



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**Instituto  
De  
Ingeniería**

**88**

Estudio de campo sobre pilotes de  
concreto reforzado

Daniel Resendiz

Enero de 1964

**88**

# Estudio de campo sobre pilotes de concreto reforzado

Daniel RESENDIZ \*

## INTRODUCCION Y FINALIDAD

Se presentan en este trabajo los resultados de pruebas de campo realizadas con el patrocinio del Banco Nacional Hipotecario Urbano y de Obras Públicas, en seis pilotes de concreto reforzado de tres tipos diferentes, hincados en la zona del lago de la Ciudad de México. Se reportan además los resultados de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas de los suelos del lugar y se analiza el comportamiento de los diferentes tipos de pilotes en términos de sus características estructurales y de las propiedades mecánicas de los suelos en que fueron hincados.

Teniendo en cuenta que los procedimientos usuales en el diseño de pilotes pueden conducir a soluciones antieconómicas debido a la dificultad de evaluación racional de la distribución de esfuerzos a lo largo de un pilote, el presente estudio se enfocó principalmente hacia los siguientes objetivos.

1. Investigación de la distribución de esfuerzos producidos en distintas secciones del pilote por cargas de diferente magnitud.
2. Evaluación de la contribución del fuste y de la punta del pilote a la capacidad de carga del mismo.
3. Investigación de las posibilidades de uso, en cimentaciones en la Ciudad de México, de pilotes en tipo económico tanto en lo que se refiere a los procedimientos de hincado como a su comportamiento bajo carga.

Para los fines de los incisos 1 y 2 se probaron cuatro pilotes. Dos de ellos fueron de sección constante de 35 cm de diámetro y 26 m de longitud, C1 y C2, llamados en adelante convencionales, alojados totalmente en los materiales de gran compresibilidad y baja resistencia que constituyen los estratos superiores del subsuelo de la Ciudad de México. Los otros dos pilotes, que se designarán en adelante como pilotes mixtos, M1 y M2, se hincaron hasta 43 m de profundidad; están constituidos por una porción inferior de 16 m de longitud y 12.5 cm de diámetro unida a una porción gruesa (35 cm de diámetro) por medio de una pieza de transición; este tipo de pilotes mixtos se diseñó de manera que la porción delgada ofreciera por su forma y dimensiones, baja resistencia de punta y penetrara profundamente en los materiales de alta resistencia y baja sensibilidad, con objeto de estudiar su eficacia como medio para controlar la carga máxima sobre el pilote y el asentamiento de la cabeza del mismo cuando la capacidad de carga por adherencia se desarrolla totalmente.

Por lo que se refiere al inciso 3, se probaron dos pilotes zunchados de 12.5 cm de diámetro a los que se designará como pilotes delgados, D1 y D2. La profundidad de hinca de estos pilotes se determinó pretendiendo que la capacidad de carga alcanzada cierto tiempo después del hincado fuera mayor o igual a la resistencia a la compresión del cuerpo del pilote, con objeto de obtener la máxima eficiencia.

## PERFIL Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS

Los pilotes a que se refiere este trabajo fueron hincados en los terrenos del Conjunto Urbano No-noalco-Tlaltelolco, en el sitio que señala el plano de la fig. 1.

Las muestras de los suelos se obtuvieron por medio de un sondeo continuo hasta 52 m de profundidad; la localización del sitio del sondeo respecto a los pilotes se indica en la fig. 4. Hasta 20 m de profundidad se muestreó con tubo de pared delgada (Shelby) de 9.5 cm de diámetro.

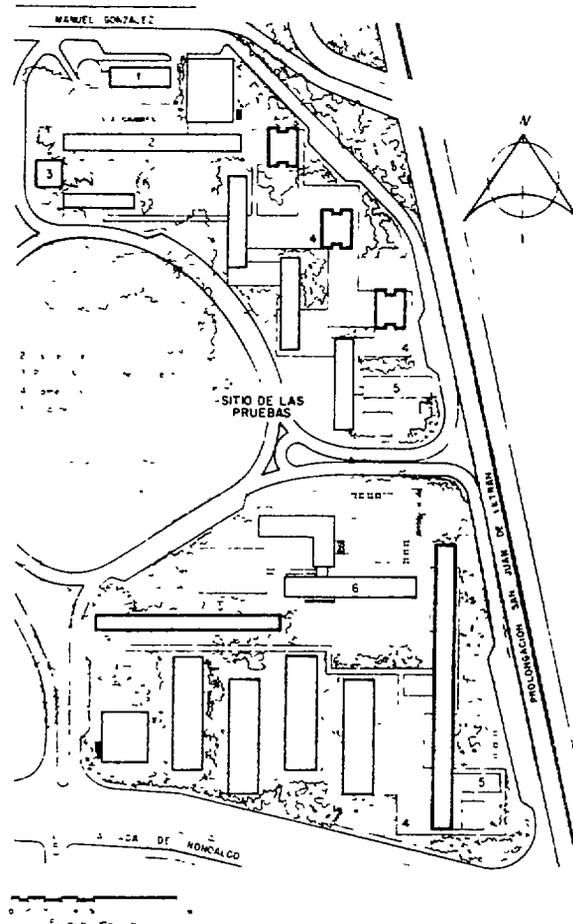
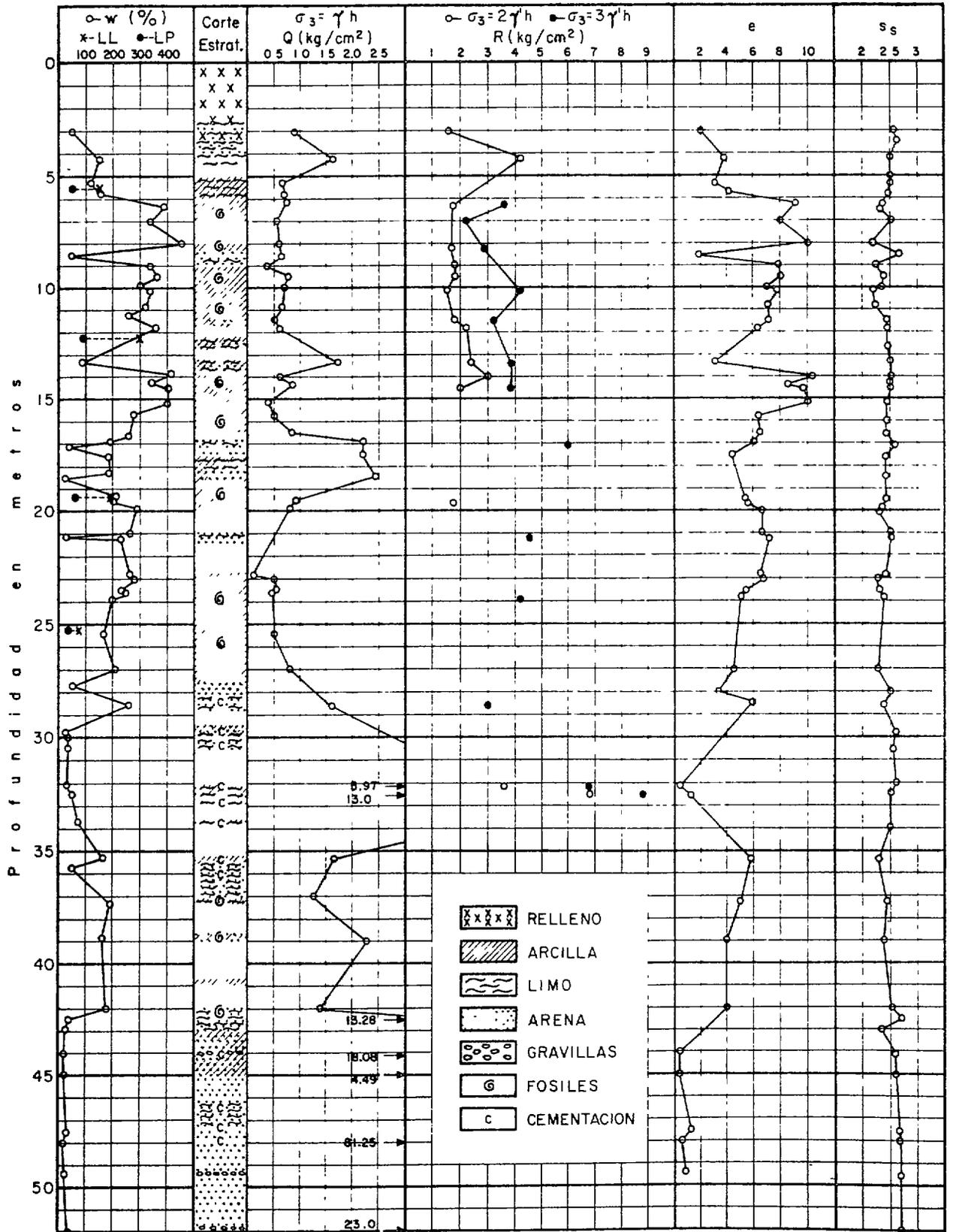


