



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS DE CARGA EN PILOTES Y PILAS.

T E S I S

Que para obtener el título de:

I N G E N I E R O C I V I L

P r e s e n t a :

ERNESTO HOLGUIN GOMEZ LAMADRID

México, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AL Pasante señor ERNESTO HOLGUIN GOMEZ LAMADRID,
P r e s e n t e .

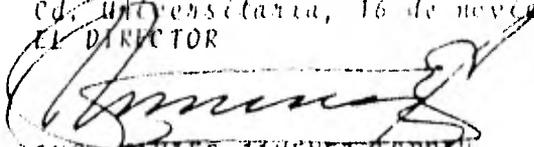
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Enrique Santoyo Villa, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"PRUEBAS DE CARGA EN PILOTES Y PILAS"

1. Generalidades.
2. Registros de fabricación e hincado de pilotes e fabricación de pilas.
3. Pruebas de carga estática en compresión.
4. Referencias.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 16 de noviembre de 1981
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMÉNEZ ESPRIU

JJE/OP/LH/508

I N D I C E

	pág
1. GENERALIDADES	1
2. REGISTROS DE FABRICACION E HINCADO DE PILOTES O FABRICACION DE PILAS	5
2.1 <i>Características de fabricación del pilote</i>	5
2.2 <i>Registro de hincado del pilote</i>	7
2.2.1 Equipo	7
2.2.2 Resistencia a la penetración	7
2.2.3 Posición final del pilote	7
2.3 <i>Registro de fabricación de pilas</i>	10
2.3.1 Perforación	12
2.3.2 Revisión del pozo	13
2.3.3 Colocación del concreto	13
2.3.4 Inspección de la pila	14
3. PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICA EN COMPRESION	15
3.1 <i>Criterio de carga controlada</i>	15
3.1.1 Con rapidez de asentamiento mínimo	16
3.1.2 Con incrementos de tiempo constantes	18
3.1.3 Con ciclos de carga y descarga	19
3.1.4 Con carga cíclica	20
3.2 <i>Criterio de desplazamientos controlados</i>	23

3.5.4	Capacidad de carga admisible	62
3.5.5	Observaciones al procedimiento constructivo	62
4.	REFERENCIAS	66
ANEXO	CARACTERISTICAS DEL INFORME DE UNA PRUEBA DE PILOTE	68
1.	CONDICIONES DE PRUEBA	68
1.1	<i>Localización y datos geotécnicos</i>	68
1.2	<i>Diseño del pilote</i>	68
1.3	<i>Diseño de la instalación de la prueba</i>	69
1.3.1	Sistemas de reacción y apoyos	69
1.3.2	Sistemas de carga y medición	70
1.4	<i>Características del pilote antes del hincado</i>	70
1.4.1	Materiales de construcción	70
1.4.2	Geometría	70
1.5	<i>Registro de hincado</i>	73
1.5.1	Equipo	73
1.5.2	Resistencia a la penetración	73
1.5.3	Posición final del pilote	77
1.6	<i>Instalación de la prueba</i>	77
2.	REGISTRO DE PRUEBA	77
2.1	<i>Criterio de carga controlada</i>	79

3.2.1	Con control de asentamientos	24
3.2.2	Con rapidez de penetración constante	27
3.3	<i>Instalación para una prueba de carga estática</i>	29
3.3.1	Sistema de reacción	29
3.3.2	Equipo de aplicación de la carga	33
3.3.3	Dispositivos de medición	36
	3.3.3.a De la carga	36
	3.3.3.b De los asentamientos	39
	3.3.3.c De los asentamientos de la punta	42
	3.3.3.d De la distribución de es- fuerzos	43
3.4	<i>Presentación de los resultados</i>	47
3.4.1	Gráfica de la penetración vs número de golpes	47
3.4.2	Gráfica de la recuperación elástica	47
3.4.3	Gráfica carga vs asentamiento	49
3.4.4	Gráfica carga y asentamiento vs tiempo	52
3.4.5	Gráfica carga vs asentamiento de fluencia	52
3.4.6	Gráfica número de ciclos vs asentamiento	54
3.5	<i>Interpretación de la prueba</i>	55
3.5.1	Respuesta del pilote o pila a la carga	55
3.5.2	Determinación de la capacidad de carga	57
3.5.3	Variación de la capacidad de carga con el tiempo	58

2.2	<i>Criterio de desplazamientos controlados</i>	79
3.	PRESENTACION DE LOS RESULTADOS	79
4.	INTERPRETACION DE LA PRUEBA	80

1. GENERALIDADES

La necesidad de realizar pruebas de carga de pilotes y pilas se justifica debido a que el análisis de la capacidad de carga de estos elementos está sujeto a incertidumbres tanto de las teorías del comportamiento del sistema pilote-suelo o pila-suelo, así como a la dificultad de definir confiablemente, mediante trabajo experimental, el comportamiento mecánico de los suelos de un sitio. Lo anterior lleva a recomendar que las pruebas deban realizarse para determinar a escala natural el comportamiento cimentación-suelo y siempre que económicamente sea factible, sabiendo que normalmente generan ahorros en los costos de una cimentación.

Las pruebas de carga pueden realizarse en pilotes o pilas convencionales y en elementos instrumentados; en el primer caso, los objetivos que se persiguen son:

- a) Determinar la capacidad de carga vertical de pilas o pilotes apoyados en estratos firmes
- b) Definir confiablemente la longitud necesaria de los pilotes de fricción
- c) Definir la capacidad de carga lateral
- d) Ensayar el tipo de pilote, las técnicas y equipo de hincado y verificar si es necesario realizar perforaciones previas
- e) Ensayar el procedimiento constructivo con el que se proyecta fabricar las pilas.

Cuando se justifica utilizar pilotes o pilas instrumentados, la información adicional que se obtiene permite:

- a) Conocer la magnitud de los esfuerzos durante el manejo e hincado del pilote
- b) Evaluar el efecto del hincado de los otros pilotes
- c) Conocer la transferencia de carga al suelo durante la prueba y su variación con el tiempo
- d) Estudiar el efecto de grupo
- e) Estudiar el fenómeno de fricción negativa

Para alcanzar los objetivos mencionados, una prueba de carga debe diseñarse simulando las condiciones carga-tiempo bajo las cuales trabajará el pilote o pila (fig 1); para el diseño es necesario contar con la información geotécnica y el diseño preliminar de la cimentación. Las etapas de selección, diseño y ejecución de la prueba de carga se presentan esquemáticamente

en la fig 2. Cabe destacar que en cada problema específico la elección del tipo de prueba dependerá de los siguientes aspectos:

- Grado en que se reproducen las condiciones de trabajo de la estructura
- Costo
- Tiempo de ejecución
- Simplicidad en su ejecución

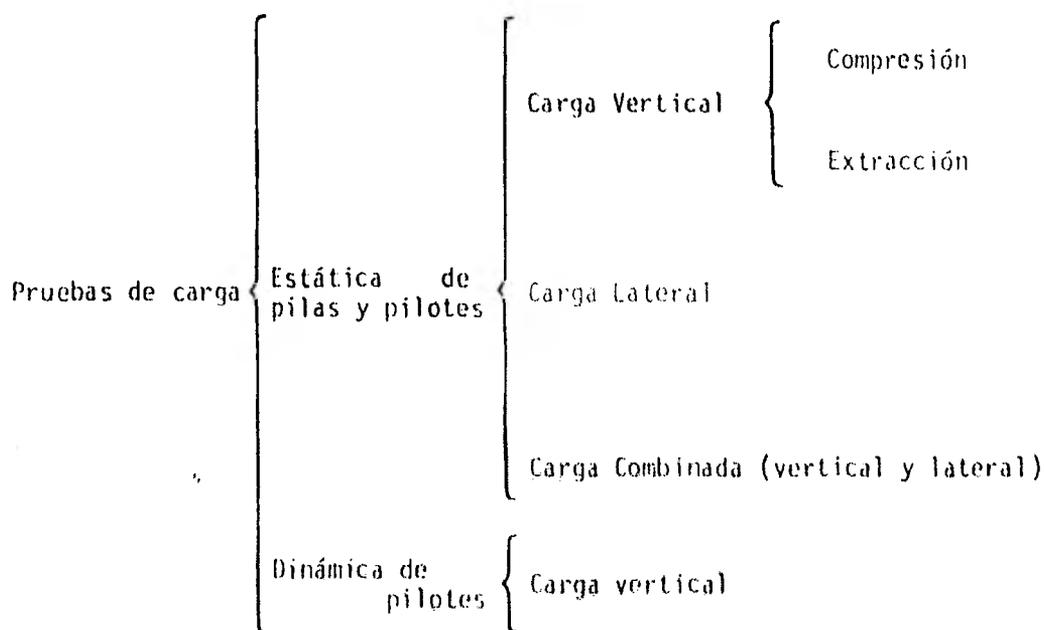
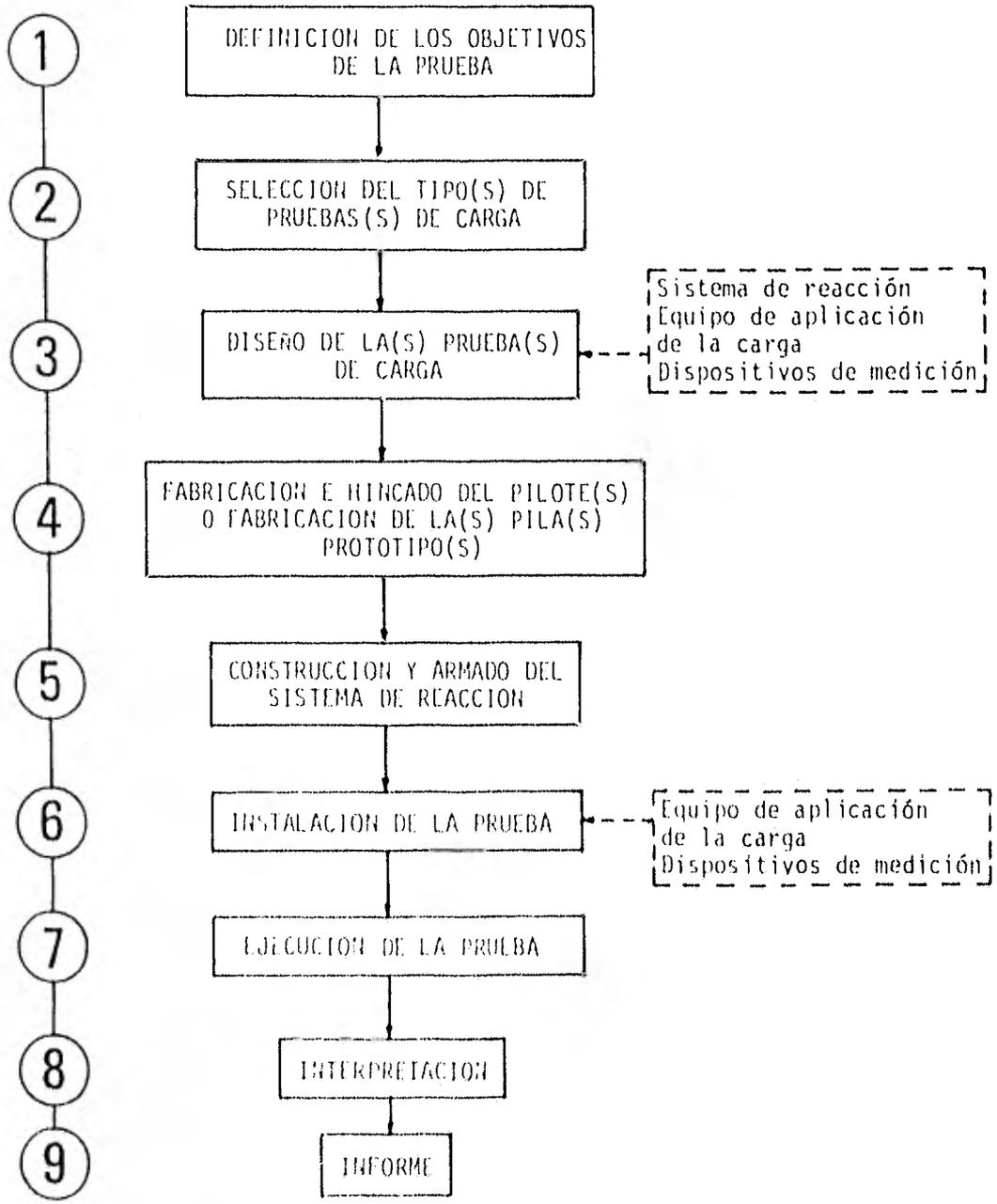
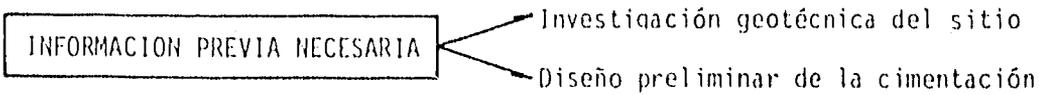


FIG 1. Pruebas de carga de pilotes y pilas

En este escrito se detallan las características de las pruebas estáticas en compresión; esta información puede servir de guía para el diseño e instalación de los demás tipos de pruebas.



115 : Etapas de una prueba de carga

2. REGISTROS DE FABRICACION E HINCADO DE PILOTES O FABRICACION DE PILAS

El control en la fabricación de los elementos de cimentación profunda influye en la capacidad de carga que pueden alcanzar, por ello la información de una prueba de carga necesariamente debe incluir antecedentes relativos al control de la construcción e hincado de los pilotes o del proceso de fabricación de la pila. Los datos así obtenidos, permitirán una interpretación correcta de la prueba, así como definir las normas de calidad de la construcción necesarias para el funcionamiento adecuado de la subestructura durante su vida útil.

2.1 Características de fabricación del pilote

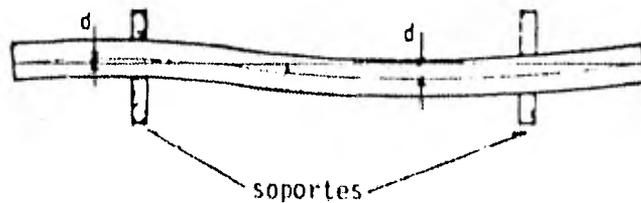
Durante la construcción del pilote se debe comprobar que se cumplan las especificaciones del proyecto referentes a la geometría, diseño estructural y condiciones de almacenamiento y manejo del elemento; para ello deberán verificarse: la sección y longitud del pilote, los índices de resistencia de los materiales, el diámetro, disposición, espaciado y recubrimiento del acero de refuerzo, el tiempo de curado, la ubicación de los apoyos durante el almacenamiento del elemento y los puntos de izaje para el manejo.

Antes del hincado, deberá medirse el perímetro del pilote en varias secciones y se comprobará que la curvatura del eje longitudinal no

sea excesiva. Esto último puede hacerse con el procedimiento mostrado en la fig 3, que consiste en colocar al pilote sobre dos soportes y medir la distancia horizontal d del eje con respecto a un alambre tensado de acero, que se apoye al centro de las caras extremas; en esta operación se medirán las desviaciones máximas en varios puntos, indicándose su orientación (derecha o izquierda), y en dos direcciones perpendiculares entre sí. En caso de existir juntas, debe verificarse siempre que el ángulo que formen con respecto al eje longitudinal sea de 90° .

Por último, debe recordarse que el pilote o pila de prueba tendrá un diseño estructural diferente a los del resto de la subestructura, ya que estará sometido a una carga de 2 a 3 veces la de trabajo.

PLANTA



ELEVACION

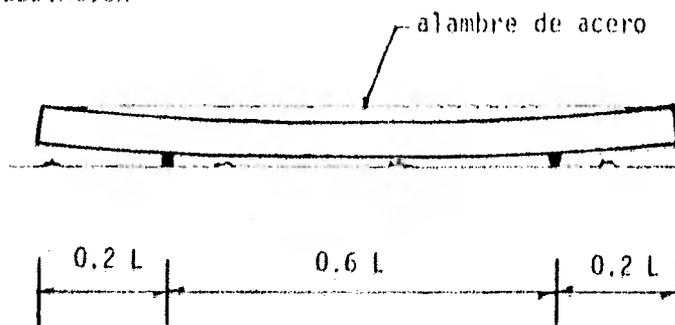


Fig 3 Determinación de la curvatura del eje del pilote

2.2 *Registro de hincado del pilote*

El hincado de un pilote puede considerarse como una prueba de penetración que permite evaluar la eficiencia del equipo empleado, verificar la estratigrafía de diseño y definir un criterio de -- aceptación de los pilotes de punta, para el número de golpes final y la profundidad de desplante; para ello es necesario llevar un registro cuidadoso de estos aspectos.

2.2.1 *Equipo*

Los elementos básicos del equipo de hincado son: la guía, el martillo y los accesorios para transmitir el impacto. En la fig 4 se indica la información que debe recopilarse en una prueba.

2.2.2 *Resistencia a la penetración*

La verificación de la estratigrafía de diseño puede hacerse directamente cuando el hincado se hace en una perforación previa; en caso contrario, los estratos que atravieza el pilote pueden identificarse indirectamente registrando el número de golpes necesario para que penetre una cierta longitud, que va de 0.2 m a un metro, según se trate de suelos firmes o blandos, respectivamente. La -- presentación gráfica de esta información se ejemplifica en la -- fig 5.

