



Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
"ARAGÓN"

"Mecanismos y Elementos de Pilotes de Control en el Diseño de Cimentación"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
MA. ESTELA MALDONADO RODRIGUEZ

San Juan de Aragón, Edo. de México

1993

TESIS CON
FOLIA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

CONTENIDO

	PAG.
GENERALIDADES	1
INTRODUCCION	2
CAPITULO I MECANISMOS DE LOS PILOTES	3
1.1 CONDICION ESTATICA	3
1.1.1 Carga neta estática	3
1.1.2 Fricción negativa	4
1.1.3 Separación mínima de pilotes	7
1.1.4 Capacidad de carga límite	8
1.1.5 Capacidad de la punta	8
1.1.6 Carga sobre la celda deformable	9
1.1.7 Resumen	12
1.1.8 Diagrama de asentamiento-carga	13
1.2 CONDICIONES SISMICAS	13
1.2.1 Efectos del sismo	13
1.2.2 Factor de seguridad dinámica	15
1.3 SECUENCIA DEL DISEÑO	17
1.3.1 Información geotécnica	17
1.3.1.1 Sondeos preliminares con cono eléctrico	17
1.3.1.2 Sondeos de correlación	18
1.3.1.3 Instalación de piezómetros	19
1.3.2 Diseño balanceado del pilote	19
1.3.2.1 Longitud del pilote	20
1.3.2.2 Fricción lateral media última	20

	PAG.
a) Pruebas triaxiales no drenadas	21
b) Resistencia a la penetración del cono eléctrico	22
c) Esfuerzos efectivos	23
1.3.2.3 Resistencia de la capa dura	24
1.3.2.4 Determinación de n	24
1.3.2.5 Capacidad de carga friccionante	24
1.3.2.6 Capacidad de la celida deformable	24
1.3.3 Número de pilotes necesarios	25
1.3.3.1 Capacidad de carga dinámica admisible	25
1.3.3.2 Cálculo del número de pilotes	25
1.3.4 Separación entre pilotes	26
1.3.5 Distribución de pilotes en la cimentación	27
CAPITULO II GRUPOS DE PILOTES	28
2.1 ANTECEDENTES	28
2.2 DISEÑO	29
2.3 SOBRECARGA SUPERFICIAL	29
a) Ejemplo	30
2.4 FRICCIÓN NEGATIVA	32
2.5 DETERMINACION DE LOS ESFUERZOS EN EL SUELO	33
a) Ejemplo	34
2.6 CONCLUSIONES	41
CAPITULO III MANTENIMIENTO PARA LOS DISPOSITIVOS DE CARGA DE LOS PILOTES DE CONTROL	42
3.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	42
a) Frecuencia	42
b) Procedimiento	43

	PAG.
b.1 Inspección de los controles	43
b.2 Estimación de la carga en la cabeza del pilote	44
b.3 Filtraciones	44
b.4 Nivelaciones	44
b.5 Reparaciones aplicables	45
c) Personal	48
d) Equipos y materiales	48
e) Mantenimiento correctivo	50
e.1) Objetivo	50
e.2) Procedimiento	50
CAPITULO IV MEDICION in-situ DE LA CAPACIDAD DE CAPA DURA	52
INTRODUCCION	52
4.1 PRUEBA DE PENETRACION NORMAL	52
4.2 PRINCIPIO DE LA ECUACION DE ONDA	53
4.3 COMBINACION PPN-EO	53
4.4 COMPARACIONES	54
4.5 CONCLUSIONES	56
GLOSARIO	
APENDICE	
REFERENCIAS	

GENERALIDADES

Los pilotes de control fueron desarrollados por el Ing. Manuel González Flores como una solución para recimentar edificios que han sufrido asentamientos excesivos por consolidación de las arcillas blandas, así como para evitar la emersión, causada por el hundimiento regional, de estructuras apoyadas sobre cuya punta descansa sobre la capa dura. En su concepción original, el sistema de control se instaló para operar con la carga estática de la estructura, una parte de la cual es transmitida a las cabezas de los pilotes por las celdas deformables cuya capacidad se ajustaba de manera empírica, basándose en la observación de los asentamientos del edificio con el tiempo, pero sin seguir criterios definidos para determinar la capacidad de carga de los pilotes, ni la relación óptima entre las cargas transmitidas por las celdas deformables y por la losa de cimentación.

Se presenta a continuación la descripción y análisis de un mecanismo que permite explicar la interacción entre los diversos componentes del sistema formado por la estructura del cajón de cimentación, la celda deformable, el pilote, el suelo que lo rodea, la capa dura en que se apoya la punta del pilote, el hundimiento regional de la zona y el sismo.