FIG. 1. Plano de localización.

\* Investigador. Instituto de Ingeniería, UNAM.



Q resistencia a la compresión en prueba rápida  
 R resistencia a la compresión en prueba consolidada-rápida  
 (material remoldeado con 20 días de reposo)

FIG. 2. Perfil y propiedades del terreno.

hincado a presión; de 20 m a 52 m de profundidad se usó muestreador de barril doble tipo Denison, haciéndose circular lodo bentonítico durante el muestreo.

En la fig. 2 se muestran el perfil del subsuelo y un resumen de resultados de ensayos de laboratorio. La estratigrafía, simplificada, es como sigue. Hasta cerca de 3.5 m de profundidad, un relleno heterogéneo; hasta aproximadamente 6 m, materiales limoarcillosos de compresibilidad y resis-

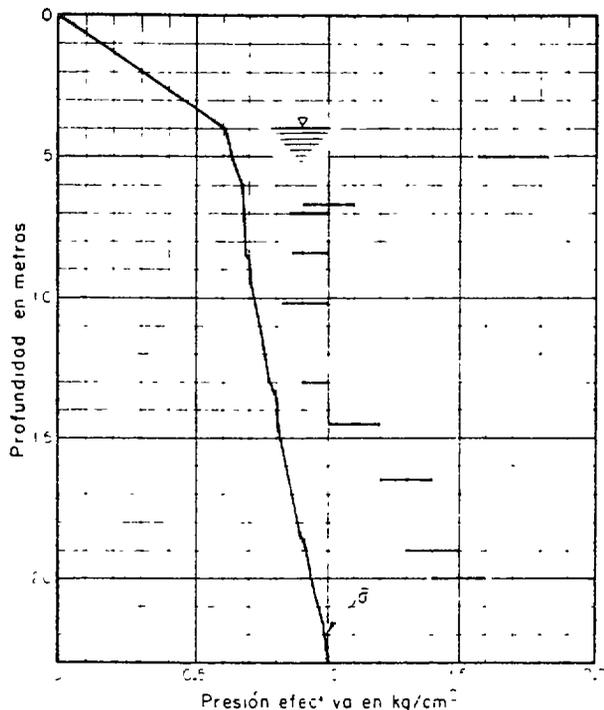


FIG. 3. Variación de la carga de preconsolidación

tencia medias en estado malterado. Debajo de los 6 m y hasta los 17 m aproximadamente los suelos son esencialmente arcillosos (con intercalaciones de estratos arenolimosos muy delgados), de gran compresibilidad, resistencia de media a baja en

estado malterado y prácticamente nula en estado remoldeado, con contenido de humedad natural muy cercano al límite líquido; de 17 a 18.5 m aproximadamente se encuentra un estrato limoarenoso compacto, de resistencia relativamente alta, y en adelante, en forma alternada, estratos arcillosos de resistencia media y arenolimosos de alta resistencia hasta 27 m de profundidad. De 27 a 35 m hay una sucesión de estratos limoarenosos parcialmente cementados, de alta resistencia; y de 35 a 42 m nuevamente materiales arcillosos y limoarenosos alternados. De 42 m en adelante la resistencia aumenta notablemente, siendo los materiales arenosos, compactos y parcialmente cementados.

En la fig. 3 se muestran, para los estratos arcillosos hasta 20 m de profundidad, los intervalos probables de la carga de preconsolidación, comparados con la presión vertical efectiva suponiendo distribución hidrostática de la presión de poro. Puede observarse que la preconsolidación aparece claramente debida a tres causas: una ligera preconsolidación uniforme debida a remoción de una carga superficial de aproximadamente 0.2 kg/cm², una fuerte preconsolidación por secado de los estratos a menos de 7 m de profundidad, y finalmente una preconsolidación que aumenta con la profundidad, causada seguramente por deficiencia de la presión de poro por abatimiento del nivel piezométrico en los estratos permeables que se encuentran a partir de 28 m de profundidad. Durante el sondeo el lodo bentonítico era rápidamente absorbido al llegar a esos estratos, lo que confirma que la presión de poro es inferior a la hidrostática

### DESCRIPCION DE LOS PILOTES

En la fig. 5 se muestran esquemáticamente los seis pilotes a que se refiere este estudio, con las profundidades de hincado correspondientes, así como detalles de las puntas y piezas de transición

Con el fin de determinar la carga tomada por los pilotes a diferentes profundidades, se instala-