2.2.3 *Posición final del pilote*

Durante el hincado del pilote se generan expansiones del suelo -- circundante, que obligan a realizar nivelaciones del terreno --

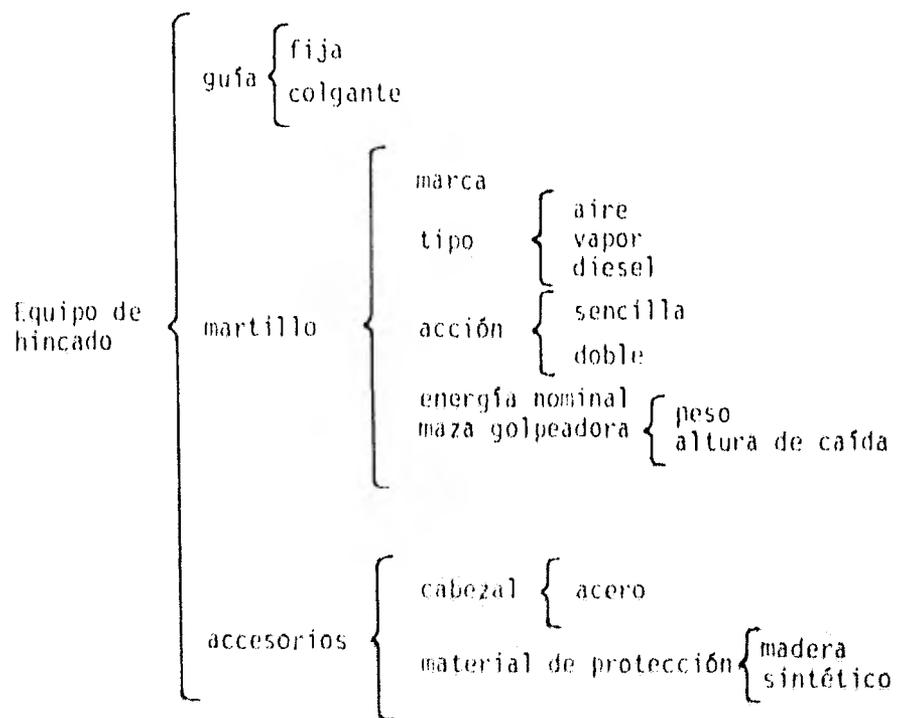
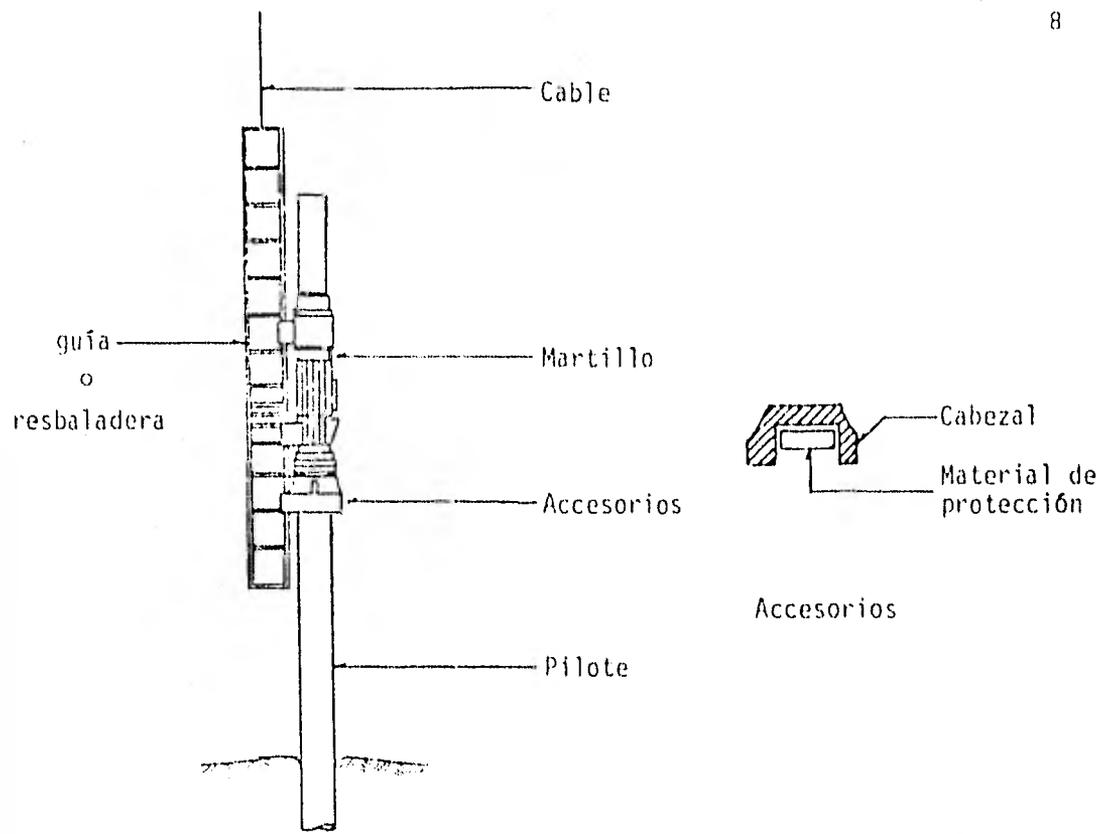


FIG 4. Características del equipo de hincado

original y de la cabeza del pilote después del hincado; por ello la posición precisa del pilote debe referirse a dicha nivelación.

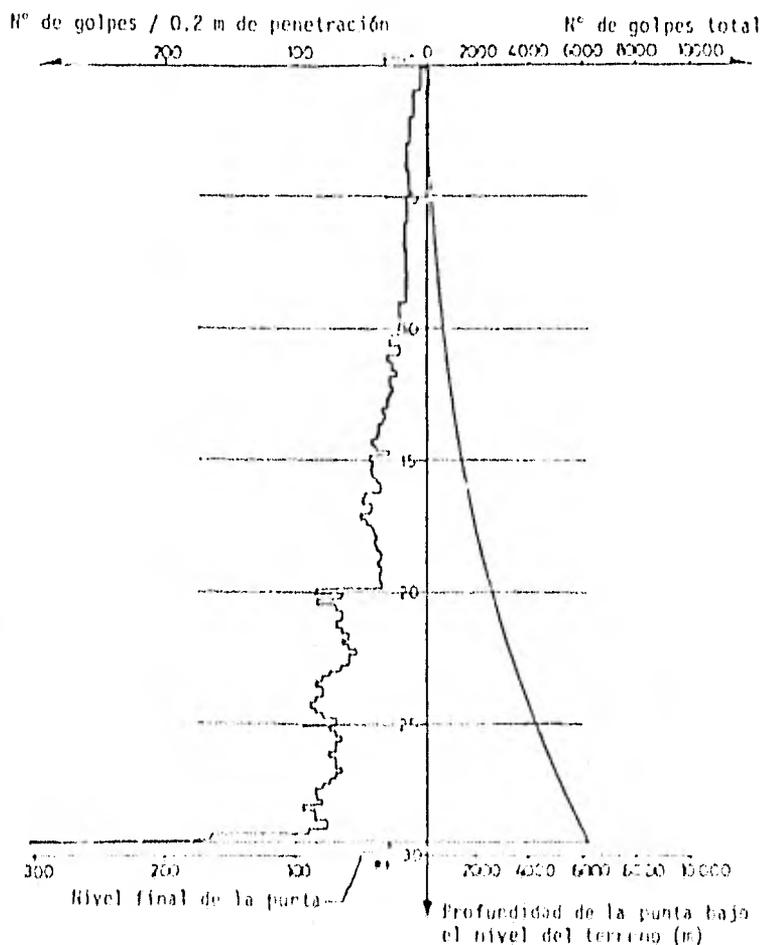


Fig. 5. Representación gráfica de la resistencia a la penetración.

En el caso de pilotes apoyados en suelos firmes, es importante definir la resistencia a la penetración del estrato de apoyo.

mediante el número mínimo de golpes para penetrar cierta longitud (rechazo) a fin de evitar el sobrehincado que podría dañar el pilote. Para ello se grafica directamente la recuperación elástica y el asentamiento neto del pilote en el tramo final del hincado; el dispositivo de medición se muestra en la fig 6, que consiste de un sistema de referencia horizontal en el que se desliza manualmente un lápiz a cada golpe, para dibujar las deformaciones en un papel resistente adherido al pilote. Esto se hace en 3 a 5 series de 10 golpes para definir así la penetración final en mm/golpe (rechazo) con el promedio obtenido (fig 7).

En el caso de suelos blandos la recuperación elástica al final del hincado no se mide, ya que carece de una interpretación confiable.

2.3 Registro de fabricación de pilas

La fabricación de una pila de prueba permite evaluar la aplicabilidad y la eficiencia del método constructivo y verificar el perfil estratigráfico de diseño, mediante la clasificación del material extraído de la perforación, así como las características geométricas y mecánicas de la pila; esto se logra llevando un registro de las técnicas y del equipo usado en cada una de las etapas de construcción (fig 8), para además definir posteriormente las especificaciones constructivas y el criterio de supervisión. La información que debe recopilarse en cada etapa se comenta a continuación.

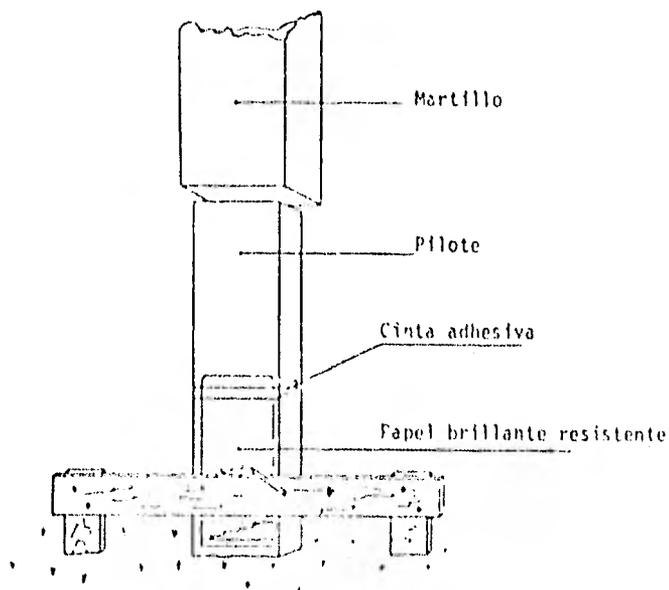


FIG 6. Medición directa de la recuperación elástica

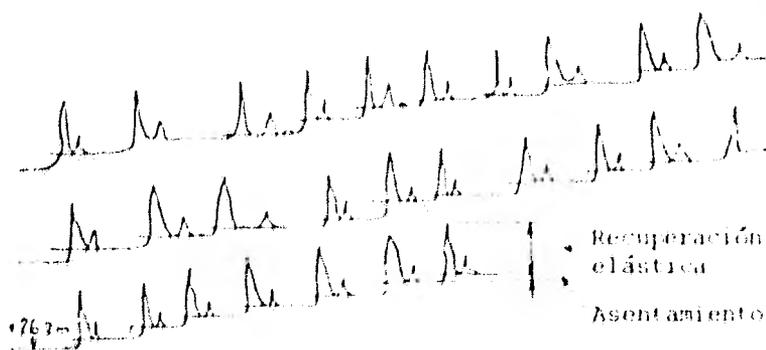


FIG 7. Registro de la recuperación elástica en el tramo final del hincado

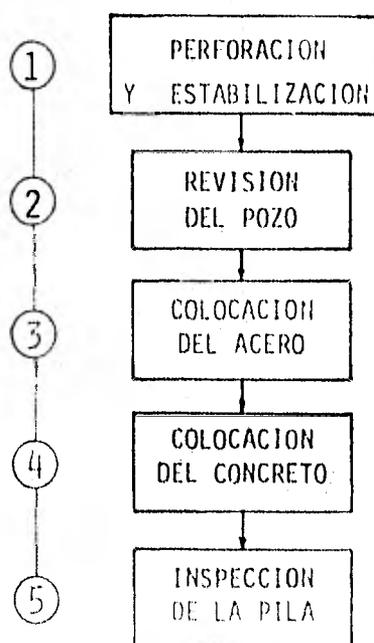


FIG 8 Etapas durante la construcción de una pila

2.3.1 Perforación

La perforación debe realizarse con un equipo que permita la verticalidad del pozo y que el fondo quede limpio, es decir, libre de azolves y caídos; durante el proceso de perforación debe clasificarse el material extraído, para ratificar la información geotécnica de diseño. En caso que sea necesario utilizar lodos de perforación, su densidad y viscosidad se deben definir de acuerdo al tipo de suelos, profundidad del nivel freático y estabilidad de las paredes.

2.3.2 Revisión del pozo

Al terminar la excavación se debe revisar que esté limpia en su interior, sin caídos de las paredes o residuos de la perforación y que el material de apoyo esté inalterado; esto último puede hacerse con pruebas de penetración estándar o de cono en el fondo. Además conviene verificar la geometría del pozo, midiendo con un calibrador eléctrico su diámetro a distintas profundidades y en su caso, las dimensiones de la campana; esta información permitirá calcular el volumen de excavación.

Una vez terminada la perforación, se determina el contenido de arena del lodo en el pozo, para decidir si es necesario sustituirlo por lodo fresco y limpio.

2.3.3 Colocación del concreto

Durante el colado debe evitarse la segregación y el lavado del concreto, así como su contaminación con material desprendido de las paredes o con el lodo de perforación; para ello es necesario colocarlo con una trompa, que deberá mantenerse sumergida entre 30 y 150 cm dentro del concreto durante toda la operación (fig 9). Debe vigilarse además que la cantidad total de concreto colocado sea igual o mayor al volumen excavado; en caso contrario, habrán penetrado azolves o caídos en el concreto.

2.3.4 Inspección de la pila

La calidad del colado de la pila de prueba deberá verificarse obteniendo núcleos continuos del concreto endurecido, para comprobar que no se contaminó con el lodo de perforación, que no quedaron huecos en el concreto y que la resistencia obtenida es adecuada; esto último se logra ensayando dichos núcleos a la compresión no confinada. Posteriormente a la recuperación de los corazones, es necesario rellenar la perforación con un mortero expansivo.

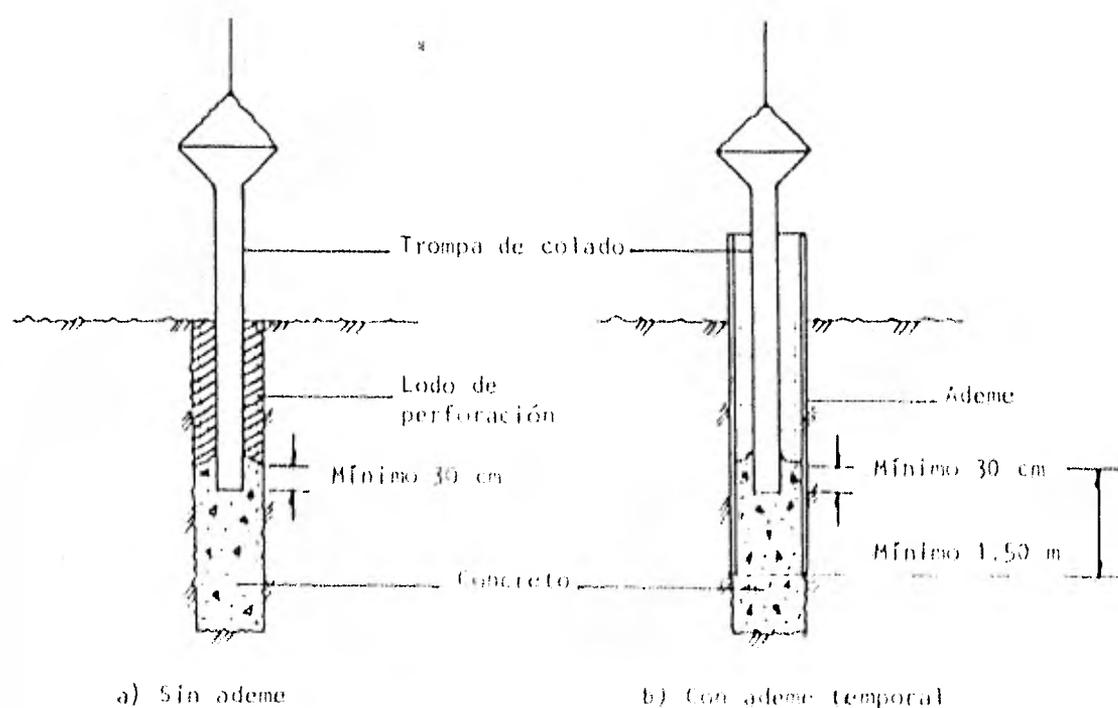


FIG. 9 Medidas para evitar la contaminación del concreto

3. PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICA EN COMPRESIÓN

Con estas pruebas se trata de definir el comportamiento del sistema pilote-suelo o pila-suelo, cuando se le somete a una secuencia de cargas verticales que simulen las que transmitirá la estructura. Se han propuesto numerosos procedimientos de prueba que esencialmente coinciden con alguno de los cuatro mencionados

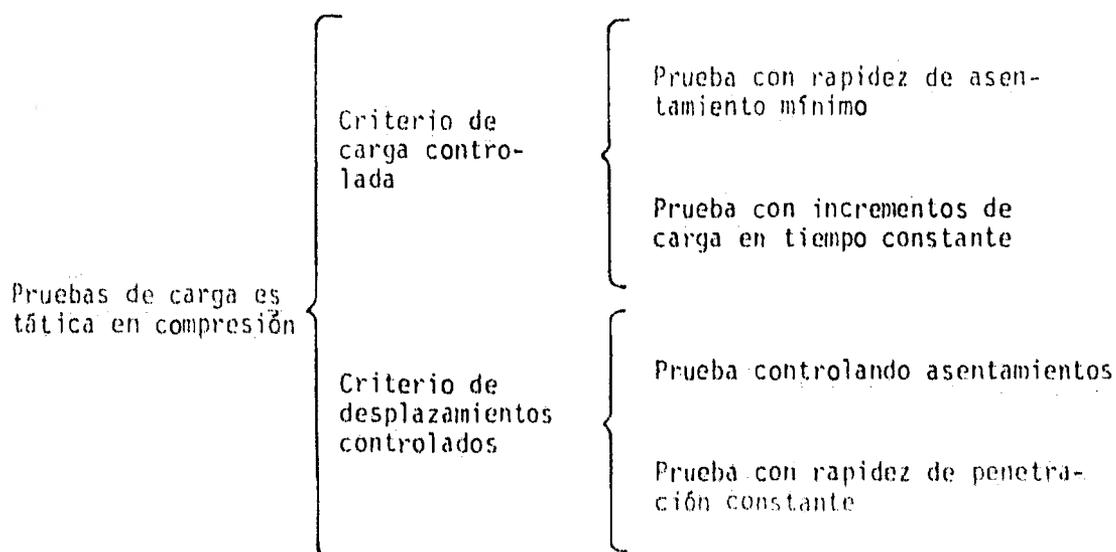


FIG 10. Tipos de pruebas de carga

en la fig 10; algunas instituciones también admiten pruebas que combinen dos de estos procedimientos, así como la aplicación repetida de ciclos de carga y descarga,

3.1 Criterio de carga controlada

Este tipo de prueba es la más extensamente aplicada; permite de-

finir la carga última que soporta un pilote aplicando la carga en incrementos y siguiendo alguno de los dos siguientes criterios:

- a) aplicar incrementos iguales de carga cuando la *rapidez de asentamiento* medida en la cabeza del pilote se reduzca a un valor *mínimo*
- b) aplicar incrementos iguales de carga en *incrementos de tiempo constantes*

3.1.1 Rapidez de asentamiento mínimo

Los incrementos de carga se aplican cuando la rapidez de asentamiento generada por el incremento previo de carga se haya reducido a un valor mínimo pre-establecido, usualmente de 0.25 mm/hr (ref 1); en cuanto a la magnitud de los incrementos de carga, se acostumbra que sean del 25% de la capacidad de carga de diseño Q_d (factor de seguridad de 3).

Durante la realización de la prueba, en cada incremento de carga se debe comprobar que la rapidez de asentamiento se ha reducido al valor mínimo pre-establecido, que como se muestra en la fig 11, corresponde a un tramo de la gráfica de control paralelo a la línea de referencia.

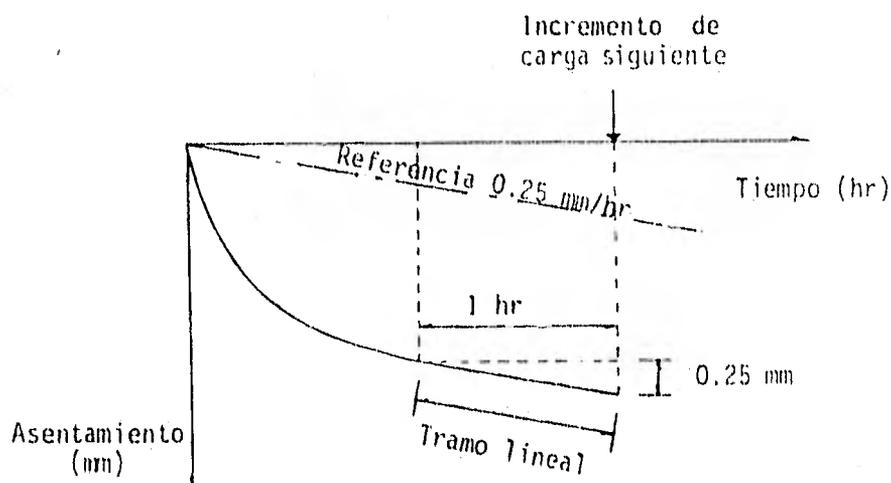


FIG 11. Control de la prueba

La carga máxima a la que se lleva la prueba es de por lo menos dos veces la carga de diseño Q_d , que se mantiene por 2 horas para después proceder a la etapa de descarga en decrementos que pueden ser del orden de $0.25 Q_{máx}$ a cada 20 minutos (fig 12): la recuperación del asentamiento se mide a los 5, 15 y 30 min después de haber retirado totalmente la carga, o si es posible, durante más tiempo.