INTRODUCCION

La necesidad de hacer habitables terrenos pantanosos o lacustres originó un sistema aún usado hoy; el hincado de piezas verticales-troncos de árbol hasta un terreno homogéneo para construir sobre su parte emergida.

Los pilotes de control tienen capacidad para absorber grandes deformaciones, sin requerir reposición, por lo que ofrece ventajas muy considerables con respecto a costos de mantenimiento.

Se presentan detalles y resultados de pruebas a las que se sometieron algunos dispositivos, y se dan recomendaciones para su diseño, a fin de facilitar su empleo en edificios.

Se presenta a continuación la descripción y análisis del mecanismo que permite explicar la interacción entre los diversos componentes del sistema formado por la estructura del cajón de cimentación, la celda deformable, el pilote, el suelo que lo rodea, la capa dura en que se apoya la punta del pilote, el hundimiento regional de la ciudad y el sismo.

I MECANISMOS DE LOS PILOTES

1.1 CONDICION ESTATICA

La figura 2 es el esquema de un corte vertical a lo largo de un pilote de control ubicado hacia el interior del grupo de pilotes, en el cual se muestran los elementos que componen el sistema, así como las fuerzas que actúan en cada uno de ellos.

1.1.1 Carga neta estática

La carga neta estática es producida por el peso propio de la estructura, aumentado de la carga viva estática y de una parte de la carga viva accidental definida en el Reglamento de Construcciones del D.F., como *carga viva reducida* y disminuida del peso total del suelo excavado hasta el nivel de la losa de cimentación (carga compensada), según la siguiente expresión:

$$w_{ne} = w_m + w_{ve} + w_{vr} - w_c \quad (1)$$

La carga neta es la que induce en el suelo y los pilotes esfuerzos de compresión y cortantes adicionales a los esfuerzos naturales iniciales que existen en la masa de suelo antes de la construcción de la cimentación; es por lo tanto la causa principal de las deformaciones del sistema suelo-pilotes.

Esta carga neta se transforma en dos componentes, una de las cuales se transmite a la cabeza del pilote a través de la celda deformable, y la otra al suelo en contacto con la losa de cimentación, de acuerdo con la ecuación:

$$w_{ne} = Q_c + w_s \quad (2)$$

La carga w_s aplicada al prisma de suelo tributario que rodea al pilote hace descender al suelo produciendo un desplazamiento relativo entre éste y el pilote, cuya punta se apoya sobre la capa dura; el desplazamiento relativo genera una fuerza friccionante descendente, w_{fm} igual a w_s , de manera que la carga aplicada por la losa al suelo es transferida, finalmente, al pilote por medio de la fricción, por lo que la ecuación (2) también puede escribirse:

$$w_{ne} = Q_c + w_f \quad (2')$$

1.1.2 Fricción negativa

El prisma de suelo ejerce sobre su base una carga total,

$$P_t = w_c + P = \gamma_1 D_f A + \gamma_2 LA = \gamma (D_f + L) A = \gamma HA$$

En la figura 2 se ve que;

$$\gamma H = \sigma_b' + u_b$$

Por lo cual

$$\gamma H A = \sigma_b' A + u_b A = P' + u_b A;$$

Despejando P' ; se tiene

$$P' = (\gamma H - u_b) A$$

Que es la carga efectiva (intergranular) ejercida por el prisma sobre la capa dura.

Cuando el pilote está recién instalado, P' está totalmente soportada por la dura, que ejerce una reacción efectiva, igual y contraria a P' ; en este momento, $P' = R'$; pero, al transcurrir el tiempo, el hundimiento regional de la zona comienza a manifestar sus efectos sobre el prisma de suelo circundante al pilote. La parte inferior del prisma, que se encuentra debajo del plano horizontal $N - N$, continúa consolidándose a consecuencia de la pérdida de presión de poro inducida por la extracción de agua de los acuíferos profundos que subyacen a los depósitos de arcilla.

El diagrama de presión en el agua de los poros de la arcilla, que se muestra en el lado izquierdo de la figura 2, es típico de las condiciones piezométricas que prevalecen actualmente en una amplia zona de la ciudad de México; en él se observa que arriba del plano $N - N$, la presión de poro corresponde a la presión hidrostática, mientras que, bajo el plano $N - N$ es menor que la hidrostática, lo que demuestra que, en el presente, el proceso de consolidación regional está afectado solamente a la parte inferior del prisma de suelo; esto significa que dicha parte inferior reduce su altura a través del tiempo, mientras que la superior desciende como cuerpo rígido.