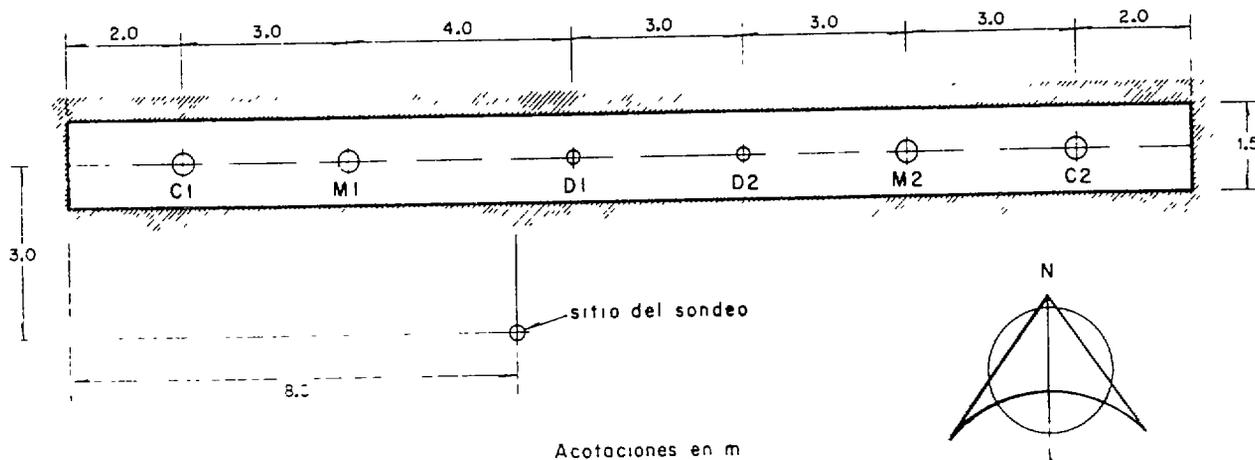


FIG 4 Posición relativa de los pilotes y el sitio del sondeo.

ron en cada uno de los pilotes C1 y C2 y en los tramos gruesos de los pilotes M1 y M2 dos gatos hidráulicos planos del tipo Freyssinet, en las posiciones que marca la fig. 5 Cada gato, previa calibración, se instaló conectado a un manómetro Bourdon de 0 a 200 kg/cm<sup>2</sup> de capacidad por medio de una manguera de alta presión. En los pilotes C2 y M2 ambos gatos están interconectados

Las características más importantes de cada tipo de pilote se dan a continuación

#### Pilotes convencionales

- Diámetro exterior. 35 cm
- Diámetro de la perforación central: 9 cm
- Refuerzo longitudinal (colocado dentro de la perforación central con relleno de mortero expansivo de fraguado rápido) en el pilote C1, cuatro varillas # 4 de acero estructural; en el pilote C2, una varilla # 12 de acero con límite elástico de 4 000 kg/cm<sup>2</sup>
- Concreto:  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- Longitud de cada sección: 0.90 m
- Unión entre cada dos secciones, por medio

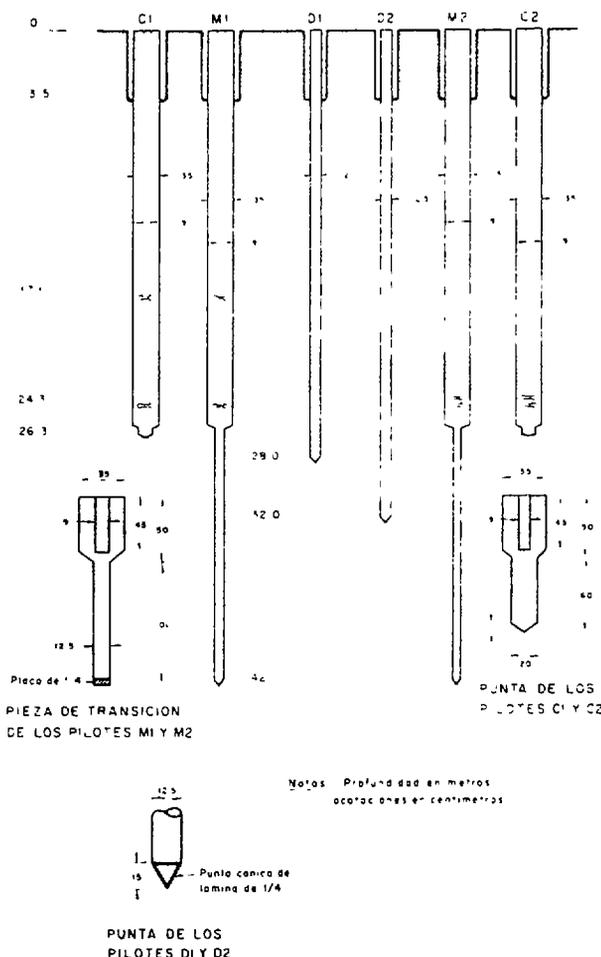


FIG. 5 Características de los pilotes

de un tubo de lámina # 18 de 28 cm de longitud; junta calafateada con asfalto.

#### Pilotes delgados

Este tipo de pilotes ha sido descrito en una publicación anterior<sup>1</sup>

Las características de los pilotes ensayados son las siguientes.

- Diámetro 12.5 cm
- Refuerzo longitudinal: seis varillas # 3 con límite elástico de 4 000 kg/cm<sup>2</sup>
- Zuncho: varilla # 3 grado estructural, espiral con paso de 2.5 cm y diámetro de 9.5 cm
- Concreto: esfuerzo de rotura a la edad de prueba de los pilotes, 446 kg/cm<sup>2</sup>; módulo secante a la misma edad: 202 000 kg/cm<sup>2</sup> \*
- Tamaño máximo del agregado grueso: 9.6 mm ( $\frac{3}{8}$ " )
- Longitud de cada sección: 4.0 m
- Unión entre cada dos secciones por medio de dos placas de acero soldadas a las varillas del refuerzo longitudinal y entre si

En la fig. 6 se presentan curvas carga-deformación típicas de probetas de 37.5 y 75 cm de longitud, representativas de los pilotes delgados D1 y D2. Se observa que al aumentar la longitud de la probeta la disminución brusca de la carga después del primer máximo es más pronunciada debido probablemente a que el número de defectos de fabricación del pilote (por ejemplo mayor paso de la espiral) aumenta con la longitud del espécimen

#### Pilotes mixtos

La porción superior gruesa de estos pilotes es como la descrita arriba para los pilotes convencionales, y el tramo delgado es del tipo de los pilotes D1 y D2.

El refuerzo longitudinal de la porción gruesa de estos pilotes consta de cuatro varillas # 4 de acero estructural. Tanto en los pilotes mixtos como en los convencionales el refuerzo longitudinal va desde la cabeza del pilote hasta la profundidad del gato plano superior.

#### PROCEDIMIENTOS DE HINCA Y DE PRUEBA

Con objeto de eliminar el efecto del relleno heterogéneo que de 0 a 3.5 m se encuentra en el sitio de las pruebas los pilotes se hincaron en una zanja de 2 m de profundidad, desde cuyo piso se hicieron perforaciones con pala de postear hasta alcanzar 3.5 m de profundidad en el sitio de hincada de cada pilote.