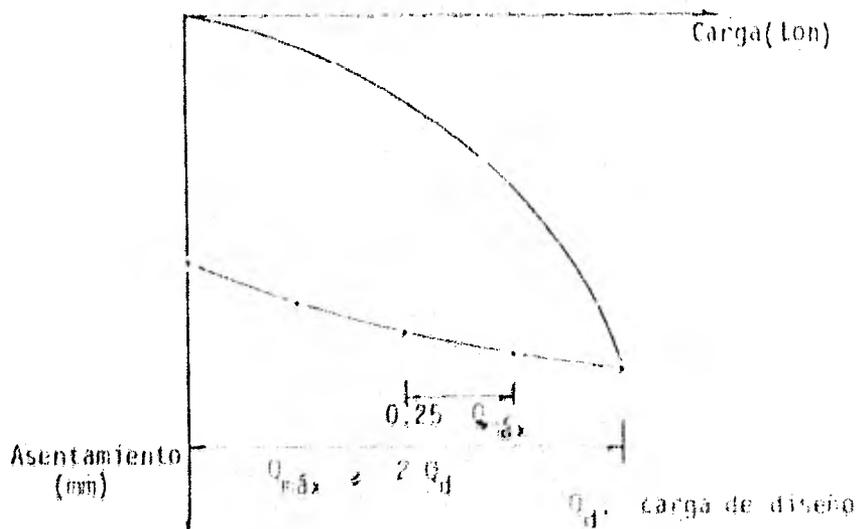


FIG 12. Etapa de descarga

La información obtenida en la etapa de carga de una prueba se muestra esquemáticamente en la fig 13.

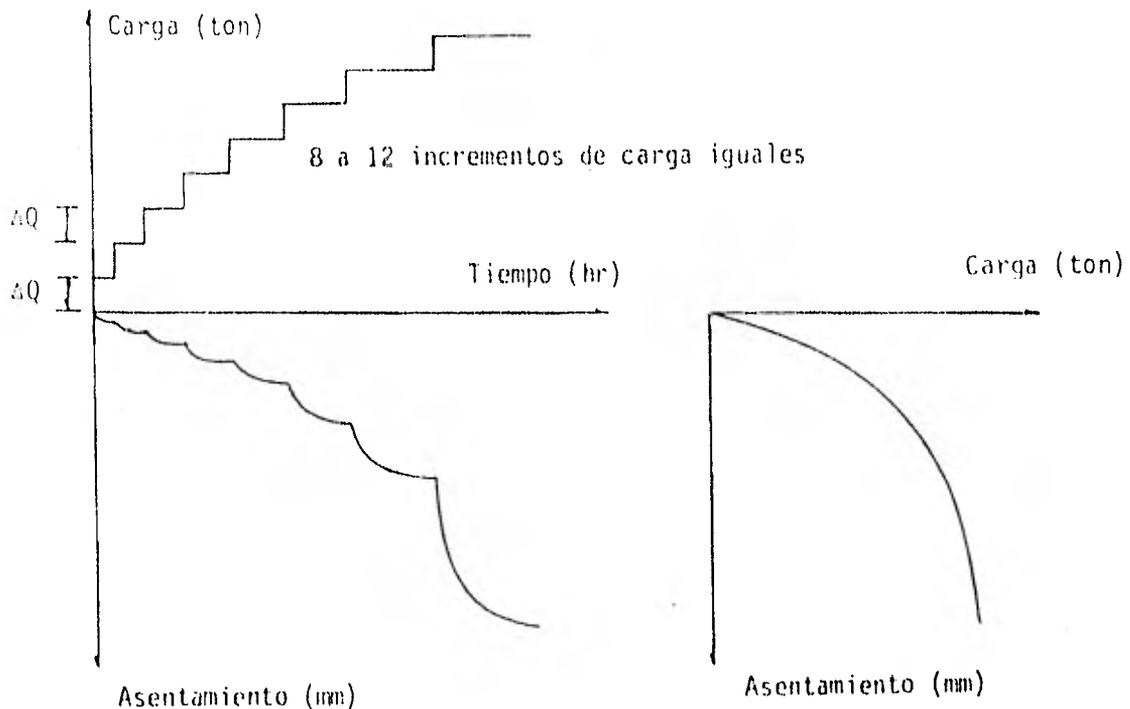


FIG 13. Resultados de la prueba

3.1.2 Incrementos de tiempo constantes

En esta prueba los incrementos iguales de carga se aplican a intervalos de tiempo constantes, usualmente de 15 min (ref 2); la magnitud convencional de los mismos es de 5% de la capacidad de carga última del pilote.

Este criterio se aplica sólo cuando el procedimiento anterior de rapidez de asentamiento mínimo requiere un tiempo de prueba tan grande que resulte inadmisibles; por ello algunas organizaciones (ref 1) proponen un tiempo límite de 2 horas entre in-

crementos de carga. La información que se obtiene con esta prueba es similar a la de la fig 13, salvo en que los incrementos de tiempo son constantes; la descarga se hace como en 3.1.1.

3.1.3 Con dos ciclos de carga y descarga

Un procedimiento común para ensayar pilotes consiste en aplicar dos ciclos de carga y descarga como se muestra en la fig 14. En el primer ciclo se aplica la carga vigilando que la rapidez de asentamiento sea mínima (inciso 3.1.1); una vez que se ha alcanzado la carga total, de 1 a 2 Q_d , se descarga. En el tramo de recarga se aplica la carga en incrementos de tiempo constantes

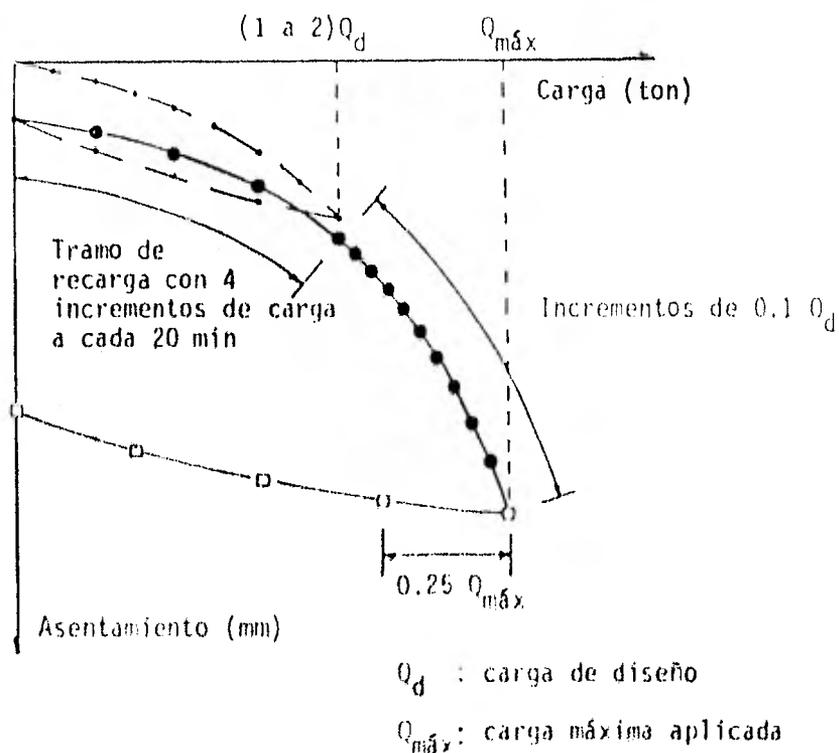


FIG 14. Prueba con dos ciclos de carga y descarga

(inciso 3.1.2); una vez que se alcance la carga que se había aplicado ($1 \text{ a } 2 Q_d$), se continúa con incrementos de carga de $0.1 Q_d$, siguiendo el criterio de que la rapidez de asentamiento sea mínima, hasta que se defina la carga máxima que puede soportar el pilote. La carga máxima aplicada ($Q_{m\acute{a}x}$) se mantiene por lo menos durante dos horas y después se descarga en decrementos de $0.25 Q_{m\acute{a}x}$ con intervalos de 20 minutos; la recuperación del asentamiento se mide a los 5, 15 y 30 min después de haber retirado totalmente la carga, o si es posible, por un tiempo mayor.

3.1.4 Con carga cíclica

Con esta prueba se determina la carga de fluencia de un pilote (ver inciso 3.5.2) bajo ciclos repetidos de carga y descarga, que varían entre un valor mínimo y un máximo, que usualmente es del doble del primero. Cada uno de los niveles de carga se mantiene durante un tiempo suficiente para que el pilote deje de asentarse o recuperarse; para ello se requiere un intervalo de 10 a 40 minutos (fig 15), que debe conservarse para todos los ciclos de prueba. Los valores de la carga y el asentamiento respectivo se registran a cada 2 minutos.

El procedimiento anterior se repite con intervalos de carga cada vez mayores, que pueden ser de $2/16$ a $1/16$; $4/16$ a $2/16$; $6/16$ a $3/16$; $8/16$ a $4/16$; etc, de la carga última (ref 2). Para cada uno de los rangos iniciales de carga se hacen 10 ciclos, después se incrementan a 15, y en la carga última como

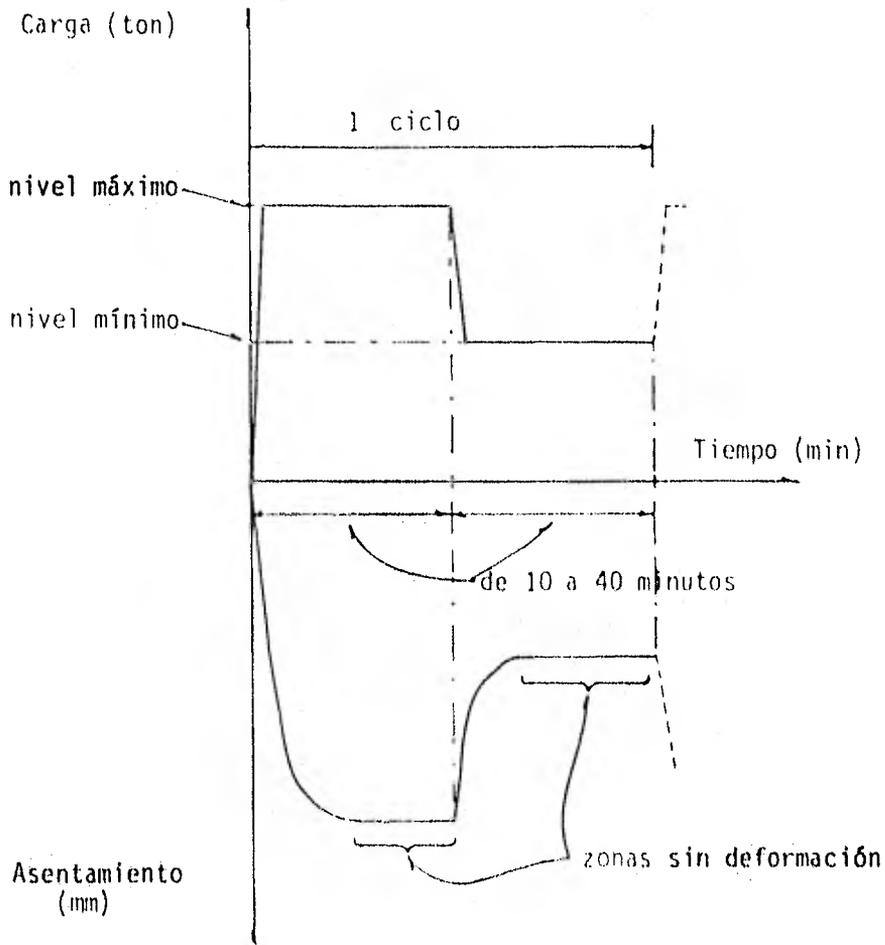


FIG 15. Control de un ciclo

nivel máximo se hacen 20 ciclos: la secuencia se ilustra en la fig 16. Los resultados de prueba se resumen como se muestra en la fig 17.

Para la ejecución de esta prueba se requiere un sistema hidráulico que permita aplicar los niveles de carga rápidamente y con precisión, además de mantener constante la carga aplicada.

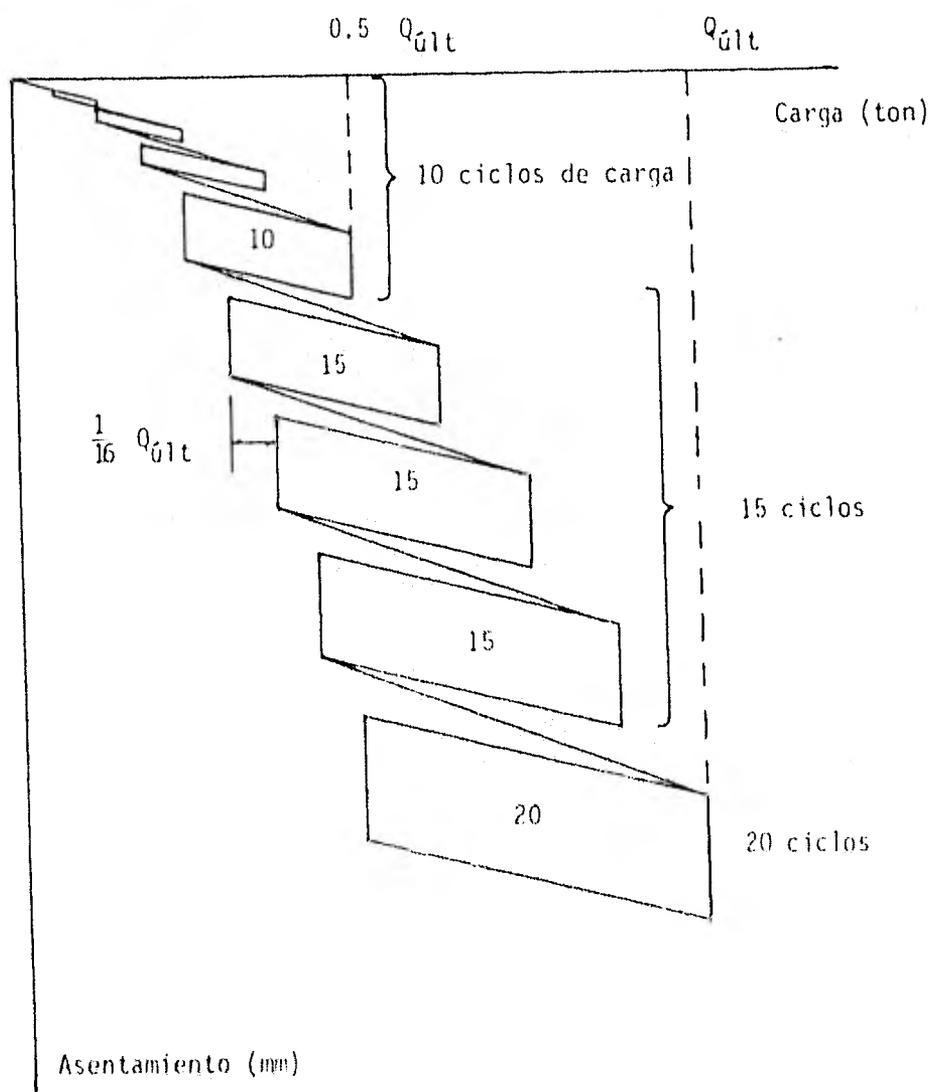


FIG 16, Secuencia de una prueba con carga cíclica

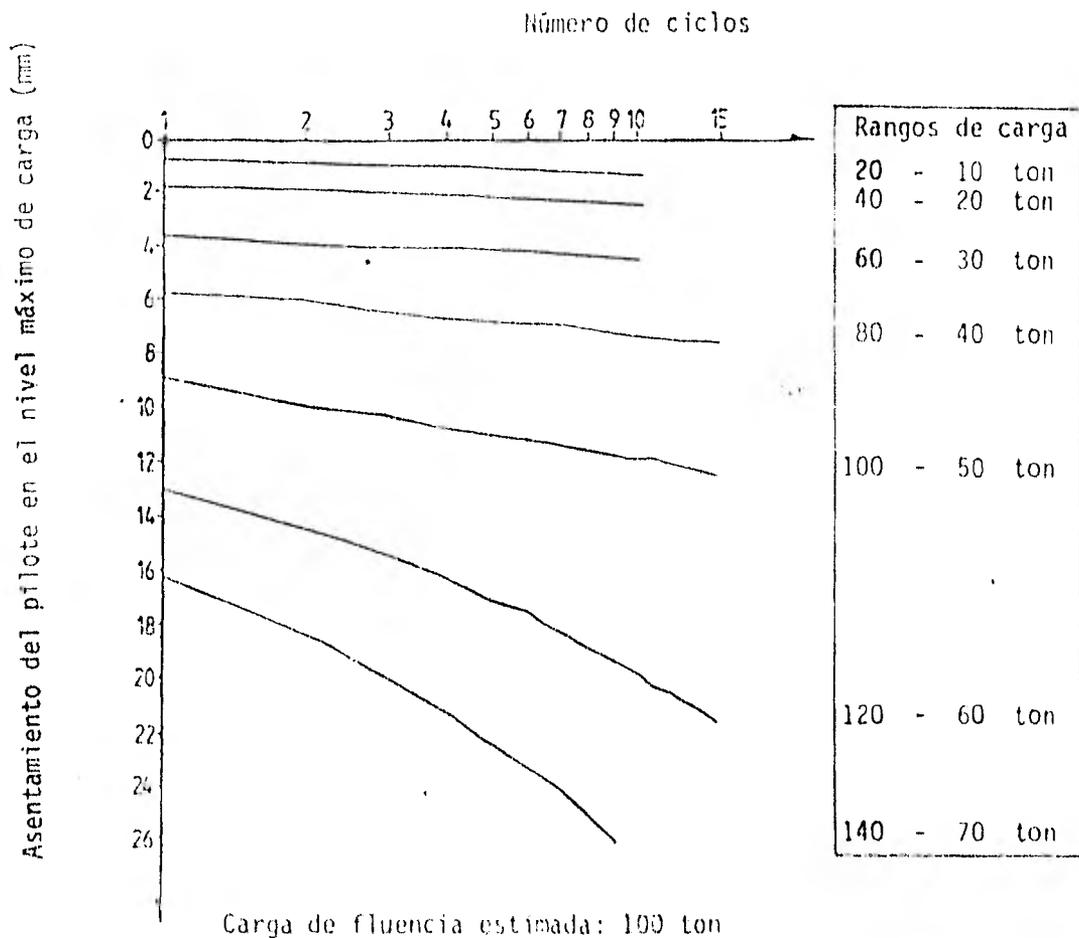


FIG 17. Resultados de una prueba con carga cíclica

3.2 Criterio de desplazamientos controlados

Las pruebas de carga de desplazamientos controlados se desarrollan para disminuir el tiempo necesario para definir la capacidad de carga de pilas o pilotes; el procedimiento de prueba se ajusta a cualquiera de los dos criterios siguientes:

- a) variar la carga aplicada controlando que los asentamientos inducidos en el pilote sean constantes
- b) variar la carga aplicada para que el pilote adquiriera una rapidez de penetración constante.

Las limitaciones más importantes para aplicar esta técnica son:

- a) no se puede distinguir el asentamiento inmediato para una carga aplicada y b) es indispensable un sistema hidráulico que permita variar los niveles de carga.

Para ejemplificar la relación que existe entre los resultados de una prueba de carga controlada y una con desplazamientos controlados, se puede señalar que la capacidad de carga determinada con el criterio de incrementos de tiempo constantes (inciso 3.1.2) es aproximadamente el 90% de la correspondiente al de rapidez de penetración constante.