Puesto que la punta del pilote está apoyada en la capa dura, el descenso del prisma de suelo respecto al pilote induce una fuerza friccionante descendente, adicional a la fuerza w_f . Esta fuerza F_n es conocida como *fricción negativa*; sin embargo, tiene la misma dirección y sentido que w_f , por lo que ambas componentes se suman para dar una fuerza friccionante negativa total, cuya magnitud tiene como límite la capacidad friccionante del pilote. Esta condición límite se expresa por la ecuación:

$$Q_f = w_f + F_n \quad (3)$$

o bien

$$Q_f = w_s + F_n \quad (3')$$

Al desarrollarse esta condición límite, la cara superior del prisma de suelo, que está en contacto con la losa de cimentación, descenderá a la misma velocidad que la superficie del terreno vecino al edificio, por lo que todo el edificio bajará junto con el terreno.

Al aparecer la fuerza F_n , disminuye la reacción efectiva de la capa dura sobre la base del prisma, de manera que:

$$R_f' = P' - F_n$$

en donde:

$$F_n = P' - R_f' \quad (4)$$

De aquí se ve que un límite máximo al valor de F_n será aquel que anule a la reacción R_f' , o sea la carga efectiva P'

$$F_{n\text{máx}} = P' \quad (4')$$

Por otra parte, la fricción negativa no podrá ser mayor que la capacidad friccionante del pilote, lo que implica que:

$$F_{nm\acute{a}x} = Q_f \quad (4'')$$

De aquí que, para el máximo de F_n , $Q_f = P'$ (5)

Considerando que el prisma de suelo tenga forma cuadrada con lado D_n'

$$P' = D_n^2 \gamma H - D_n^2 u_b = D_n^2 (\gamma H - u_b) = Q_f$$

de donde:

$$D_n = \sqrt{\frac{Q_f}{(\gamma H - u_b)}} \quad (6)$$

Para cualquier valor de F_n menor que Q_f ,

$$D_n = \sqrt{\frac{F_n}{(\gamma H - u_b)}} \quad (6')$$

1.1.3 Separación mínima de pilotes

Las ecuaciones (6) (6') proporcionan la separación mínima necesaria entre pilotes de un mismo grupo para garantizar que se desarrolle la fricción negativa suficiente que haga descender al prisma de suelo y evite que el edificio emerja, satisfaciendo así la condición límite de las ecuaciones (3) y (3').

1.1.4 Capacidad de carga límite

Si se cumple la condición de las ecuaciones (3) ó (3'), la carga estática máxima transferida a la punta del pilote será:

$$w_{pem} = Q_c + w_f + F_n = Q_c + Q_f \quad (7)$$

o bien,

$$w_{pem} = Q_c + Q_f = Q_u \quad (7')$$

Q_u es la capacidad de carga límite del sistema de control formado por la celda deformable, la losa de cimentación, el pilote y el suelo circundante.

1.1.5 Capacidad de la punta

La capacidad de carga de la punta del pilote deberá ser, por lo menos, igual que Q_u afectada de un factor de seguridad, con el fin de evitar que la punta penetre en la capa dura; ésto implica que:

$$Q_p \geq Q_u \times FS_p \geq (Q_c + Q_f) FS_p \quad (8)$$

Es recomendable un factor de seguridad $FS_p = 2$, por lo que el mínimo valor de la capacidad de la punta será:

$$Q_p = 2 (Q_c + Q_f) \quad (8')$$

En esta expresión, Q_p y Q_f dependen de las propiedades mecánicas del suelo y de las dimensiones del pilote, mientras que Q_c puede ser elegida a voluntad del diseñador; dentro de ciertos

límites prácticos, puesto que esa elección afecta a la capacidad de la punta y por tanto, a las dimensiones del pilote, como se verá a continuación.

1.1.6 Carga sobre la celda deformable

Expresando Q_c en términos de Q_f , puede escribirse:

$$Q_c = n Q_f \quad (8'')$$

que sustituido en (8') da:

$$Q_p = 2 (1 + n) Q_f \quad (9)$$

Asignando valores arbitrarios a n se obtienen los de Q_p que muestra la tabla I.