Todos los pilotes se hincaron a presión usando un gato hidráulico accionado por una bomba de émbolos provista de un manómetro Bourdon en la

\* Estos valores son los promedios de los resultados de ensayos en 23 cilindros representativos con valores extremos de 368-530 kg/cm<sup>2</sup> y 197 000-225 000 kg/cm<sup>2</sup> para la resistencia y el módulo secante respectivamente

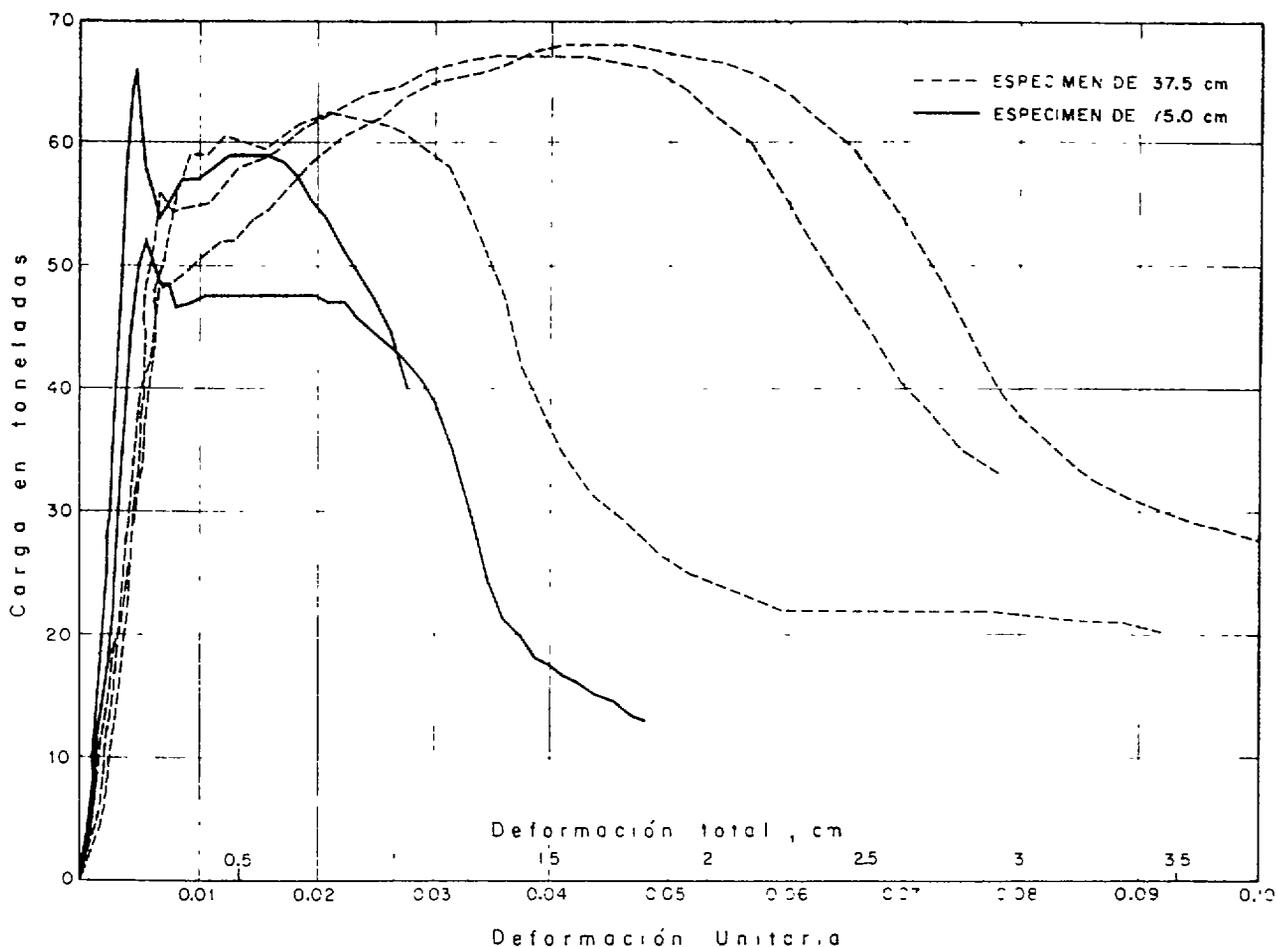


FIG 6 Comportamiento estructural de muestras representativas de los pilotes D<sup>1</sup> y D<sup>2</sup>

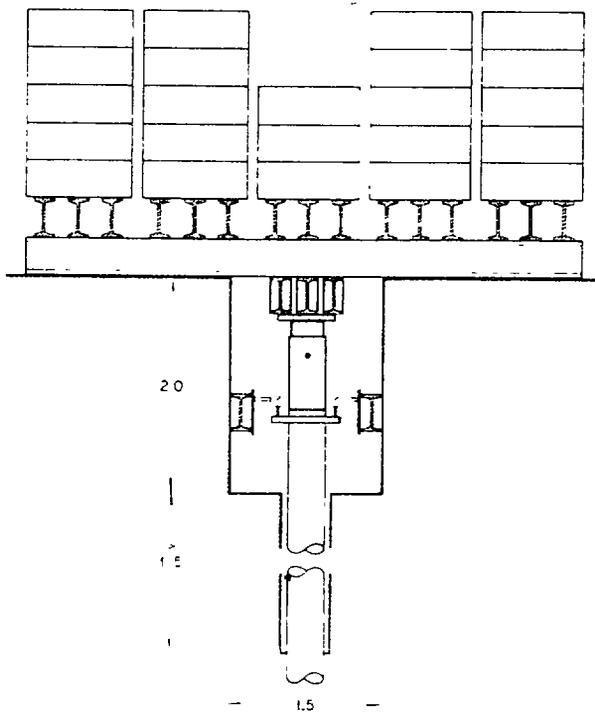


FIG. 7. Arreglo del sistema de carga.

descarga. La reacción necesaria para el hincado y para las pruebas de carga se suministró por medio de un lastre hasta de 150 ton descansando sobre una rejilla de viguetas l de 38 cm (15") que cubría el claro de la zanja (ver fig. 7). La posición relativa de los pilotes se muestra en la fig. 4.

Tanto los pilotes convencionales como los mixtos lograron llevarse hasta las profundidades previamente seleccionadas (26 m y 43 m respectivamente). Durante el hincado de los tramos gruesos se hicieron lecturas cada 22 cm de penetración en el manómetro de la bomba y en los conectados a los gatos Freyssinet, principalmente con el fin de verificar el funcionamiento de los gatos. Mediante las lecturas de presión en el gato colocado sobre la pieza de transición en ambos pilotes mixtos, se cuidó de no exceder en ningún momento una carga de 50 ton en el extremo superior de la porción delgada.