3.2.1 Con control de asentamientos

Consiste en aplicar la carga necesaria para producir en el pilote incrementos de asentamientos de $0.01D$, siendo D el diámetro del área equivalente (ver tabla 1), hasta alcanzar un asentamiento total de $0.10D$. La magnitud de la carga necesaria para producir los incrementos de asentamiento constantes es variable en el tiempo, por ello el criterio de prueba consiste en inducirlos cuando la variación de carga necesaria para mantener el

asentamiento anterior sea menor que el 0.1% de la carga total aplicada por hora ($0.001 Q_i/hr$) hasta ese momento (fig 18).

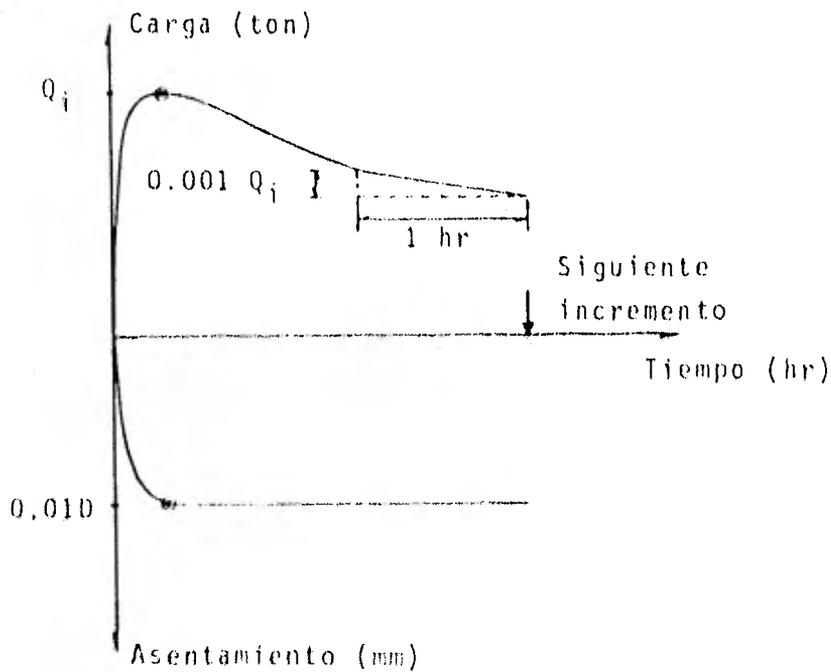
TABLA 1 FACTORES PARA DEFINIR EL DIAMETRO EQUIVALENTE

Sección	Dimensión significativa	k
Circular	Diámetro	1.00
Cuadrada	Lado	1.13
Triangular equilátera		0.55
Octagonal		2.48

D = diámetro equivalente

k = factor de ajuste

$D = k \times (\text{dimensión significativa})$



Los resultados de prueba se muestran en la fig 19; la descarga se hace en decrementos iguales de 0.25 de la carga máxima aplicada a cada 20 min, leyendo la recuperación del asentamiento a los 5, 15 y 30 min de haber retirado totalmente la carga, o si es posible, durante más tiempo.

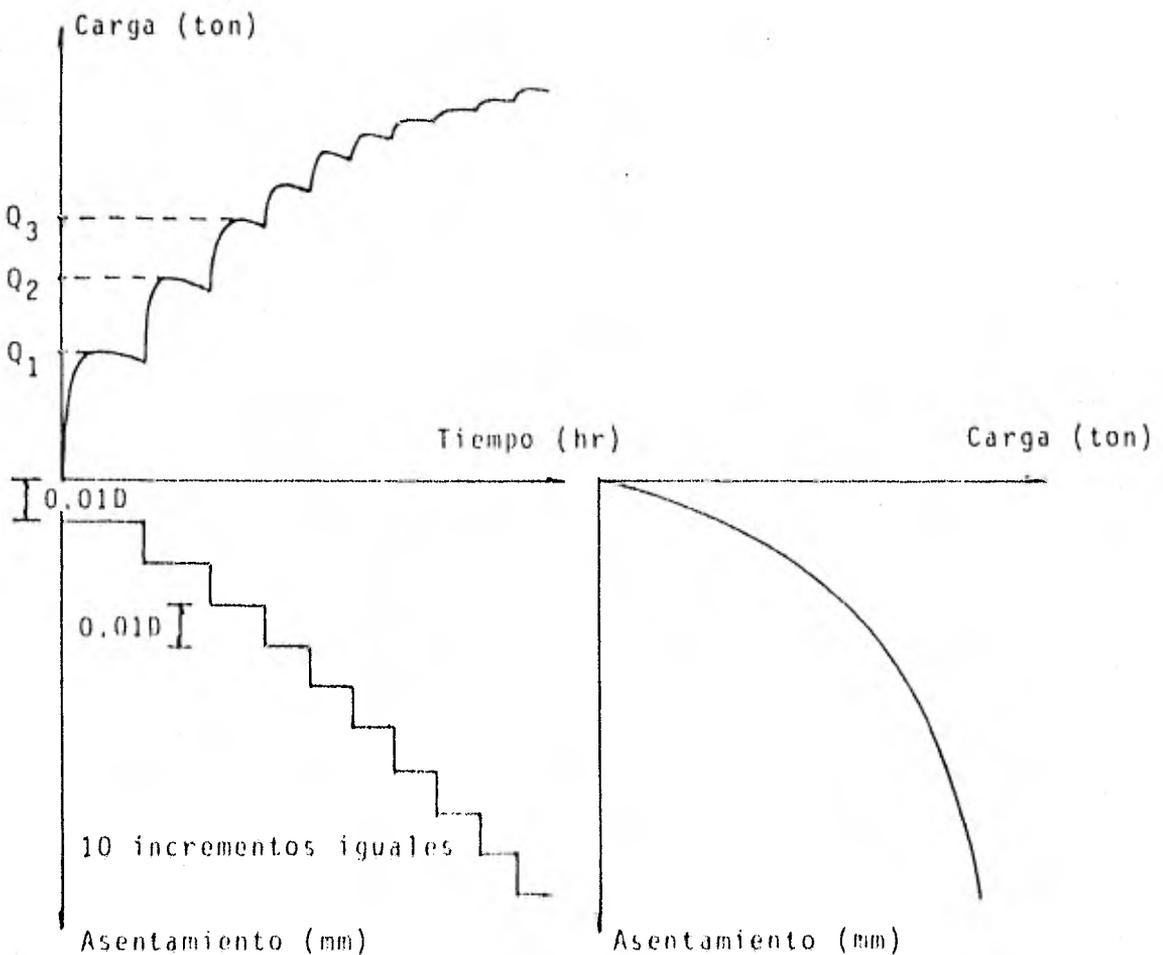


FIG 19. Resultados de carga de una prueba de asentamientos controlados

3.2.2 Con rapidez de penetración constante

La carga aplicada se va aumentando para hacer que el pilote penetre con una rapidez constante, de 0.25 a 1.25 mm/min en suelos cohesivos y de 0.75 a 2.5 mm/min en granulares; cuando la penetración total es de 15% del diámetro del pilote, o se llega a la capacidad del sistema de carga, se procede a la descarga (ver inciso 3.2.1). El control de la prueba se hace tomando lecturas de carga y asentamiento a cada dos minutos como mínimo (fig 20), reduciendo el intervalo de lectura en caso de variaciones importantes en la carga.

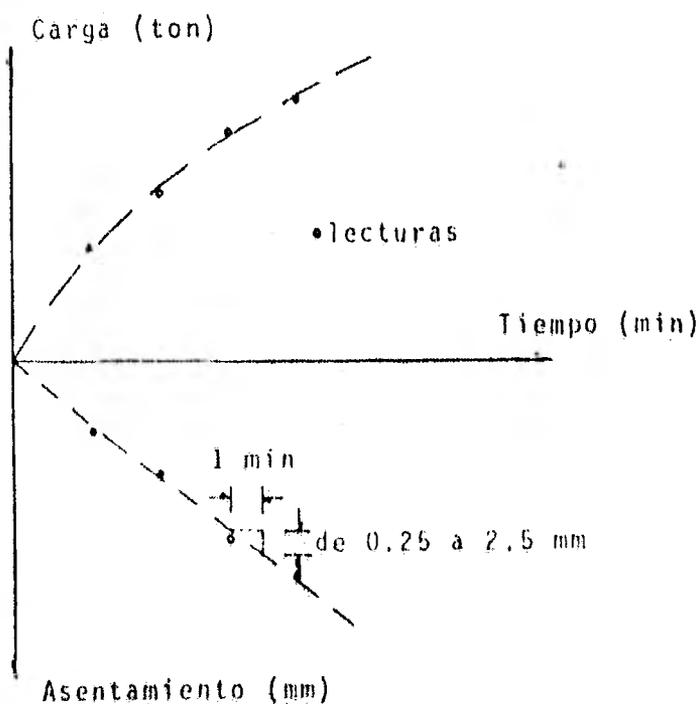


FIG 20. Control de la prueba

Los resultados de prueba se ejemplifican en la fig 21.

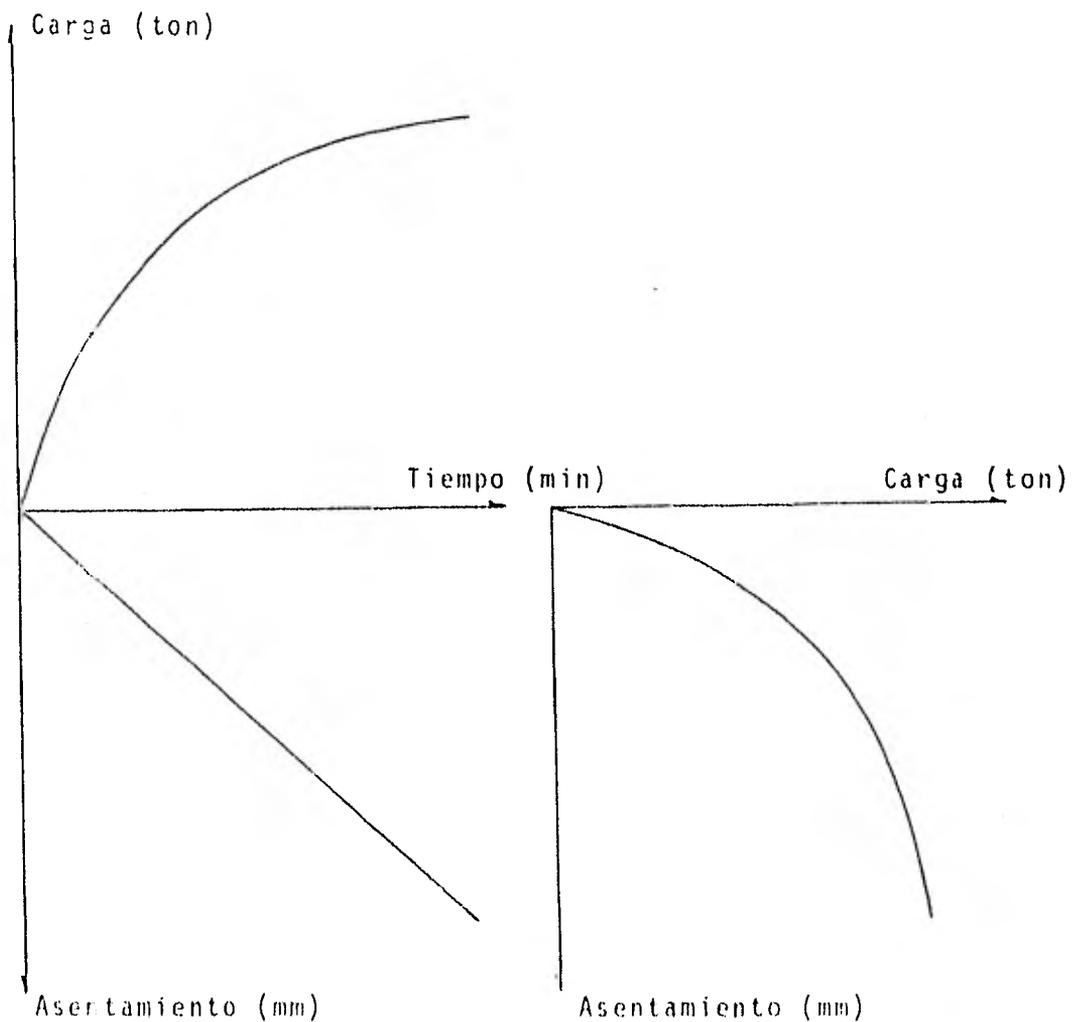


FIG 21. Resultados de carga de una prueba con rapidez de penetración constante

3.3 Instalación para una prueba de carga estática

La instalación para una prueba de carga debe diseñarse de acuerdo al tipo de prueba que se pretende realizar, para alcanzar de manera sencilla y segura los niveles de carga y deformación previstos, con un grado de precisión admisible; asimismo, su diseño debe permitir llevar un control confiable del desarrollo de la prueba y el registro de la información suficiente para la interpretación posterior.

Para realizar la prueba se requiere de los equipos y dispositivos de la fig 22.

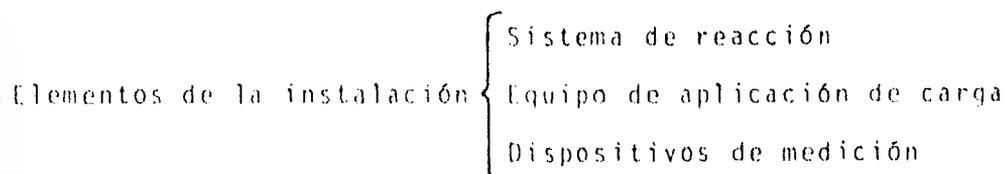


FIG 22. Elementos de la instalación

3.3.1 Sistema de reacción

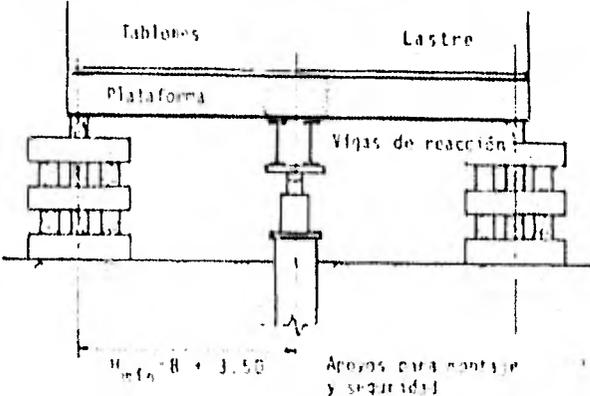
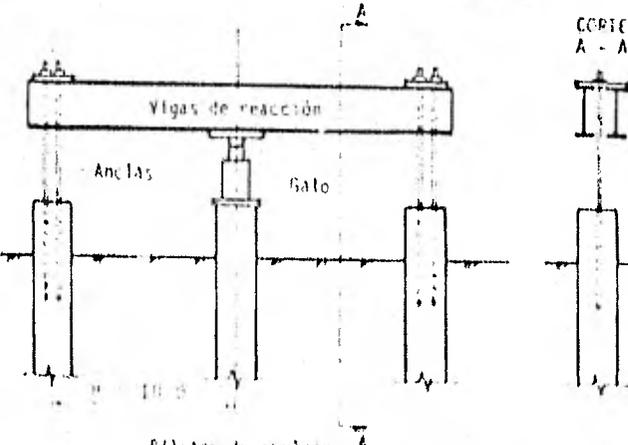
El sistema de reacción consiste esencialmente de un puente formado por dos o varias vigas, que pueden recibir lastre o tener sus extremos anclados, con el cual se da el apoyo necesario al equipo de carga; este sistema debe ser estable y seguro en todo momento, cuidando que las cargas que transmite al suelo no influyan en el comportamiento del pilote de prueba.

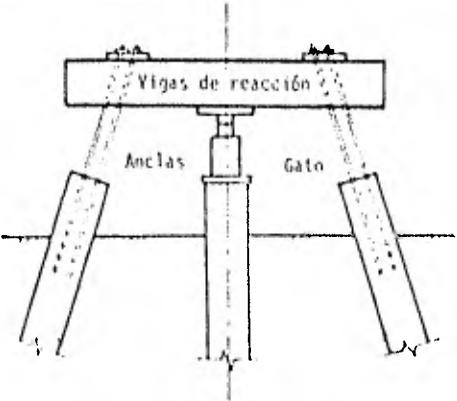
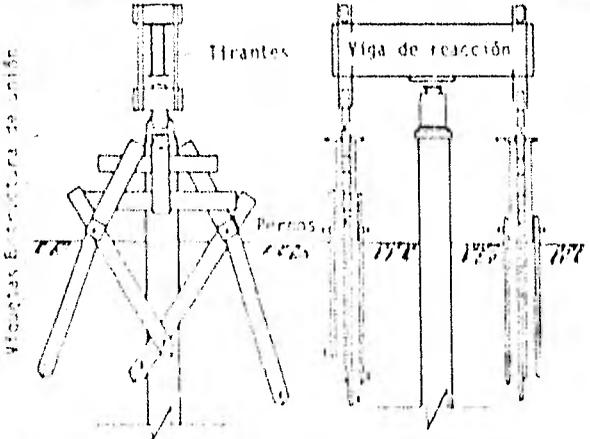
Los sistemas de reacción más empleados son: a) la plataforma con lastre, b) los pilotes de anclaje, y c) las viguetas de anclaje; todos ellos se muestran y describen esquemáticamente en la fig 23. A continuación se comenta brevemente los aspectos importantes que deben cuidarse para la utilización de alguno de estos sistemas.

a) *Plataforma con lastre.* Esta solución de reacción debe operarse con precaución, por el peligro de volteo que se presenta cuando falla el pilote o cuando el lastre es insuficiente y tiende a levantarse; las mediciones de deformación deben hacerse a distancia para evitar que los operadores se introduzcan bajo la plataforma lastrada.

Al inicio de la prueba, los apoyos transmiten al suelo el peso total del lastre; los esfuerzos así inducidos disminuyen conforme se incrementa la carga soportada por el pilote, por lo cual, si se consigue que el lastre tenga un peso ligeramente mayor a la carga total que soportará el pilote, la influencia de los apoyos no será significativa en la capacidad última.

b) *Pilotes de anclaje.* Para absorber la reacción se pueden seguir dos criterios: utilizar pilotes inclinados o verticales; la primera solución es más recomendable porque se reduce la interacción entre los pilotes de reacción y el de prueba.

SISTEMA	DESCRIPCION	DIAGRAMA DE INSTALACION	COMENTARIOS
<p>a) Plataforma con lastre</p>	<p>Plataforma compuesta por vigas de acero que soportan el lastre. Durante la instalación se apoya en dos soportes laterales, que son elementos de seguridad durante la prueba.</p>		<p>Se deben colocar apoyos laterales para prevenir que la plataforma adquiera una posición inestable. El lastre puede ser: pilotes, piezas de acero, bloques de concreto o tanques de agua. La distancia mínima entre cada uno de los apoyos y el pilote de prueba debe ser $H_{min} = B + 3.5D$.</p>
<p>b.1) Pilotes de anclaje verticales</p>	<p>Pilotes verticales unidos por vigas de reacción horizontales y que soportan la carga trabajando a tensión.</p>		<p>Comúnmente se usan de 2 a 4 pilotes de anclaje dependiendo de la magnitud de la carga por aplicar; en todo caso, la separación recomendable al pilote de prueba es $H = 10D$ y la mínima admisible es 5D. Se debe calcular la flecha de la viga de reacción para los niveles de carga previstos, para comprobar que la carrera del gato es suficiente.</p>

SISTEMA	DESCRIPCION	DIAGRAMA DE INSTALACION	COMENTARIOS
b.2) Pilotes de anclaje inclinados	Pilotes inclinados que se unen por vigas de reacción horizontales y soportan la carga trabajando a flexo-tensión.		Se requiere estudiar los esfuerzos transmitidos al suelo por los pilotes de anclaje para cada caso particular.
c) Viguetas de anclaje	Viguetas "I" que se hincan por pares y simétricamente a los lados del pilote, y se unen a la viga de reacción por medio de una estructura de perfiles laminados.		Las viguetas son de 6 a 7 m de longitud y su número varía de 4 a 24 para cargas entre 100 y 600 tons en la experiencia obtenida (ref 4).

