.

En los terrenos arcillosos donde se construyeron los 28-A y 3-A, deducimos de los resultados obtenidos que, de haber podido llegar hasta cargas dobles de las de cálculo, estas cargas  $2p$  habrían producido asientos inferiores a los límites fijados en las normas anteriores.

Esto y la poca importancia de los asientos obtenidos para la carga  $p$ , nos inclina a considerar que la fórmula de Dörr da para este tipo de terreno cargas de cálculo convenientemente seguras.

Tanto la fórmula de Dörr como la de Caquot-Maier, Caquot-Kerissel, etc., tienen simplemente, y así lo especifican sus autores, un valor de orientación, no sólo por la dificultad de determinar el comportamiento del terreno, sino de incluir en la fórmula el comportamiento característico del tipo de pilote empleado.

La fijación de la carga admisible ha de darla la prueba de carga interpretada de acuerdo con un criterio determinado, que puede ser el de las normas citadas u otro cualquiera, establecido como consecuencia de un estudio conjunto de la estructura y de la cimentación.

Con repetidas pruebas de carga de un mismo tipo de pilote en distintos terrenos, se pueden rectificar los coeficientes que los diversos autores señalan para sus fórmulas, haciendo intervenir no sólo el concepto terreno, sino el de terreno-pilote, ya que la capacidad de una cimentación depende del terreno y del tipo de pilote.

De esta manera, con las diversas pruebas realizadas, hemos podido adaptar los coeficientes generales a un tipo particular de pilote, obteniendo con ello una mayor aproximación en el cálculo de las cimentaciones.