En el pilote M2 la presión en los gatos planos descendió bruscamente antes de terminar el hincado, por lo que se pensó en una rotura de la conexión entre uno de los gatos y la manguera. Sin embargo, más tarde se comprobó que algunas secciones del pilote se habían desviado durante la hinca rompiendo la continuidad. Por esta razón el pilote se eliminó del programa de pruebas.

Los manómetros conectados a gatos planos se leyeron a distintos tiempos después del hincado hasta la fecha de prueba del pilote correspondiente, observándose variaciones de poca importancia

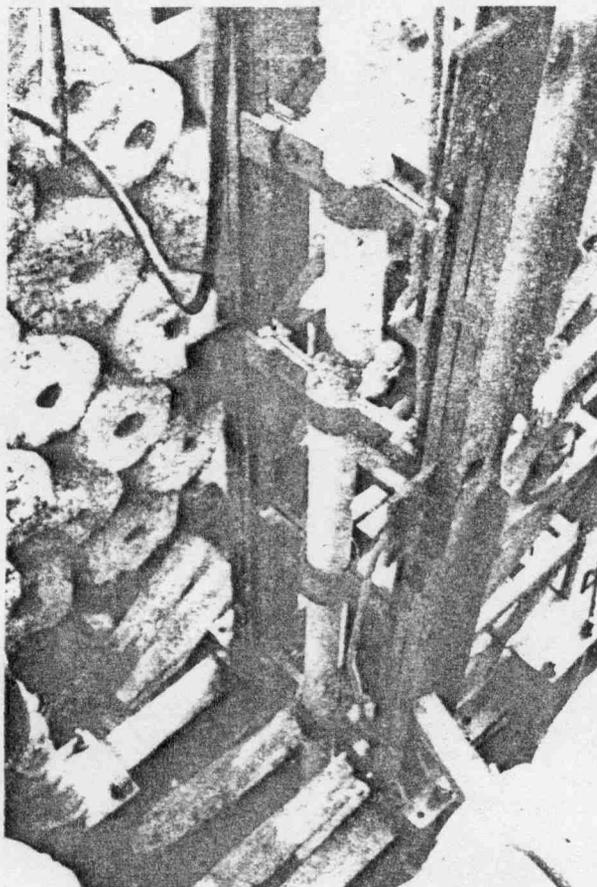


FIG. 8. Torre para la línea de los pilotes delgados.

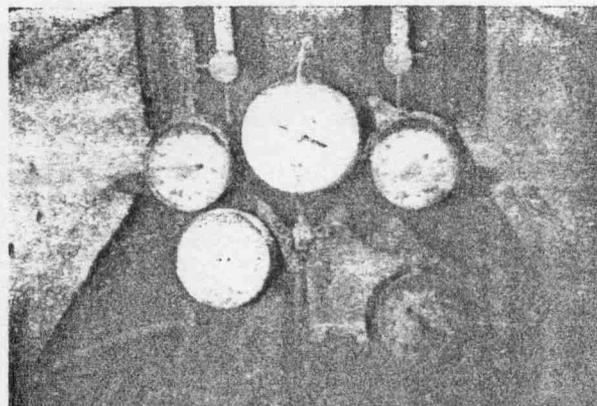


FIG. 9. Sistema de medición.

sólo durante las primeras horas, con una tendencia al aumento de carga en el gato más profundo, y a la disminución en el gato superior, probablemente debidas a recuperación elástica del pilote, retardada por la restricción del terreno.

Para el hincado de las secciones delgadas, de 4 m de longitud cada una, fue necesario utilizar una torre especial sobre la que se montaron guías que soportaban lateralmente el pilote cada 50 cm arriba del piso de la zanja. Habiéndose usado inicialmente una separación mayor de las guías, se experimentaron dificultades considerables por pandeo de los pilotes (ver fig. 8).

Inicialmente se había considerado que para obtener la máxima eficiencia de los pilotes de sección constante de 12.5 cm de diámetro, éstos debían penetrar hasta cerca de 42 m. Sin embargo a la vista de las curvas carga-deformación de especímenes cortados de los pilotes de prueba (fig. 6) se decidió suspender la hinca al alcanzar una carga de 40 ton en la cabeza del pilote, para evitar

TABLA I. Resumen de resultados

PILOTE	CAPACIDAD DE CARGA ton				DEFORMACION DE FALLA mm		VELOCIDAD DE CARGA HASTA LA FALLA ton/hora	VELOCIDAD DE DEFORMACION DESPUES DE LA FALLA mm/min	TIEMPO ENTRE LA HINCA Y LA PRUEBA días
	POR PUNTA	POR ADHERENCIA	TOTAL	ULTIMA	$\delta_s$	$\delta_r$			
C 1	28.0	101.0	129.0	82.0	15.0	29.8	25	5	59
C 2	11.0	87.0	98.0	88.5	—	34.0	20	5	32
M 1	7.5 *	101.5	109.0	85.0	15.5	27.5	20	5	59
D 1	—	—	59.0	14.0	—	62.0	20	5	55
D 2	—	—	50.0	27.0	—	25.0	20	5	47

\* El valor reportado corresponde a la carga en el extremo superior de la porción delgada, en la falla