Sin embargo, el sistema con pilotes verticales es ventajoso económicamente porque se puede aprovechar como anclaje los pilotes que formarán parte de la cimentación; en este caso debe cuidarse que estén alineados para que no existan excentricidades en la carga, además de rehincarlos para evitar una reducción de su capacidad por punta.

La distancia mínima entre los pilotes de anclaje inclinados y el de prueba se determinará a partir de un estudio de cada caso particular. Si se usan pilotes verticales, la separación más recomendable entre centros es de 10 diámetros (ref 3), aunque algunas instituciones la admiten de 5 (ref 1), que permite reducir el costo de las vigas.

Conviene destacar que con este criterio de reacción la interacción entre los pilotes es más significativa conforme se alcanzan niveles altos de la carga.

c) *Viguetas de anclaje*. Este sistema se desarrolló recientemente (ref 4); sus ventajas son su bajo costo y tiempo reducido de instalación. Sin embargo, se ha utilizado poco y por ello subsisten incertidumbres sobre la interacción entre las viguetas de anclaje y el pilote de prueba.

3.3.2 Equipo de aplicación de la carga.

La carga se puede aplicar al pilote de prueba de dos maneras diferentes :

a) Con *lastre* cuyo peso se incrementa gradualmente durante la prueba; en este caso las vigas de reacción sirven sólo para recibir el lastre y transmitirlo al pilote. Los apoyos laterales se usan para prevenir la caída del lastre por la falla del pilote, por lo que deben diseñarse de manera tal que no sobrepasen la capacidad de carga del suelo cuando reciban la carga total de prueba.

b) Con un *sistema hidráulico de presión* que se coloca entre las vigas de reacción y el pilote, en cuyo caso la reacción proviene de lastre o de piezas ancladas.

El primer procedimiento es más lento y poco recomendable debido a que durante las maniobras de colocación del lastre (carga) se puede golpear a los dispositivos de medición y desajustarlos o inutilizarlos por completo. Por su parte, el sistema hidráulico (fig 24) permite controlar fácilmente y con precisión los niveles de carga previstos si se consideran los siguientes aspectos:

- El sistema hidráulico de carga debe contar con un mecanismo que regule el movimiento del pistón, para mantener una carga constante conforme se asiente el pilote o para permitir una rapidez de deformación uniforme, dependiendo del tipo de prueba que se realice; en la ref 5 aparece la descripción de un mecanismo electro-hidráulico.
- Cuando el sistema de carga se integre por dos o más gatos, éstos deben estar interconectados.

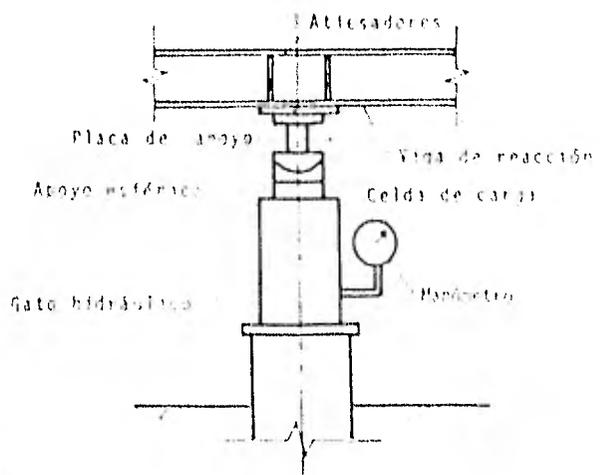
EQUIPO	DIAGRAMA DE INSTALACION	COMENTARIOS
<p>Sistema hidráulico</p>	 <p>El diagrama ilustra la configuración de un sistema hidráulico para pruebas. En la base se encuentra un gato hidráulico que alimenta un cilindro vertical. Este cilindro contiene celdas de carga y está montado sobre un soporte que incluye un apoyo esférico. Una viga de reacción horizontal está fijada al cilindro y soporta un conjunto de alfileres. Una placa de apoyo está situada entre la viga de reacción y el cilindro. Un manómetro está conectado al sistema para medir la presión.</p>	<p>El sistema hidráulico debe tener la capacidad de carga y la longitud de pistón requeridos durante la prueba. Es necesario un mecanismo que regule el movimiento del pistón para mantener una carga constante conforme se deforme el pilote o para permitir una rapidez de deformación uniforme, dependiendo del tipo de prueba que se realice.</p>

Fig. 2. Diagrama de instalación de un sistema hidráulico.

- La longitud del (de los) pistón(es) debe ser mayor que los asentamientos que sufrirá el pilote o pila.
- Sobre el pistón debe mantenerse un apoyo esférico, que facilita la alineación y elimina la transmisión de momentos al pilote o pila.
- La carga se transmite al pilote con una placa horizontal de acero adherida con mortero a la cabeza del elemento.

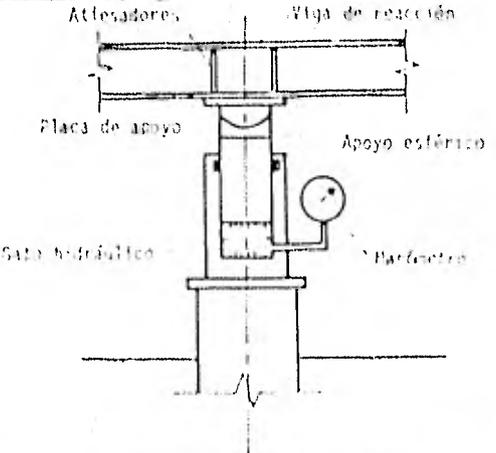
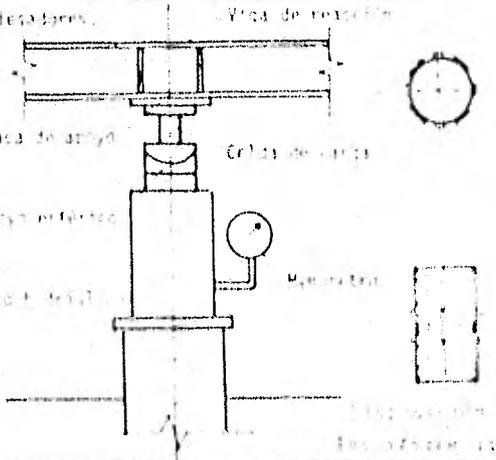
3.3.3 Dispositivos de medición

Las variables que deben medirse durante una prueba de capacidad de carga son: a) para pruebas con pilotes o pilas convencionales, los asentamientos que sufre la parte superior, las cargas aplicadas y los tiempos en que ocurren; b) para pilotes o pilas instrumentados internamente, se determina además la carga que transmitan a distintas profundidades. Esto último se hace cuando sea importante conocer la relación entre las resistencias de punta y fricción o la evolución con el tiempo de la transferencia de carga al suelo.

Los dispositivos que se utilizan para determinar las variables mencionadas se detallan a continuación.

3.3.3.a De la carga

La magnitud de la carga aplicada se puede evaluar con uno de los dos aparatos siguientes: con el manómetro (previamente calibrado) del sistema hidráulico o con una celda electrónica de carga; la instalación de ambos se presenta en la fig 75 y a

DISPOSITIVO	DESCRIPCION	DIAGRAMA DE INSTALACION	PRECISION	COMENTARIOS
1) Manómetro del sistema hidráulico	La celda es el manómetro (previamente calibrado) que mide la presión del aceite en el sistema hidráulico de carga.	 <p>Atlesadores, Viga de reacción, Placa de apoyo, Apoyo esférico, Gato hidráulico, Manómetro</p>	de 0.5% a 1.0% de su capacidad	En la calibración debe usarse el gato para cargar a la máquina universal y no al revés. Además, la calibración debe hacerse para distintas posiciones del pistón.
2) Celda de carga	Celda formada por un cilindro de acero instrumentado con deformímetros eléctricos (strain gauges).	 <p>Atlesadores, Viga de reacción, Placa de apoyo, Apoyo esférico, Gato hidráulico, Celda de carga, Manómetro</p>	de 0.1% a 0.3% de su capacidad	El apoyo de la celda con el gato debe ser esférico, para evitar la transmisión de momentos. Estos aparatos usualmente se calibran a una fuente de 10 V.

continuación se comentan sus limitaciones.

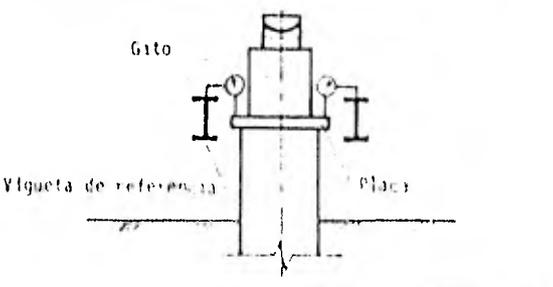
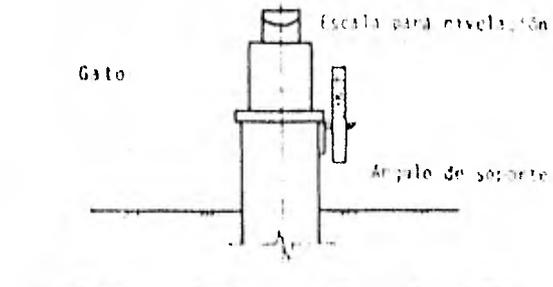
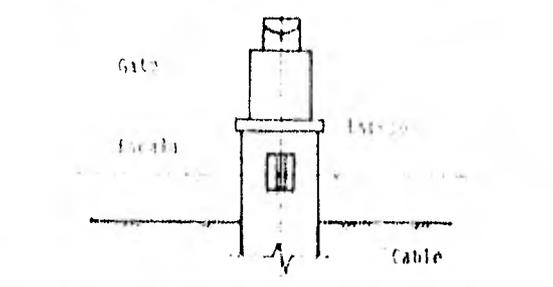
El empleo del manómetro que mide la presión del aceite en el sistema hidráulico de carga no es recomendable, porque se ha visto que puede llegar a tener errores hasta del 20% (ref 6). La causa principal de estos errores es la fricción que se desarrolla entre el pistón y las paredes del cilindro del gato, que adicionalmente depende de la posición del pistón, de su verticalidad, y de si durante la carga el pistón tiende a salir o a entrar en el depósito. Por lo anterior, el manómetro puede ser confiable como único aparato de medición solamente si se cumplen los siguientes requisitos: que el sistema hidráulico esté en perfectas condiciones, que la calibración se realice correctamente, lo que se logra cuando el gato se usa para aplicar la carga a la máquina universal en diferentes posiciones del pistón (erroneamente se puede aplicar la carga al gato), y que los apoyos del gato permitan que el pistón se mantenga vertical durante la prueba.

La celda electrónica de carga consiste usualmente de un cilindro de acero, instrumentado con deformímetros eléctricos - - (strain gauges); permite obtener mayor precisión, pero requiere de experiencia y operación cuidadosa por lo delicado del equipo de lectura y de la celda misma. Estos dispositivos deben estar protegidos mecánica y electrónicamente de los cambios de temperatura y humedad.

3.3.3.b De los asentamientos

Los asentamientos que sufre el pilote de prueba se deben medir con un sistema preciso y confiable; generalmente se utilizan micrómetros entre el pilote y un marco de referencia fijo. Además, es necesario usar un segundo sistema de medición, que aunque sea de menor precisión, permita tener una referencia adicional y controlar visualmente la prueba. Este segundo sistema de medición puede ser una escala graduada adherida al pilote, que se observa con un nivel topográfico o con un cable tensado como referencia (fig 26). En todos los casos, debe preverse la posibilidad de ajustar los centros de los aparatos sin afectar la continuidad de las lecturas. A continuación se describe la instalación de cada sistema, haciendo énfasis en sus detalles fundamentales.

Los micrómetros de carátula son medidores mecánicos de deformación; se sostienen con viguetas que sirven de referencia, apoyando su vástago de medición en placas fijas alrededor de la cabeza del pilote; las viguetas se colocan horizontalmente sobre apoyos alejados del pilote, para evitar que sean afectadas por los movimientos superficiales del suelo inducidos durante la prueba. Es conveniente usar cuatro micrómetros diametralmente opuestos y equidistantes al eje del pilote; este arreglo permitirá detectar una inclinación eventual del pilote durante su penetración. La precisión de lectura debe ser de ± 0.1 mm y la longitud del vástago de $\frac{1}{2}$ m por lo menos.

DISPOSITIVO	INSTALACION	DIAGRAMA DE INSTALACION	PRECISION	COMENTARIOS
1) Micrómetros	Los micrómetros se montan en viguetas de referencia, con sus vástagos de medición apoyados en placas fijas al pilote.		0.10 mm	Se recomienda utilizar cuatro micrómetros o tres como mínimo; el rango de medición de los micrómetros debe ser de 5 cm por lo menos. Los errores provocados por temperatura son significativos.
2) Nivel topográfico	Se adhiere al pilote una escala graduada en milímetros, que se observa con un nivel topográfico.		> 1 cm	Las mediciones deben hacerse con ayuda de un punto de referencia controlado con un banco de nivelación. El aparato topográfico debe colocarse equidistante del pilote y del punto de referencia. La inclinación del pilote provoca errores de lectura.
3) Cable tensado frente a una escala	Se adhiere al pilote un espejo que lleva una escala graduada en milímetros; la referencia horizontal es un cable tendido a tensión entre dos postes alejados del pilote.		2 mm	Se recomienda localizar los dos postes para tensar el cable a una distancia de 10 diámetros del pilote. El espejo reduce la magnitud del error de paralaje.

Estos dispositivos de medición deben mantenerse en la sombra para protegerlos de los cambios de temperatura; por su parte, las viguetas de referencia deben además forrarse con un aislante térmico de fibra de vidrio o poliestireno y papel aluminio. Asimismo, la superficie de las placas de apoyo debe estar pulida, para que el vástago del micrómetro pueda deslizarse libremente en el caso de que ocurran giros de la cabeza del pilote.

El nivel topográfico permite observar una escala graduada en mm adherida a la cabeza del pilote; durante las mediciones, el nivel se sitúa a una distancia de la prueba de por lo menos 50 diámetros (fig 26.2), (ref 6). Cuando se usa esta técnica de medición es necesario contar con un banco de nivelación para controlar el punto de referencia usado; la precisión que se alcanza es de ± 1 mm.

Como segundo sistema de medición de asentamientos, también se utiliza un cable tendido horizontalmente, que sirve de referencia a una escala fija al pilote; las lecturas se hacen a simple vista (fig 26.3). La escala se adhiere a un espejo para disminuir los errores de paralaje; por su parte, los apoyos del cable se localizan a una distancia de 10 diámetros, del pilote. Este dispositivo tiene las ventajas de ser el más sencillo de instalar y su facilidad de lectura. La precisión que puede obtenerse es de ± 2 mm.

3.3.3.c De los asentamientos de la punta

Midiendo los asentamientos de la punta del pilote o pila durante la prueba, es posible separar, en forma aproximada, las resistencias de punta y fricción en los distintos niveles de carga aplicada; la información obtenida se interpreta con ayuda de una curva esfuerzo-deformación representativa del comportamiento del elemento.

La referencia de nivel de la punta consiste de un tubo de acero que se aloja en un conducto longitudinal, coincidente con el eje del pilote o pila, y que se apoya en el fondo del conducto, cercano a la punta del elemento. La medición se efectúa con un micrómetro apoyado sobre el tubo de acero y sostenido con el marco de referencia fijo de los micrómetros de la prueba (fig 27). La precisión del micrómetro debe ser de ± 0.01 mm.

Cuando se usa este dispositivo, la carga se transmite con una pieza de acero, con la misma forma de la sección transversal del pilote, provista de ranuras que permitan el paso del soporte del micrómetro y hacer las lecturas a distancia. El conducto longitudinal puede hacerse colocando un tubo de plástico durante la fabricación del pilote o pila. La ventaja principal de este dispositivo es su facilidad de instalación, que favorece su utilización en la mayoría de las pruebas convencionales.

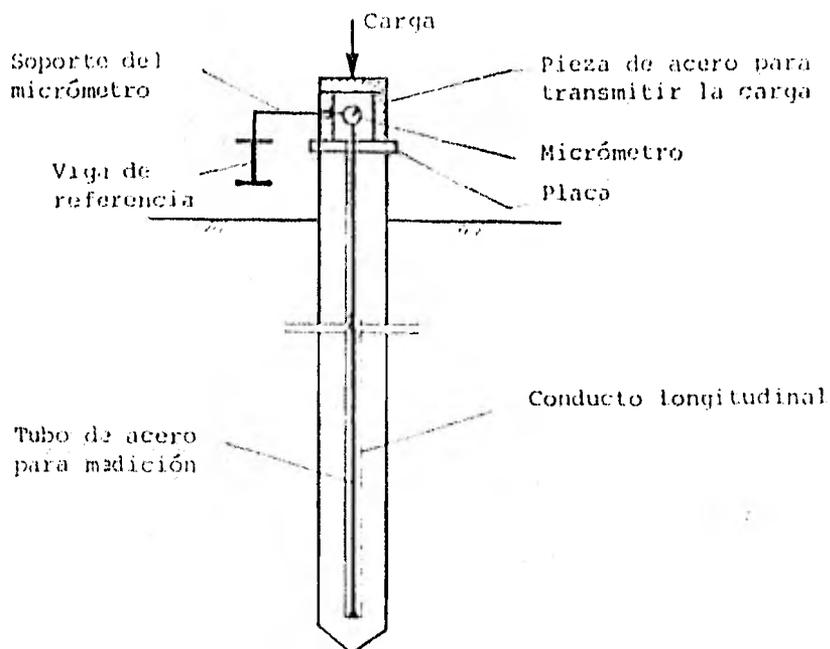


FIG 27 Dispositivo para medir los asentamientos de la punta

3.3.3.d De la distribución de esfuerzos

Se puede requerir la determinación de los esfuerzos a lo largo del pilote en el caso de cimentaciones de estructuras importantes o cuando el número de pilotes es muy grande. Estas mediciones se efectúan con celdas de carga axial colocadas a distintas profundidades; en todos los casos, las celdas deben cumplir con lo siguiente:

- No debe afectar el comportamiento mecánico del pilote o pila; es decir, las características de esfuerzo y deformación del elemento de prueba deben ser similares a las de un pilote o pila no instrumentado.

- Debe medir las cargas con una precisión del 2% de la carga última calculada.
- El funcionamiento, la precisión y el costo de la celda no deben afectarse con los esfuerzos inducidos durante el manejo y la hincada del pilote o la fabricación de la pila.
- El costo de la celda debe mantenerse estable con el tiempo; esto es particularmente importante para efectuar mediciones a largo plazo.
- La capacidad de carga de la celda debe ser similar al nivel máximo de carga previsto, para obtener la mayor precisión posible.

Los dispositivos más usuales se muestran esquemáticamente en la fig 28. A continuación se describe brevemente su funcionamiento y se comentan sus características y ventajas más importantes.

La celda hidráulica de carga o gato plano está formado por láminas delgadas de acero soldadas perimetralmente; su interior está lleno de aceite que transmite su presión a un diafragma de interfase; la presión del aceite se genera por la carga soportada por las láminas (fig 28.1). Para determinar la carga aplicada, se inyecta aire al diafragma; cuando se iguala la presión en sus dos caras se advierte salida de aire por el tubo de alivio; en ese momento se mide la presión con un manómetro. Esta celda generalmente se utiliza en pilas; se coloca antes del

DISPOSITIVO	DESCRIPCION	DIAGRAMA DE INSTALACION	COMENTARIOS
1) Celda hidráulica	<p>Celda formada por dos láminas delgadas de acero soldadas perimetralmente; el espacio entre las láminas está lleno de aceite, que transmite su presión a un diafragma de interfase.</p>		<p>Generalmente se utiliza en pilas; es de bajo costo y su uso permanece más tiempo estable.</p>
2) Celda electrónica	<p>La celda consiste de un cilindro corto de acero con placas soldadas en sus extremos; el cilindro se instrumenta con deformómetros eléctricos (strain gauges).</p>		<p>Usualmente se instala en pilotes; debe contar con un recubrimiento protector, que además dé continuidad al pilote. Permite determinar los esfuerzos inducidos durante el empuje e hincado.</p>

colado del elemento, dejando en su posición los ductos longitudinales para la inyección del aire.

Las ventajas principales de la celda hidráulica son su bajo costo y la mayor estabilidad de su cero con el tiempo.

La celda electrónica de carga usualmente se instala en pilotes; consiste de un cilindro corto de acero con placas soldadas en sus extremos, las cuales tienen soldados tramos de varillas de anclaje para integrar la celda al cuerpo del pilote, que actúa como un tramo de él. El cilindro se instrumenta con deformímetros eléctricos (*strain gages*), de preferencia antes de la fabricación del pilote. El diámetro y espesor del tubo se eligen de acuerdo a la capacidad de carga que soportará la celda, teniendo en cuenta que los esfuerzos de hincado son mayores a los de trabajo.

En la fig 28.2 se muestra una solución para estas celdas, la cual ha demostrado ser confiable (ref 7); nótese que la protección de la celda y la continuidad del pilote se ha logrado con un recubrimiento de asfalto. La calibración de las celdas debe realizarse incluyendo el recubrimiento protector.

La ventaja más importante de la celda electrónica es que permite determinar los esfuerzos inducidos durante el manejo e hincado del pilote.

3.4 Presentación de los resultados

La presentación de los datos obtenidos durante el hincado del pilote o la fabricación de la pila y la ejecución de la prueba de carga debe facilitar su correcta interpretación; para ello, conviene usar gráficas donde se represente la siguiente información básica:

- a) Penetración vs número de golpes
- b) Recuperación elástica
- c) Carga vs asentamiento
- d) Carga y asentamiento vs tiempo
- e) Carga vs asentamiento de fluencia
- f) Número de ciclos vs asentamiento

3.4.1 Gráfica de la penetración vs número de golpes

En esta gráfica se presenta la variación con la profundidad del número de golpes para producir de 0.2 a 1.0 m de penetración (ver inciso 2.2.2) del pilote, así como el número de golpes total acumulado para cada profundidad. Esta figura se complementa con la estratigrafía determinada con un sondeo cercano, además de los comentarios necesarios para indicar cualquier interrupción durante el hincado. Un ejemplo de esta gráfica se presenta en la fig 29.

3.4.2 Gráfica de la recuperación elástica

Esta figura consiste en la reproducción de la gráfica de recuperación elástica obtenida en el campo durante el último tramo

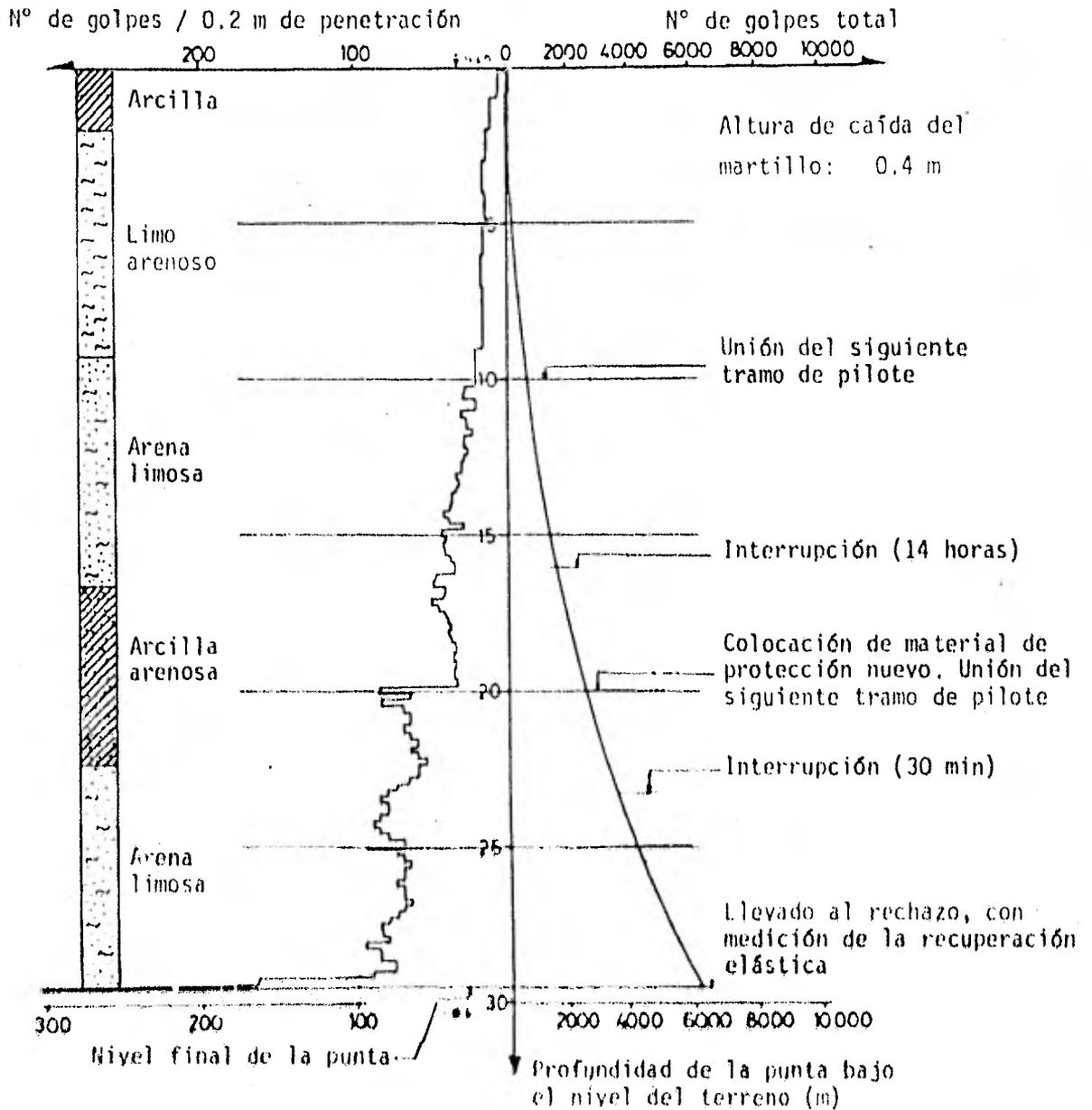


Fig. 12 Representación gráfica de la resistencia a la penetración

de hincado (ver inciso 2.2.3), en la que se agrega una tabla con los valores promedio de la recuperación elástica y la penetración (en mm/golpe) medida de la gráfica, para cada una de las series de 10 golpes efectuada. Como información adicional, conviene incluir la localización y nivel de desplante del pilote, además de la marca, tipo y condiciones de operación del martillo. En la fig 30 se presenta un ejemplo del registro con los datos necesarios.

3.4.3 Gráfica carga vs asentamiento

En las pruebas con carga controlada se grafica el asentamiento máximo que ocurra a la primera hora de haber aplicado cada nivel de carga (ref 8); en las de asentamiento controlado se hace lo recíproco. En el caso de pruebas con dos ciclos de carga y descarga, deben dibujarse ambos; cuando se trate de una prueba cíclica, se grafica el asentamiento correspondiente a la carga máxima del primer ciclo de cada rango de carga aplicado (ver fig 15). En todos los casos se dibuja también la etapa de descarga.

La gráfica carga vs asentamiento conviene dibujarla a una escala en que la recta representativa de la compresión elástica de una columna de las mismas características del pilote o pila Δ_p forma 10° con la horizontal (fig 31); Δ_p se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta_p = \frac{P}{AE}$$

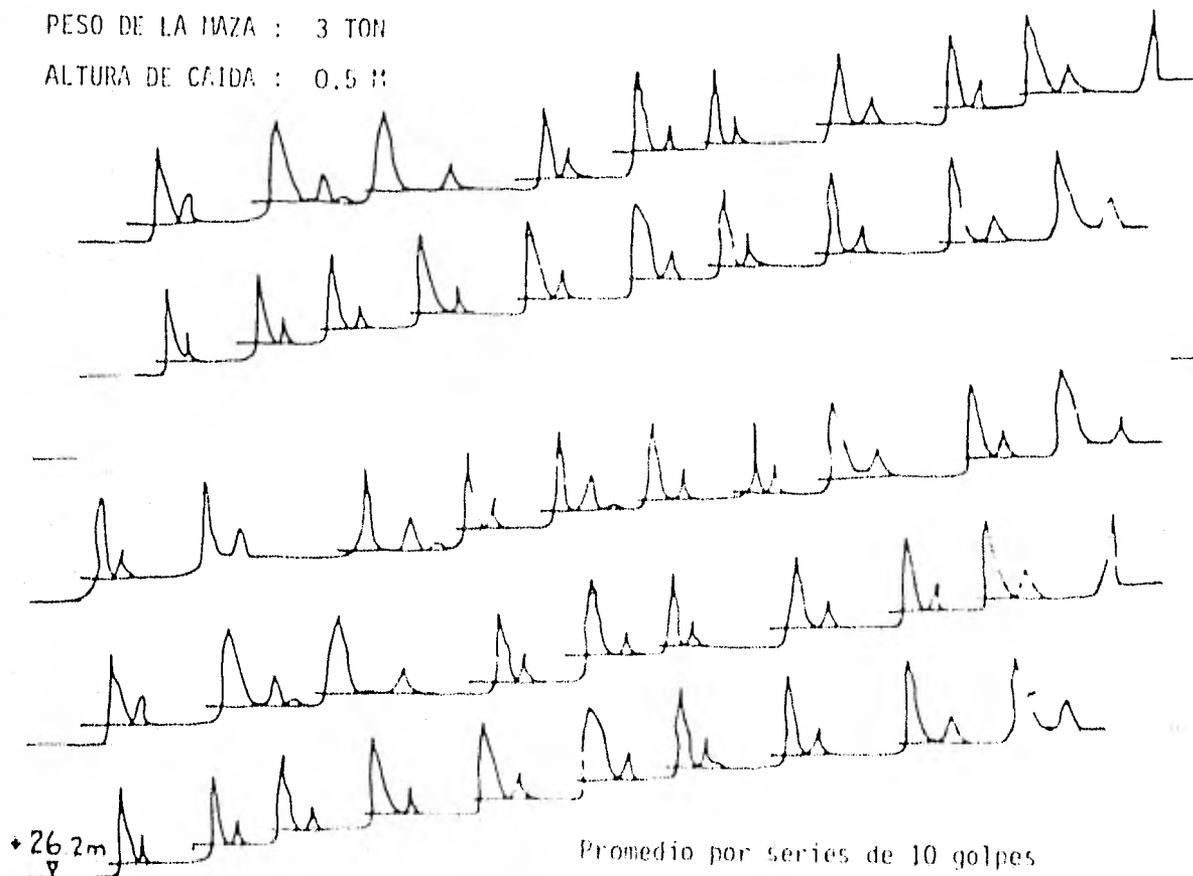
OBRA: PILOTE N° 3

LOCALIZACION: PARTE CENTRAL DE LA ESTRUCTURA

PROFUNDIDAD DE LA PUNTA: 26.3 M

PESO DE LA MAZA : 3 TON

ALTURA DE CAIDA : 0.5 M



RECUPERACION ELASTICA (mm/golpe)

11.0 11.0 11.0 11.5 11.0

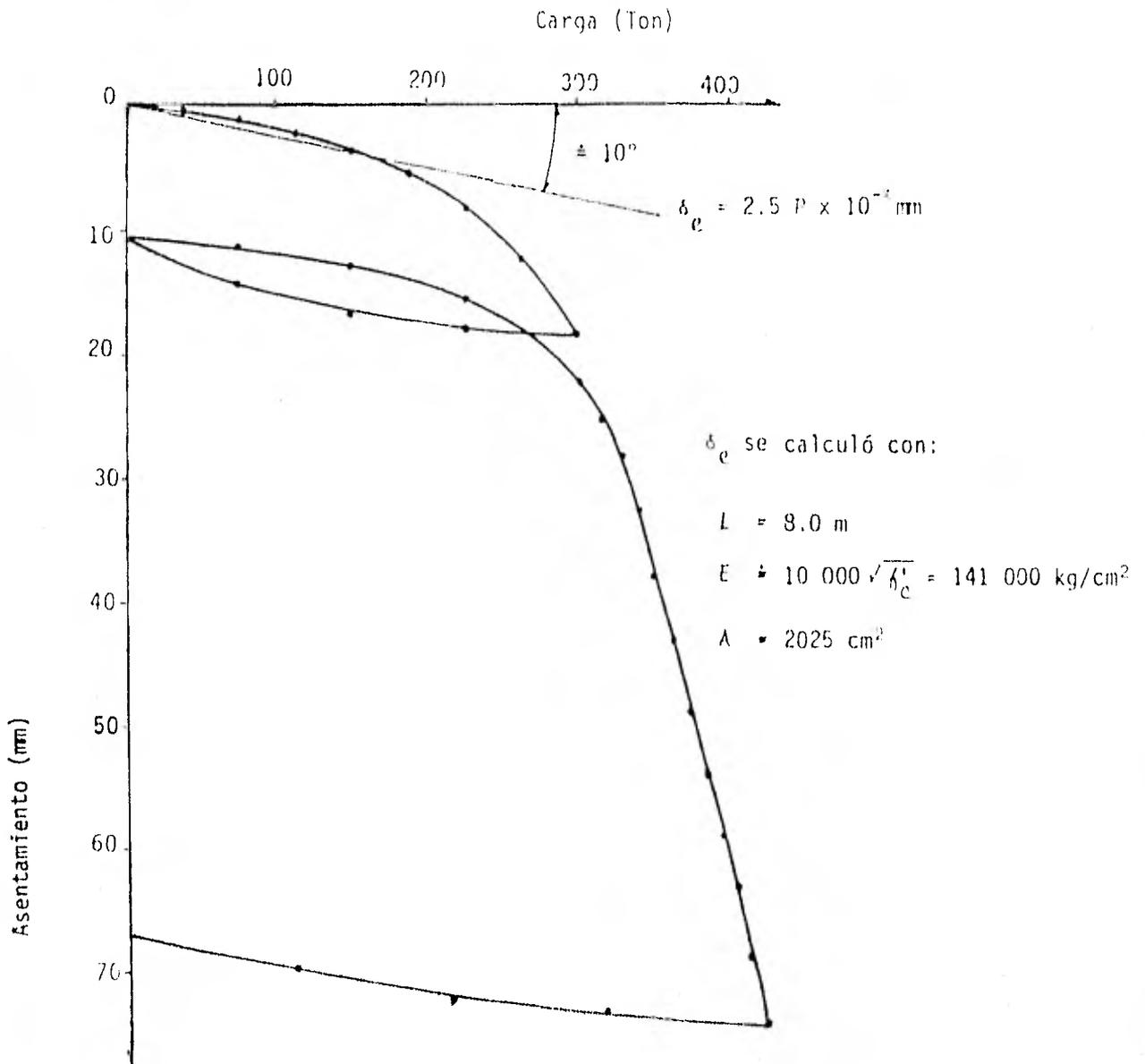
PENETRACION (mm/golpe)

1.9 2.0 2.1 1.9 2.0

LUGAR:

FECHA:

FIG 30 Registro de recuperación elástica



Pilote: Prefabricado de concreto
Sección 45x45 cm, longitud 3.0 m

Fecha de hincado:

Fecha de prueba:

Perfil estratigráfico: 0 - 1.5 m arcilla de baja compresibilidad

1.5 - 11.0 m grava fina limosa

11.0 - 13.5 m arena media limosa

FIG 31. Gráfica carga vs asentamiento

donde

- δ_e compresión elástica, en mm
- P carga aplicada, en Ton
- L longitud del pilote o pila, en m
- A área de la sección transversal, en cm^2
- E módulo de rigidez representativo del material de fabricación del pilote o pila, en kg/cm^2

3.4.4 Gráfica carga y asentamiento vs tiempo

En estas gráficas se muestra la variación con el tiempo de la carga y el asentamiento durante la prueba; se dibujan en el eje horizontal los valores del tiempo, usando una escala que permita representarlo con duración de la prueba en 10 cm; para las otras variables se utiliza la escala determinada en el inciso anterior. La presentación final de las dos gráficas, junto con la de carga vs asentamiento, tendrá la disposición mostrada en la fig 32.

3.4.5 Gráfica carga vs asentamiento de fluencia

Esta gráfica puede incluirse en los resultados de las pruebas de carga controlada con incrementos de tiempo constantes; se dibuja con los valores de los asentamientos que se presentan en los últimos 3 min de carga incremento de carga (considerando incrementos de tiempo de 15 min), como se ejemplifica en la - fig 33.