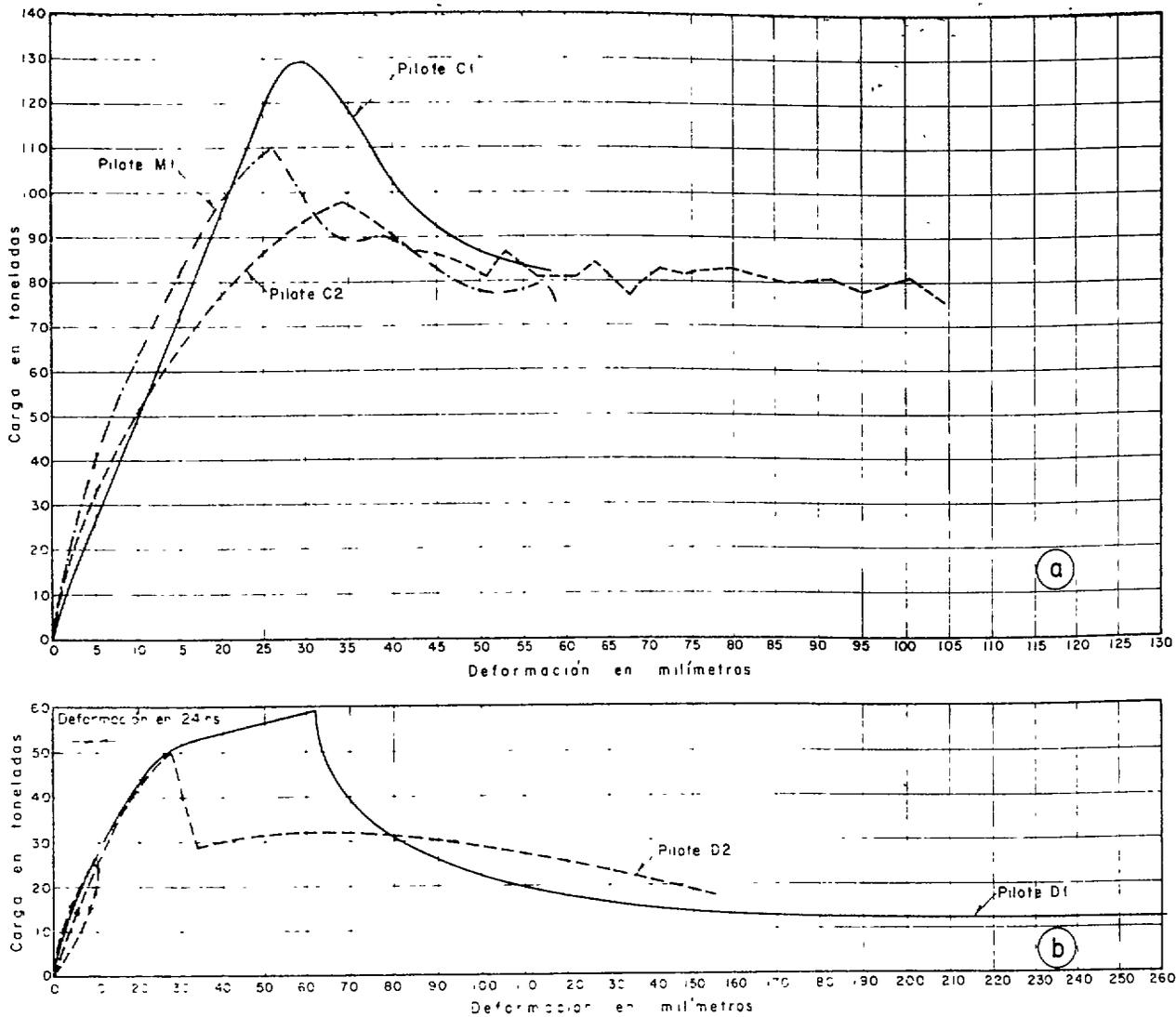


FIG. 10. Curvas deformación total-carga

falla prematura del cuerpo del mismo. Con esa condición el pilote D1 pudo llevarse hasta 28 m y el D2 hasta 32 m de profundidad.

Durante las pruebas la medición de la carga aplicada a la cabeza del pilote por un gato hidráulico se hizo con tres manómetros con capacidades de 0-80 kg/cm<sup>2</sup>, 0-200 kg/cm<sup>2</sup> y 0-700 kg/cm<sup>2</sup>. Se usó sólo uno a la vez, de acuerdo con el valor de la carga en cada momento, con objeto de emplear cada manómetro dentro de su intervalo óptimo. En la fig. 9 se muestra el montaje de estos manómetros y los demás instrumentos de medición.

Los desplazamientos verticales de la cabeza del pilote se midieron con dos micrómetros de 0.01 mm de aproximación y 8 cm de carrera montados sobre correderas para permitir cambiar su posición cuando el desplazamiento del pilote es mayor que la carrera del micrómetro: el arreglo se indica en la fig. 7. Para evitar movimientos del sistema de referencias durante la prueba, las viguetas que

soportan las correderas de los micrómetros se apoyaron sólo en sus extremos a 3 m de distancia del pilote. Cuando las lecturas de los micrómetros mostraban pequeñas diferencias el desplazamiento del pilote se determinó con el promedio de ambas.

Las pruebas se realizaron con una velocidad de carga, o de descarga en su caso, de 20 ton/hora hasta alcanzar la carga máxima y después con una velocidad de deformación de 5 mm/min hasta que la carga se mostró estable. La única excepción fue el pilote C1, al que se impuso una velocidad de carga de 25 ton/hora.

En los pilotes provistos de gatos planos se hicieron lecturas de presión en cada uno de ellos simultáneamente con el registro de la carga y la deformación en la cabeza del pilote.

## RESULTADOS

En la Tabla I se resumen los resultados de las pruebas de carga para los cinco pilotes ensayados,

y en las figs. 10 (a) y (b) se muestran las curvas de deformación total-carga.

Es de notarse la capacidad de carga por punta del pilote C1, que resultó apreciablemente alta quizá debido a condiciones locales del terreno en la punta del mismo: la del pilote C2 es del orden de la calculada por el método de Meyerhof<sup>2</sup> con  $c = 3.5 \text{ ton/m}^2$ ,  $\phi = 0$ ,  $\gamma z = 34 \text{ ton/m}^2$ .

La capacidad de carga por adherencia del pilote C2 es en cambio casi 20% más baja que la de los pilotes semejantes a él. Esto puede atribuirse a efectos tixotrópicos, pues el tiempo transcurrido entre la hinca y la prueba es 59 días en los pilotes C1 y M1 y sólo 32 en el pilote C2. Pruebas de laboratorio en muestras de los estratos arcillosos indican para esa diferencia en el tiempo de reposo después del remoldeo, un incremento por recuperación tixotrópica de 25 a 35 % en la resistencia en prueba no drenada.

Otro resultado notable es la capacidad de carga proporcionada por la porción delgada del pilote mixto M1 (7.5 ton): esa carga resulta muy baja el compararla con la esperada con base en datos experimentales disponibles<sup>3</sup>. Aunque no se tienen otras evidencias, ese valor tan bajo quizá indique pérdida de verticalidad de la porción delgada del pilote, lo que hizo que éste trabajara como si no existiese tal porción. Por otra parte, la capacidad última es sensiblemente igual para los tres pilotes C1, C2 y M1. Así, no pudieron observarse las diferencias esperadas entre el comportamiento de los pilotes mixtos y el de los convencionales, el reducido número de pruebas, sin embargo no permite una conclusión al respecto.

En cuanto a los pilotes D1 y D2 la carga máxima soportada es comparable con la obtenida en los ensayos de compresión no confinada sobre especímenes cortos, que se reportan en la fig. 6. Después de las pruebas se excavó alrededor de cada uno de ellos con objeto de estudiar el tipo de falla. En ambos casos parece haber ocurrido falla estructural del pilote como se esperaba, pero con la característica poco deseable de una disminución muy importante de la capacidad portante después del primer máximo.

Se observó que el pilote D1 falló por pandeo a 5 m de profundidad aproximadamente, iniciándose la falla en el extremo de una sección, probablemente por aplastamiento del concreto en una zona en que el paso de la espiral excedía el valor especificado.

En el pilote D2 se excavó hasta cerca de 8 m de profundidad observándose sólo agrietamientos del concreto de recubrimiento que probablemente causó el pronunciado descenso de carga después del máximo (ver fig 10 b). Debe recordarse aquí que el área del recubrimiento representaba cerca del 40% del área de la sección recta del pilote, además, que las curvas de la fig 6 indican que el descenso de la carga después de la falla del recubrimiento crece con la longitud del espécimen.

Con los datos de presión en los gatos Freyssinet obtenidos durante las distintas etapas de las pruebas de carga, se construyeron las curvas de la fig 11 que muestran la distribución de carga hasta 24.3 m de profundidad a lo largo de los pilotes M1 y C1 para distintos valores de la carga en la

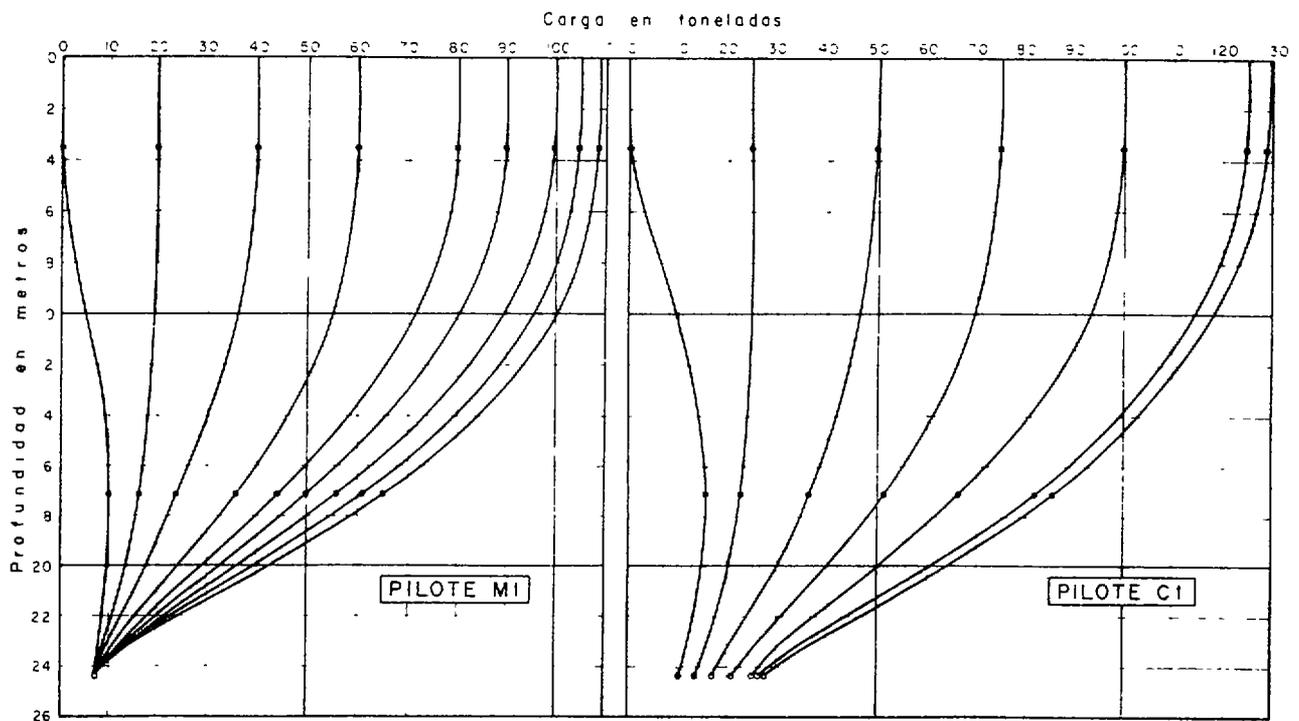


FIG 11. Distribución de carga en los pilotes.

cabeza; nótese el presforzado de los pilotes producido por la hinca.

Excepto el valor de la carga en la punta, la concordancia de las curvas de distribución de carga en ambos pilotes es notable; la forma de tales curvas es semejante a las reportadas por otros investigadores en terreno de propiedades muy diferentes<sup>3</sup>.

Las curvas de la fig. 11 permiten dividir la deformación total  $\delta_t$ , para una carga dada, en deformación del pilote  $\delta_p$  y deformación del suelo  $\delta_s$ . La primera es:

$$\delta_p = \frac{P(L) \cdot L}{AE} + \frac{1}{AE} \int_0^L P(z) \cdot dz$$

en que el primer término es la deformación debida a compresión uniforme del pilote y el segundo la deformación debida a los esfuerzos de adherencia con el terreno. En esta expresión

$\delta_p$  = deformación elástica del pilote

$A$  = área de la sección recta

$E$  = módulo de elasticidad del pilote

$P(z)$  = carga que actúa sobre el pilote a la profundidad  $z$

$P(L)$  = carga en la punta del pilote

La deformación del suelo abajo de la punta del pilote es simplemente

$$\delta_s = \delta_t - \delta_p$$

De esta manera se obtuvieron para los pilotes M1 y C1 las gráficas  $P(0) - \delta_p$  y  $P(0) - \delta_s$  de la fig. 12. Como los pilotes convencionales y mixtos tenían un gran número de juntas, el pilote C1 se sometió a un ciclo de carga y descarga antes de la prueba para verificar si el cálculo de las deformaciones elásticas por el procedimiento indicado arriba no estaría afectado de errores importantes debido a concentración de deformaciones no recuperables en dichas juntas; en los dos procesos de carga las pendientes de las curvas  $P(0) - \delta_t$  resultaron sensiblemente iguales.

En la misma fig. 12 se han dibujado las curvas hipotéticas  $P(0) - \delta_p$  obtenidas con dos suposiciones extremas, distribución uniforme de la adherencia o fricción entre pilote y suelo en un caso

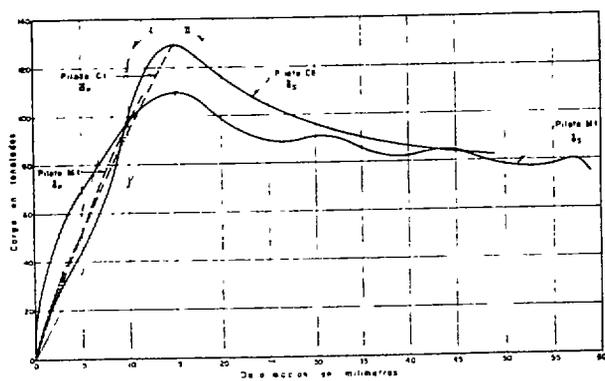


FIG. 12. Deformaciones del pilote y del terreno.