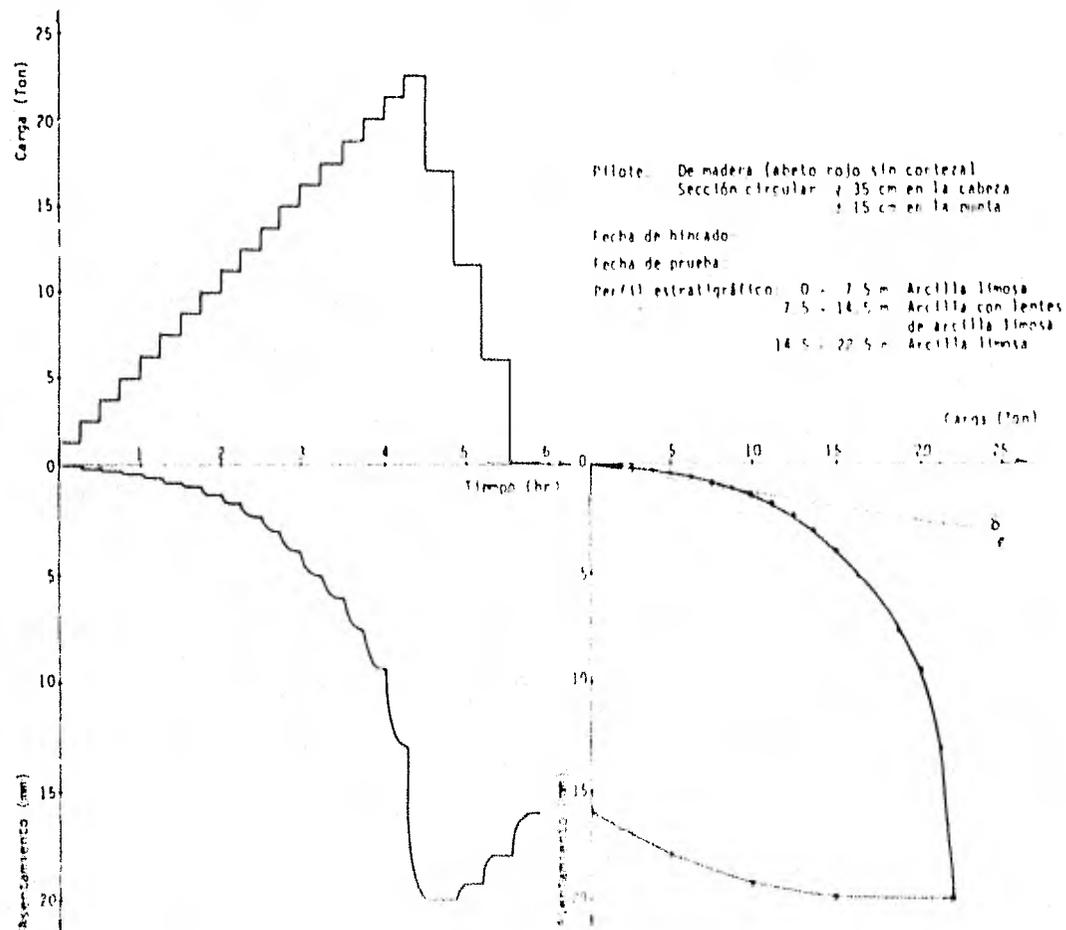


FIG 37. Gráficas carga vs asentamiento y carga y asentamiento vs tiempo (reducción al 61.5%)

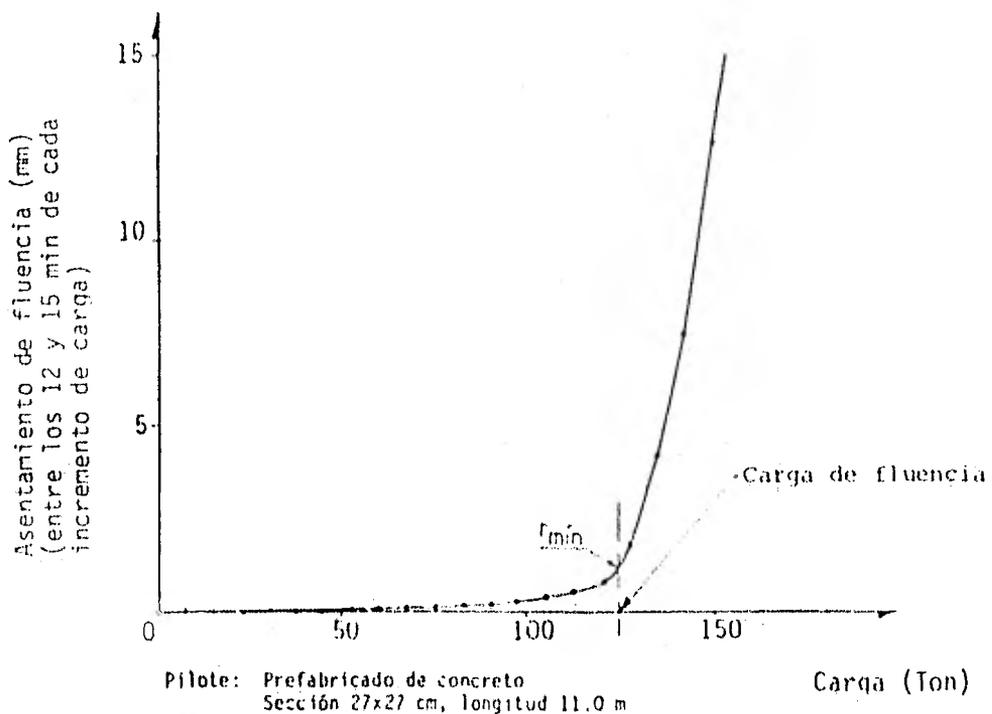


FIG 33. Gráfica carga vs asentamiento de fluencia

3.4.6 Gráfica número de ciclos vs asentamiento

En las pruebas con carga cíclica, esta gráfica debe presentarse en lugar de las descritas en el inciso 3.4.4. Se dibuja con los valores del asentamiento en la carga máxima de cada ciclo en el eje vertical y el logaritmo del número de ciclos correspondiente en el eje horizontal; un ejemplo de esta gráfica se muestra en la fig 17.

3.5 Interpretación de la prueba

La información obtenida con una prueba de carga se utiliza para interpretar dos aspectos fundamentales: a) definir la capacidad de carga del pilote o pila, y b) evaluar el procedimiento constructivo adoptado. Aquí se analiza el primero de ellos con detalle y del segundo sólo es factible orientar sobre las observaciones que deben realizarse.

3.5.1 Respuesta del pilote o pila a la carga

La forma de la gráfica carga vs asentamiento permite definir cómo el pilote o pila de prueba transmite su carga al subsuelo, entendiéndose que puede ser: a) por su punta a un estrato resistente profundo, b) por fricción al suelo que lo rodea, o c) por una combinación de las anteriores; esta información se complementa con la gráfica de hincado del pilote o en su caso con la descripción de la perforación necesaria, así como los datos geotécnicos obtenidos.

En la fig 34 se muestra la forma de gráficas típicas (ref 2), además de la recta representativa de la compresión elástica ϵ_p (ver inciso 3.4.3) como complemento. A continuación se describen las características esenciales de las gráficas.

a) *Cimentaciones de punta.* Se presentan cuando la carga impuesta la resiste un estrato profundo sin que se alcance la falla; la gráfica resultante (P) queda por encima de ϵ_p , ya

que el suelo que rodea al pilote o pila tiene una pequeña contribución en soportar la carga.

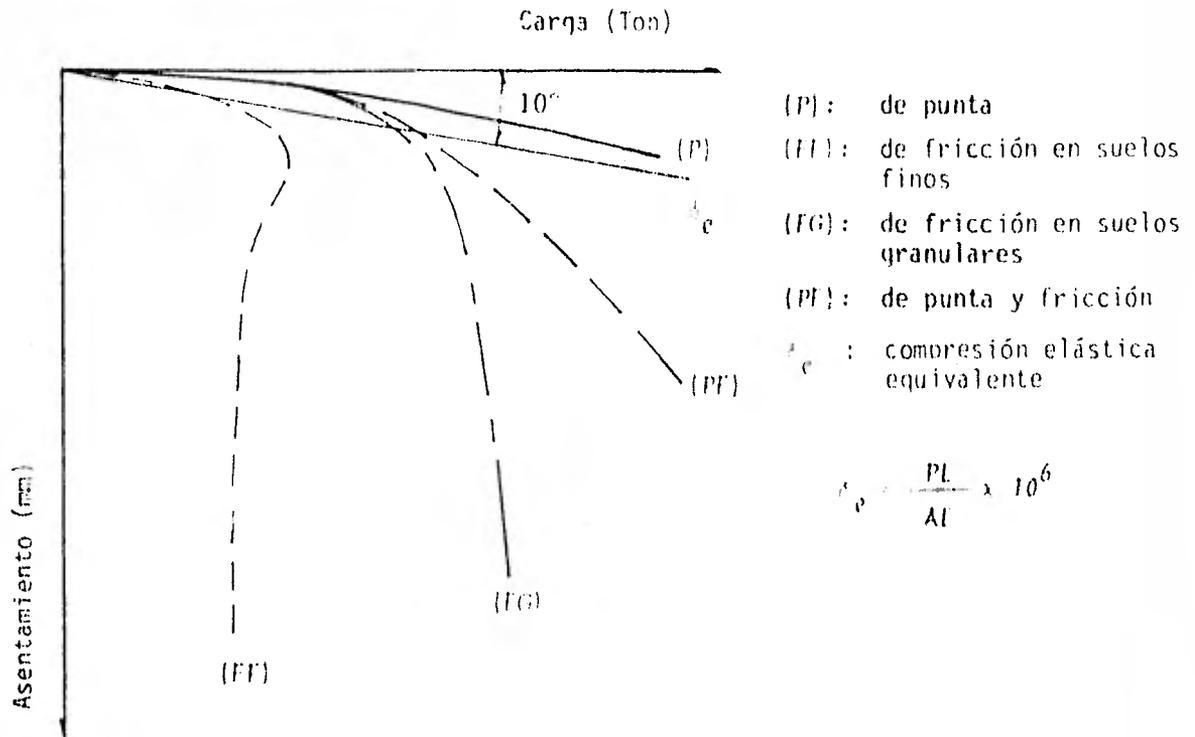


FIG 34. Formas típicas de la gráfica carga vs asentamiento (prueba con rapidez de penetración constante)

b) *Cimentaciones de fricción.* Se obtienen cuando el suelo que rodea al fuste del pilote o pila soporta la carga; la gráfica presenta inicialmente una etapa de asentamiento y carga crecientes, hasta llegar a un punto en que la deformación crece indefinidamente para una carga aproximadamente constante. En el caso de suelos finos (FI) casi siempre ocurre una disminución de la carga, que puede estar limitada por la resistencia residual del suelo; en suelos granulares (FG) la carga final siempre aumen

ta, dependiendo su magnitud de la resistencia movilizada en la punta.

c) *Cimentaciones de punta y fricción.* La gráfica característica de pilas y pilotes en suelos granulares tiene una forma intermedia entre las de fricción y punta (PF); en este caso, la geometría del elemento de cimentación condiciona la relación entre ambas resistencias y por ello la gráfica resultante.

3.5.2 Determinación de la capacidad de carga

La capacidad de carga puede expresarse en función de dos términos: a) la carga última, cuando se ha movilizado la resistencia del suelo que se encuentra bajo la punta y rodeando al elemento, y b) la carga de fluencia, correspondiente a la carga máxima que puede aplicarse antes de que se presente un asentamiento excesivo en un cierto incremento de carga o en un cierto número de ciclos de carga y descarga; a continuación se describen los criterios para determinar cada una, considerando que cuando las limitaciones prácticas o económicas no permitan aplicarlos, deberá analizarse la información obtenida con las pruebas realizadas para definir un valor confiable.

a) Para determinar la carga última se parte de los puntos básicos del mecanismo de transferencia de carga (ref. 9):

Para movilizar la capacidad de carga por fricción es necesario un desplazamiento relativo, entre el fuste del elemento y el suelo circundante, de 6 a 10 mm independientemente

de la geometría del pilote o pila.

- En el caso de la capacidad por punta, es necesario un desplazamiento de aproximadamente un 10% del diámetro (D) de los pilotes hincados y de hasta un 30% de D para pilotes colados en el lugar y pilas.

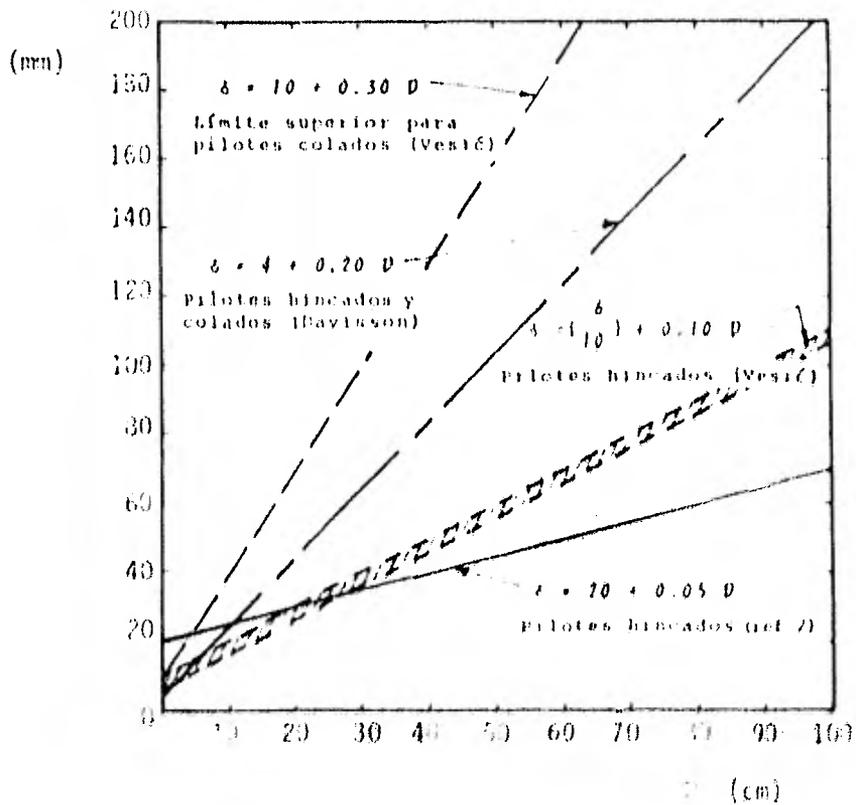
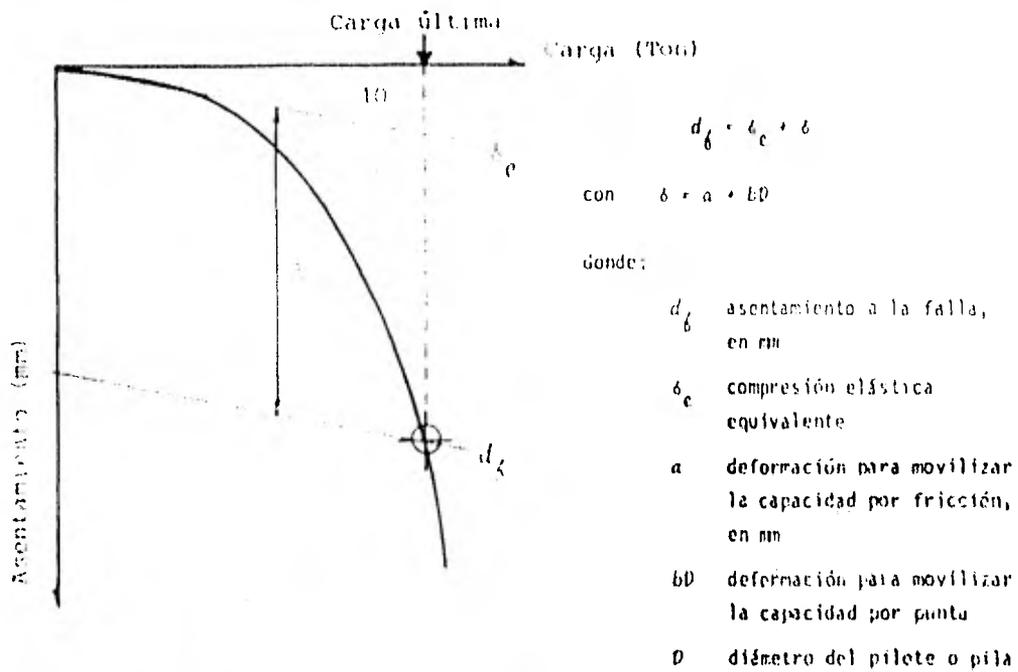
En base en lo anterior, varios autores han propuesto criterios para unificar la interpretación de la gráfica carga vs asentamiento (ref 2, 9 y 10); en la fig 35 se presentan los criterios más usados.

b) La carga de fluencia de las pruebas de carga controlada con incrementos de tiempo constantes de 15 min, corresponde a la que produce el radio de curvatura mínimo en la gráfica carga vs asentamiento de fluencia que se desarrolla en los últimos 3 min (ver fig 33).

En las pruebas cíclicas, la carga de fluencia usualmente se define como la carga máxima del rango de carga que provoca una pendiente de 7 mm de asentamiento en 15 ciclos de carga en la gráfica número de ciclos vs asentamiento (fig 36).

3.5.3 Variación de la capacidad de carga con el tiempo

Cuando se realizan pruebas de carga en pilotes, debe considerarse el tiempo entre su hincado y la ejecución de la prueba, ya que la capacidad de carga puede variar considerablemente



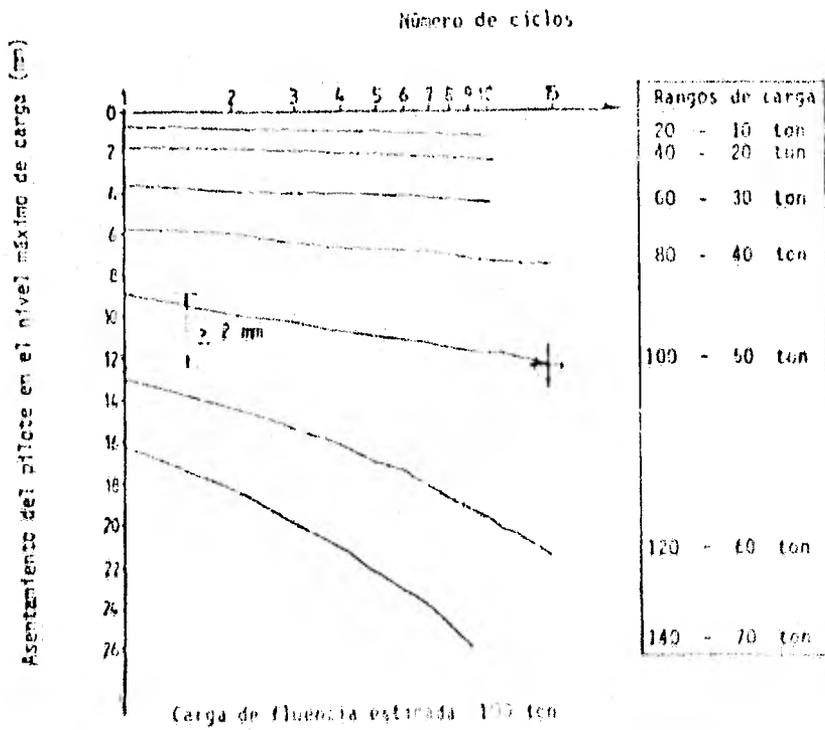
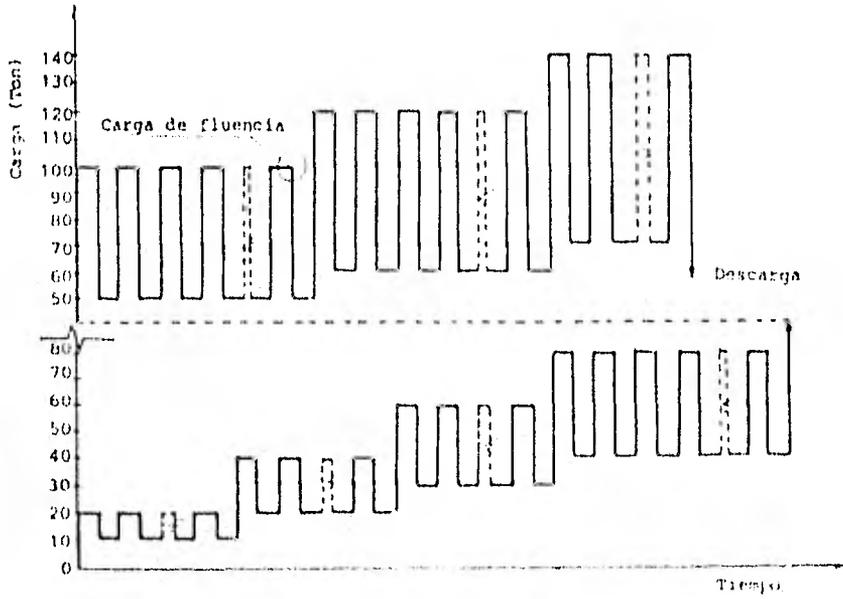


FIG 56. Carga de fluencia en una pila de 26 cm

cuando el subsuelo está formado por arcillas, limos no plásticos y arenas finas.

En el caso de arcillas, el hincado produce un remoldeo del suelo alrededor del pilote, además de un aumento significativo de esfuerzos; conforme pasa el tiempo, la arcilla tiende a reestructurarse debido a sus propiedades tixotrópicas y a consolidarse en la vecindad del pilote, disminuyendo así el exceso de presión de poro inducido; lo anterior provoca un aumento de capacidad de carga (ref 11). En la mayoría de los casos es suficiente un lapso de 3 a 30 días (ref 8) entre el hincado y prueba del pilote para que se desarrolle la mayor parte de este efecto.

Cuando se trata de limos no plásticos y arenas finas, durante el hincado puede provocarse un aumento considerable de presión de poro, que se refleja en un aumento de la resistencia a la penetración del pilote (ref 12); este efecto puede producir una interpretación equivocada de la resistencia del estrato de desplante del pilote, la cual disminuirá conforme se disipe la presión de poro. En estos casos, es recomendable realizar pruebas de rehincado en que se mida la recuperación elástica (ver inciso 2.2.3), para determinar: a) si es necesario llevar al pilote a mayor profundidad y b) el tiempo de espera brevía a la ejecución de la prueba de carga.

3.5.4 Capacidad de carga admisible

La capacidad de carga admisible de un pilote o pila debe determinarse considerando un margen de seguridad razonable con respecto a la falla del suelo de soporte y del material de fabricación del elemento; asimismo, dicha capacidad está condicionada por los asentamientos totales y diferenciales que puede soportar la estructura.

En todos los casos, debe tomarse en cuenta que para extrapolar los resultados de prueba al grupo de pilotes o pilas, se debe considerar la información geotécnica, los registros de hincado y la relación entre el número de elementos probados y la cantidad de pilotes o pilas que formarán parte de la cimentación.

3.5.5 Observaciones al procedimiento constructivo

Las observaciones efectuadas durante la fabricación o hincado del pilote o la fabricación de la pila tienen como objetivo - confirmar o modificar las recomendaciones del procedimiento constructivo, a fin de asegurar el comportamiento adecuado de la cimentación y su bajo costo. En este inciso se mencionan los aspectos técnicos más importantes; sin embargo, el análisis económico, que depende del equipo y materiales de construcción disponibles, deberá siempre tomarse en cuenta.

Cuando se utilizan pilotes prefabricados deberán satisfacerse los siguientes puntos:

- La cama de colado será una losa de concreto armado y nivelado.
- Las etapas de fabricación que deben supervisarse con detalle son: la colocación del acero de refuerzo, la localización de los puntos de izaje y el vaciado y vibrado del concreto.
- Los pilotes que se fabrican en dos o más tramos, se colarán alineados longitudinalmente.
- Las barras de anclaje de las juntas de acero de dos tramos de pilote se soldarán adecuadamente para alcanzar los esfuerzos de trabajo.
- El tiempo de curado de los pilotes deberá permitir su manejo preliminar para almacenarlos antes del hincado; con vapor podrá reducirse este tiempo.
- Los apoyos de los pilotes durante su almacenamiento deberán asegurar que la flecha sea mínima.
- Los pilotes podrán hincarse sólo cuando alcancen la edad de 28 días como mínimo.
- La localización de los puntos del hincado del pilote deberán coincidir con el plano de la cimentación; la tolerancia admisible la definirá el ingeniero diseñador.
- El diámetro de la perforación previa deberá ser el de diseño, salvo que se demuestre que no es el adecuado.

- La capacidad del martillo será acorde al peso y geometría del pilote para evitar que se dañe durante su hincado.
- La unión soldada de dos tramos de pilote se hará en poco tiempo para evitar que su hincado posterior se dificulte.
- La profundidad de desplante de los pilotes de punta coincidirá con el estrato resistente, evitando el sobrehincado.

En el caso de pilotes colados en el lugar y pilas se verificarán los siguientes aspectos:

- La localización de las pilas coincidirá con el plano de la cimentación; la tolerancia admisible la definirá el ingeniero diseñador.
- La perforación se iniciará con un emboquillado metálico, que estabiliza la parte superior de la perforación y facilita su verticalidad.
- El lodo de perforación tendrá la densidad y viscosidad necesaria para el peso volumétrico del suelo que se excava; seguramente se requerirán aditivos químicos cuando el agua del subsuelo es salada.
- El fondo de la excavación deberá quedar libre de azolves antes de efectuar el colado; debe evitarse el frecuente error de profundizar la perforación para ocultar los azolves.
- El suelo del fondo de la perforación deberá permanecer intacto para evitar asentamientos excesivos.
- El acero de refuerzo se colocará con separadores que lo mantengan alejado de las paredes de la perforación.

- La colocación del concreto se hará con trompa de colado - (tubo Tremie) para evitar su contaminación.
- Durante el colado deberá evitarse cualquier interrupción que provoque un seccionamiento del pilote o pila.

4. REFERENCIAS

1. ASTM, "Standard method of testing piles under axial compressive load", Designation: D1143-74
2. Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, Commission on Pile Research, "Recommendations for pile driving tests with subsequent load testing", Report 59, Stockholm, 1980
3. Poulos, H.G., "A theoretical examination of errors in measured settlements of test piles", Research Report No. R-257, School of Civil Eng., The Univ. of Sidney, 1974
4. Tovilla, C.E., "Nuevo sistema de reacción para montaje de pruebas de carga de pilas y pilotes", Vº Cong. Pan. de Mec. de Sue. e Ing. de Fundaciones, Tomo 1, Buenos Aires, Argentina, 1975
5. Weeks, A.G. y Dixon, R.B., "Some new techniques in field instrumentation applied to a bored pile trial in gault clay", Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, Butterworths, London, 1974
6. Davisson, M.T., "Static measurements of pile behavior", Design & Installation of Pile Foundations and Cellular Structures, ed. by Lang & Dismore, Enyo, Lehigh
7. Auvinet, G. y Hanel, J.J., "Tracción negativa en pilotes. Estado actual del conocimiento", El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Area Urbana del Valle de México, SMMS, 1978
8. Peck, R.B., Hanson, W.E. y Thornburn, I.H., "Foundation Engineering", John Wiley and Sons Inc., 2nd Edition, 1974

9. Vesić, A.S., "Load transfer, lateral loads and group action of deep foundations", Performance of Deep Foundations, ASTM, Spec. Tech. Publication No. 444, 1969
10. Davisson, M.T., "High capacity piles", Proceedings, ASCE Lecture Series, Innovations in Foundation Construction, Illinois Section, 1972
11. Eide, O., Hutchinson, J.N. y Landva, A., "Short and long term loading of a friction pile in clay", 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Proceedings, Paris, Francia, 1961
12. Yang, H.C., "Relaxation of piles in sand and inorganic silts", Journal of the Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol 96, SM2, 1970

A N E X O

CARACTERISTICAS DEL INFORME DE UNA PRUEBA
DE PILOTE

1. CONDICIONES DE PRUEBA

1.1 *Localización y datos geotécnicos*

Se debe presentar un croquis con la localización del pilote de prueba con respecto a la estructura, así como la información obtenida de un sondeo cercano al lugar de la prueba y llevado - hasta la profundidad en que el grupo de pilotes de la cimentación modificará significativamente el estado de esfuerzos en el suelo; en los resultados del sondeo se incluirá un esquema que muestre la posición final del pilote (ver inciso 1.5.3).

1.2 *Diseño del pilote*

Se presentará un resumen del diseño geotécnico y estructural del pilote, indicando sus dimensiones finales, la colocación del armado y la resistencia nominal de los materiales de construcción.

En el resumen del diseño geotécnico se incluirán la carga de diseño, los parámetros de resistencia al corte promedio y el criterio de capacidad de carga usados.

En el resumen del diseño estructural se presentarán los resultados del análisis de las diversas condiciones de carga consideradas, incluyendo las supuestas en la fabricación, el manejo y el hincado del pilote. Asimismo se presentará el diseño de juntas si las hubiese.

1.3 Diseño de la instalación de la prueba

Se hará un resumen del diseño de los sistemas de reacción, carga y medición, incluyendo la calibración de los aparatos empleados.

1.3.1 Sistemas de reacción y apoyos

Se presentará un resumen similar al del inciso 1.2 aplicado al diseño geotécnico y estructural del sistema de reacción y de los apoyos de los sistemas de carga y medición, de tal manera que se garantice su estabilidad durante el montaje y desarrollo de la prueba; se incluirá además un análisis de la posible influencia de estas estructuras en el comportamiento del pilote durante la ejecución de la prueba.

1.3.2 Sistemas de carga y medición

Se incluirán las gráficas de calibración de cada uno de los aparatos, considerando los factores que puedan alterar considerablemente los resultados de prueba.

1.4 Características del pilote antes del hincado

Se hará un registro de las características de los materiales de construcción y geometría del pilote, indicándose claramente los detalles que se aparten del diseño original (fig 1) .

1.4.1 Materiales de construcción

Se determinarán los índices de resistencia de los materiales de construcción usados en el diseño del pilote (inciso 1.2), haciendo un resumen que detalle el método usado para el control de las pruebas.

1.4.2 Geometría

Se medirá el perímetro del pilote a cada 2 metros, quitando antes cualquier residuo no estructural del colado, y en caso necesario, la curvatura en dos planos perpendiculares entre sí; las medidas se harán con una aproximación de 0.5 cm. En caso de existir juntas, se verificará que el ángulo que formen con respecto al eje longitudinal del pilote sea de 90°.

PILOTE N° _____		SUPERVISOR _____	
SITIO _____			
LOCALIZACION _____			
MATERIAL		ESPECIFICACIONES	
<input type="checkbox"/> CONCRETO PREFABRICADO	f'_c _____	kg/cm ²	f_y (armado) _____ kg/cm ²
	f_y _____	kg/cm ²	
<input type="checkbox"/> ACERO	f_c _____	kg/cm ²	
<input type="checkbox"/> MADERA			
FORMA Y DIMENSIONES DE LA SECCION TRANSVERSAL _____			
CARACTERISTICAS DEL ARMADO _____			
TIPO Y CARACTERISTICAS DE LAS JUNTAS _____			

LONGITUD DEL PILOTE	+	+	m
FECHA DE COLADO	FECHA DE HINCADO		
EDAD AL MOMENTO DE HINCADO	DIAS		
RESISTENCIA REAL DEL MATERIAL f'_c	kg/cm ²	f_y	kg/cm ²

FIG. 1. Registro de las características de los pilotes del Encade.

GEOMETRIA DEL PILOTE:						
DISTANCIA A PARTIR DE LA PUNTA (m)	PERIMETRO (cm)	DESVIACION DEL EJE DEL PILOTE (d) (cm)	DISTANCIA A PARTIR DE LA PUNTA (cm)	PERIMETRO (cm)	DESVIACION DEL EJE DEL PILOTE (d) (cm)	OBSERVACIONES

FIG 1. Reacción de las características del pilote antes del hundido
(continuación)

1.5 Registro de hincado

Incluirá una descripción del equipo, la resistencia a la penetración y posición final del pilote.

1.5.1 Equipo

Se detallarán las características del equipo de hincado empleado: marca, tipo y energía nominal del martillo, incluyendo el peso y altura de caída de la maza golpeadora y el número de golpes por minuto. Además se describirá el material usado para proteger la cabeza del pilote (fig 2) .

1.5.2 Resistencia a la penetración

Durante el hincado se llevará un registro como el de la fig 3 con el número de golpes por 0.2 a 1.0 m de penetración, según el tipo de suelo; para ello se marcará en el pilote su longitud medida a partir de la punta y en tramos correspondientes a la penetración de control. Así se sabrá además la posición del pilote en cualquier momento del hincado, que permitirá conocer la resistencia a la penetración de cada estrato.

Se registrará cualquier interrupción del hincado anotando claramente el tiempo de duración y la causa; entre las más frecuentes están: cambio del material de protección de la cabeza y unión de dos tramos del pilote.

PILOTE N° _____		SUPERVISOR _____	
SITIO _____			
LOCALIZACION _____			
GUIA:	<input type="checkbox"/> FIJA <input type="checkbox"/> COLGANTE	MARCA Y TIPO	<input type="checkbox"/> PILOTEADORA _____ <input type="checkbox"/> GRUA _____
<u>MARTILLO:</u>			
MARCA Y TIPO _____			
ACCION :	<input type="checkbox"/> SENCILLA <input type="checkbox"/> DOBLE	ENERGIA NOMINAL _____	ton - m
		NUM. GOLPES/MIN _____	
PESO DE LA MAZA _____		ton	
ALTURA DE CAIDA _____		m	
<u>ACCESORIOS:</u>			
CABEZAL _____		PESO _____ ton	
MATERIAL DE PROTECCION _____			
<input type="checkbox"/> SEGUIDOR :	MATERIAL _____		
	AREA TRANSVERSAL _____		cm ²
	LONGITUD _____	m	PESO _____ ton

FIG. 2. Características del equipo de hincado

PILOTE N° _____

SUPERVISOR _____

SITIO _____

LOCALIZACION _____

POSICION FINAL:

NIVEL DE LA CABEZA ▼ _____

NIVEL DE LA PUNTA ▼ _____

PLANO DE REFERENCIA:

(SUP. DEL TERRENO O SIMILAR) _____ NIVEL ▼ _____

LONGITUD DEL PILOTE:

DURANTE EL HINCADO _____ m

DESPUES DE CORTADO _____ m

LONGITUD EMBEBIDA EN EL SUELO _____ m

RESISTENCIA DE PENETRACION :

ALTURA DE CAIDA	N° DE GOLPES		PENETRACION EN m POR N° DE GOLPES	PROFUNDIDAD DE LA PUNTA BAJO EL PLANO DE REFERENCIA	OBSERVACIONES
	POR SERIE	SUMA			

FIG. 3. Registro de la resistencia a la penetración y posición final

NOTAS PARA LA COLUMNA DE OBSERVACIONES:

- PERFORACION PREVIA A TRAVES DEL RELLENO O COSTRA SUPERFICIAL
- PENETRACION DEL PILOTE POR PESO PROPIO
- PENETRACION DEL PILOTE POR PESO PROPIO MAS EL PESO DEL MARTILLO
- CAMBIO DEL MATERIAL DE PROTECCION
- CUALQUIER OBSTACULO EN EL SUBSUELO
- UNION DE DOS TRAMOS DE PILOTE
- INCLINACION EVENTUAL DEL PILOTE O VERIFICACION DE LA INCLINACION PRE-ESTABLECIDA
- CUALQUIER DAÑO DEL PILOTE
- EXTRACCION Y REEMPLAZO EVENTUAL DEL PILOTE
- COLOCACION DEL SEGUIDOR
- HORA EN QUE COMENZO Y FINALIZO EL HIRCAO
- HORA EN QUE SE PRESENTE CUALQUIER INTERRUPCION Y SU DURACION
- HORA EN QUE SE MIDE LA RECUPERACION ELASTICA

FIG. 3. Registro de la resistencia a la penetración a jarrón total
(continuación)

1.5.3 Posición final del pilote

Para conocer la posición final del pilote se harán nivelaciones del terreno antes del hincado y de la cabeza del pilote después de su colocación, indicando claramente en el registro la referencia usada; asimismo, se medirá la recuperación elástica del pilote y su penetración en el estrato de apoyo.

1.6 Instalación de la prueba

Se hará un esquema que muestre la colocación de los sistemas de reacción, de carga y de medición, especificando claramente cualquier diferencia en las características de los aparatos o en su colocación con respecto al diseño original; se incluirán además fotografías que muestren la instalación final de la prueba.

2. REGISTRO DE PRUEBA

Durante la prueba se deberán registrar los datos de carga, asentamiento y tiempo que permitan controlar la ejecución y hacer la presentación gráfica final del desarrollo de la prueba. Para ello se seguirá el registro que se presenta en la fig. 4, en el que debe anotarse además cualquier evento que afecte la realización de la prueba; el control se lleva a cabo con las gráficas que se detallan a continuación.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FECHA Y HORA	TIEMPO TRANS- CURRIDO A PAR- TIR DEL INICIO DE LA PRUEBA	TIEMPO TRANS- CURRIDO A PAR- TIR DE LA CO- LOCACION DEL INCREMENTO DE CARGA	CARGA APLI- CADA	LECTURA MANO- METRO	LECTURA CELDA DE CARGA	LECTURAS MICROME- TROS	PROMEDIO MICROME- TROS	ASENTA- MIENTO (MICR)	LECTURA ESPEJO	ASENTA- MIENTO (ESPEJO)	OBSERVACIONES

NOTAS:

LA COLUMNA 4 SE CALCULA A PARTIR DE LA 6 CON LA CURVA DE CALIBRACION DE LA CELDA
 LA COLUMNA 8 SE DETERMINA CON EL PROMEDIO ARITMETICO DE LOS MICROMETROS (COLUMNA 7)
 LA COLUMNA 9 SE OBTIENE RESTANDO LA ULTIMA CIFRA DE LA PRIMERA EN LA COLUMNA 8
 LA COLUMNA 11 SE OBTIENE RESTANDO LA ULTIMA CIFRA DE LA PRIMERA EN LA COLUMNA 10
 EN LAS OBSERVACIONES SE REGISTRARAN:
 MOVIMIENTOS Y CAMBIOS DE LOS SISTEMAS DE REACCION Y DE LAS REFERENCIAS
 MOVIMIENTO LATERAL DEL PILOTE
 CAMBIO IMPORTANTE EN EL CLIMA (TEMPERATURA Y HUMEDAD)
 NOMBRE DEL OPERADOR

FIG. 4. Registro de prueba

2.1 Criterio de carga controlada

Conforme se avance en la ejecución de la prueba, se dibujará la gráfica asentamiento vs carga con los datos de las columnas 4 y 9 del registro, para conocer su desarrollo hasta ese momento; para el control de cada incremento de carga aplicado se hará la gráfica tiempo vs asentamiento, a partir de las columnas 3 y 9. Cuando se trate de una prueba con carga cíclica, además de las gráficas mencionadas, es necesario dibujar para cada intervalo de carga el asentamiento del pilote en el nivel máximo de carga vs el número de ciclos efectuados.

2.2 Criterio de desplazamientos controlados

Se dibujarán las gráficas mencionadas en el inciso anterior correspondientes a las pruebas sin carga cíclica, a las que deberá agregarse la gráfica carga vs tiempo; dicha gráfica se elaborará con los datos de las columnas 4 y 3 ó 4 y 2 del registro, según se trate del criterio de control de asentamientos o de rapidez de penetración constante, respectivamente.

3. PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

En la presentación de los resultados de la prueba se incluirá la información obtenida durante el hincado y las etapas de carga y descarga del pilote; estos datos se reportarán en forma gráfica para facilitar su interpretación.

La información básica necesaria para interpretar la prueba comprende las siguientes gráficas:

- a) Penetración vs número de golpes
- b) Recuperación elástica
- c) Carga vs asentamiento
- d) Carga y asentamiento vs tiempo
- e) Carga vs asentamiento de fluencia

En el caso de pruebas con carga cíclica, deberán sustituirse las gráficas (d) y (e) por la de número de ciclos vs asentamiento.

4. INTERPRETACION DE LA PRUEBA

La interpretación incluirá comentarios y recomendaciones acerca de los resultados obtenidos en la prueba y del procedimiento constructivo empleado; los aspectos básicos a tratar dependerán de la etapa en que se realice la prueba, ya sea de diseño o durante la construcción de la cimentación.

En la etapa de diseño se abordarán los siguientes puntos:

- Aceptación o modificación del proyecto preliminar de la cimentación, definiendo la longitud de los pilotes de fricción o el número y localización en planta de los pilotes de punta, según el caso.
- Definición del rechazo para determinar la profundidad de hincado de los pilotes de punta y recomendaciones para la

ejecución de pruebas de rehincado en caso necesario.

- Evaluación de los procedimientos constructivos ensayados y recomendaciones para su correcta aplicación.

Cuando se trate de pruebas realizadas durante la construcción, deberán considerarse los siguientes aspectos:

- Aceptación o modificación del proyecto original de la cimentación, definiendo si es necesario modificar la profundidad de desplante, aumentar el número de pilotes, cambiar la localización de los elementos no hincados todavía o redefinir el rechazo para pilotes de punta.
- Observaciones y recomendaciones sobre el procedimiento constructivo.