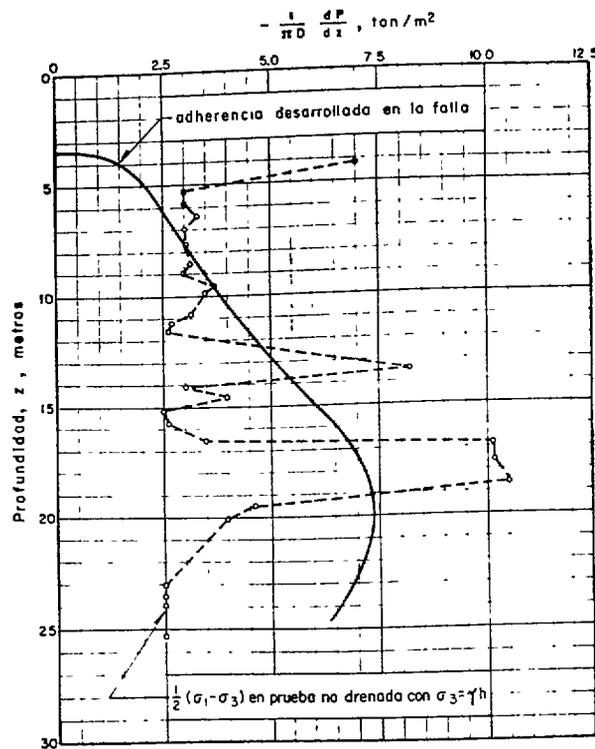


FIG. 13. Adherencia desarrollada en la falla (pilotes M1 y C1)

(curva I) y distribución uniforme de carga sobre el pilote en el otro caso (curva II). Se observa que la deformación real de pilote es con buena aproximación igual al promedio de las deformaciones dadas por las curvas I y II; esto presenta la posibilidad de seguir el procedimiento indicado para estimar la deformación elástica del pilote cuando no se conocen las curvas de distribución reales.

La cantidad  $-\frac{dP(z)}{dz}$  obtenida de la curva de distribución de carga  $P(z)$  en la falla da el valor de la adherencia máxima desarrollada por unidad de longitud de pilote a cualquier profundidad. Dicha cantidad dividida entre el perímetro  $\pi D$  del cilindro de falla determina la resistencia ofrecida por el suelo a la penetración del pilote en el momento de la falla. En la fig. 13 se muestra la gráfica de  $-\frac{1}{\pi D} \frac{dP(z)}{dz}$  obtenida para cualquiera de los pilotes C1 o M1, a partir de la fig. 11 suponiendo que la zona de falla está definida por la superficie exterior del pilote. Para fines de comparación se ha dibujado en la misma figura la resistencia al cortante  $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$  del suelo, determinada en el laboratorio para el material inalterado por medio de prueba triaxial no drenada con presión confinante  $\sigma_3 = \gamma h^*$ .

\* Se prefirió hacer este tipo de ensayos en vez de pruebas de compresión no confinada, por ser más representativas en este caso en que frecuentemente el material presentaba fisuras.

El número reducido de datos de que se dispuso para el trazo de las curvas de la fig. 11 produce valores poco confiables de la derivada; se prefiere por eso no pretender establecer conclusiones sobre la forma de la curva de la fig. 13. Sin embargo, debe notarse que la adherencia media desarrollada por los pilotes en la falla es del orden de la resistencia del suelo en condiciones no drenadas. En la cuarta columna de la fig. 2 se observa que la resistencia en prueba consolidada-rápida del material remoldeado, ensayado después de 20 días de reposo, es de cuatro a cinco veces mayor que la resistencia mostrada en la fig. 13. Se considera que la prueba consolidada-rápida, en las condiciones señaladas, representa aproximadamente las características de resistencia del suelo más cercano a la superficie del pilote, que está sometido a remoldeo durante el hincado y después a consolidación con drenaje hacia el interior del pilote de concreto.

## CONCLUSIONES

1. El perfil y la historia de cargas del subsuelo en el sitio de las pruebas, por su complejidad, introdujeron demasiadas variables en el estudio. En investigaciones futuras será recomendable seleccionar al menos dos sitios de características diferentes entre sí, pero relativamente simples.
2. Las curvas de distribución de carga en los pilotes hacen pensar que un diseño más económico resultará de emplear pilotes de sección variable del tipo mixto usado en este estudio. Será necesario obtener datos sobre el comportamiento de este tipo de pilotes a largo plazo.
3. El estudio de la eficacia de la porción delgada de los pilotes mixtos para controlar la velocidad de asentamiento requiere un programa de pruebas más amplio. Este aspecto es de gran interés si se tienen en cuenta los efectos de la fricción negativa.
4. La adherencia media desarrollada por los pilotes convencionales y mixtos durante la falla es aproximadamente igual a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo inalterado en condiciones no drenadas.
5. Para que experimentos futuros permitan establecer, en forma más completa, relaciones entre las propiedades mecánicas de los suelos y la capacidad de carga por adherencia, será necesario instalar un mayor número de gatos Freyssinet u otros instrumentos que permitan conocer con mayor precisión las curvas de distribución de carga.
6. El problema de pandeo de los pilotes delgados durante el hincado se puede resolver satisfactoriamente empleando el procedimiento descrito en este trabajo.
7. En los pilotes delgados se puede reducir el descenso de la carga después del máximo disminuyendo el concreto de recubrimiento por una

parte, y, por otra, con un control riguroso del paso de la espiral.

## RECONOCIMIENTO

Durante diversas etapas del programa de pruebas colaboraron los señores Ing. L. Ramírez de Arellano, Dr. J. Casillas, Ing. J. Schmitter e Ing. M. Faradji. El Dr. Emilio Rosenblueth, Director del Instituto de Ingeniería, hizo valiosas sugerencias.

El Instituto de Ingeniería agradece la eficaz colaboración prestada por Cimentaciones Franki de México, S. A. durante la realización de las pruebas de campo.

## REFERENCIAS

1. Casillas, J. "Características carga-deformación de columnas zunchadas de concreto", revista *Ingeniería* (oct. 1963).
2. Meyerhof, G. G., "The ultimate bearing capacity of foundation", *Geotechnique*, Vol. II, No. 1 (dic. 1951).
3. Mohan, D., Jain, G. S. y Kumar, V., "Load-bearing capacity of piles", *Geotechnique*, Vol. XIII, No. 1 (mar. 1963).

## SUMMARY

This paper describes the tests performed on three types of concrete piles; effects of the structural characteristics of piles and the mechanical properties of the soils on the results are discussed. The investigation was carried out on six piles, driven, by static pressure, in the lake zone of Mexico City (Conjunto Urbano Nonoalco-Tlalotelco); two of the piles tested were 35 cm in diameter and 26 m in length; two piles were 12.5 cm in diameter and about 30 m long, and the other two piles were of a combined type, consisting of a lower reinforced portion 12.5 cm in diameter and 16 m in length, connected to an upper portion 35 cm in diameter and 26 m long.

The 12.5 cm diameter piles were driven down to such a depth that total bearing capacity due to both, skin friction and point resistance some days after driving was greater than the unconfined compression strength of the pile itself; in this way the maximum efficiency of these piles was obtained. Driving of this type of piles was accomplished by means of a steel tower furnished with guides whose separation was selected by trial to prevent buckling of the pile.

The distribution of skin friction along the upper portion of the 35 cm diameter piles was determined by means of Freyssinet type hydraulic jacks located at various elevations within the piles. From that distribution the bearing capacities due to skin friction and to point resistance were computed. It was found that the average skin friction at failure is of the order of the undrained shear strength of the soils. The point bearing values, on the other hand, showed important variations, probably due to local conditions near the pile tip.