TABLA I

n	Q_p	B
0	$2 Q_f$	0.4 m
0.125	$2.25 Q_f$	0.45 m
0.25	$2.5 Q_f$	0.5 m
0.33	$2.66 Q_f$	0.53 m
0.5	$3 Q_f$	0.60 m
1	$4 Q_f$	0.80 m

En un pilote circular; $Q_p = \frac{\pi}{4} B^2 q_c$ (10)

y $Q_f = \pi B L \bar{q}$ (10')

donde B diámetro (o lado) del pilote

q_c resistencia de la capa dura a la penetración del cono eléctrico

L longitud del pilote

$\bar{\gamma}$ resistencia friccionante media de la arcilla

Sustituyendo (10) y (10') en la ecuación 9

$$\frac{\pi}{4} B^2 q = 2 (1+n) \pi B L \bar{\gamma}$$

de donde:

$$B = \frac{8 (1+n) L \bar{\gamma}}{q_c} \quad (9')$$

Para:

$$\begin{aligned} n = 0; \quad Q_c = 0 \quad Q_f; \quad B &= \frac{8 L \bar{\gamma}}{q_c} \\ n = 0.125; \quad Q_c = 0.125 \quad Q_f; \quad B &= \frac{9 L \bar{\gamma}}{q_c} \\ n = 0.25; \quad Q_c = 0.25 \quad Q_f; \quad B &= \frac{10 L \bar{\gamma}}{q_c} \\ n = 0.33; \quad Q_c = 0.33 \quad Q_f; \quad B &= \frac{10.6 L \bar{\gamma}}{q_c} \\ n = 0.5; \quad Q_c = 0.5 \quad Q_f; \quad B &= \frac{12 L \bar{\gamma}}{q_c} \\ n = 1; \quad Q_c = Q_f; \quad B &= \frac{16 L \bar{\gamma}}{q_c} \end{aligned} \quad (9'')$$

Tomando, como ejemplo, valores representativos de:

$$L = 30 \text{ m}$$

$$\gamma = 2.5 \text{ t/m}^2$$

$$q_c = 1,500 \text{ t/m}^2$$

Se calcularon los valores de B para diferentes valores de n en la tabla I.

Observando los valores de la tabla I se nota que, para pilotes cuyo diámetro es de 0.45 a 0.5 m, la carga de la celda de formable, Q_c varía de:

$$Q_f/8 < Q_c < Q_f/4 \quad (11)$$

Los diámetros más comunmente empleados en la práctica de las recimentaciones con pilotes de control varían de 0.45 m a 0.50 m; por lo que se concluye que es recomendable mantener los valores de Q_c dentro del rango que muestra la expresión (11).

Es evidente que, según la ecuación (9'), el diámetro (o lado del cuadrado) del pilote, que da un diseño balanceado de los factores de la ecuación (9), no solamente depende del factor $n = Q_c/Q_f$, sino también de la longitud del pilote y de las resistencias de la arcilla circundante y de la capa dura. Estos parámetros del diseño se obtienen, de manera confiable, rápida y económica mediante el penetrómetro de cono con registro eléctrico (1).

1.1.7 Resumen

De la discusión anterior se concluye que, para que un pilote de control funcione adecuadamente bajo carga estática se requiere satisfacer dos condiciones básicas:

- 1) La losa de cimentación debe descender a la misma velocidad que la superficie del terreno vecino. Esta condición queda expresada por la ecuación (3') que implica que: la carga transmitida por la losa al suelo aumentada de la fricción negativa producida por el hundimiento regional de la ciudad deben ser iguales a la capacidad de carga friccionante del pilote.
- 2) La capacidad de carga de la punta del pilote debe ser suficiente para impedir que la punta penetre en la capa dura en que se apoya. Esta condición se expresa por la ecuación (8'), la cual indica que la capacidad de la punta debe ser, por lo menos, el doble de la suma de las capacidades de la celda deformable y la de fricción lateral del pilote.

La primera condición es afectada por la acción del sismo, por lo cual debe ser examinada nuevamente después de analizar el comportamiento del sistema bajo cargas sísmicas.

La segunda condición depende fundamentalmente de las propiedades mecánicas del suelo y de la geometría del pilote, según muestran las ecuaciones (9) y (9'), por lo que esta condición puede cumplirse independientemente de la acción del sismo, como se indica en el párrafo 1.5.

1.1.8 Diagramas asentamiento-carga

La figura 3 muestra gráficamente la relación entre la carga estática aplicada al sistema celda - losa - suelo - pilote y el asentamiento de la losa. El diagrama (a) corresponde al comportamiento de la celda deformable, la cual soporta siempre su carga máxima, por lo que permanece operando continuamente en su rango plástico.

El diagrama (b) presenta la relación entre el asentamiento y la carga friccionante transmitida al pilote por el suelo circundante, la cual está formada por la carga estática, proporcionada por la losa al suelo y la fricción negativa, producida por el hundimiento regional; ambas cargas sumadas alcanzan el valor de la capacidad friccionante límite del pilote, por lo que esta parte del sistema también opera en el rango plástico.

El diagrama (c), obtenido de la suma de los dos diagramas anteriores, corresponde al sistema total, cuya capacidad de carga límite, es la suma de las capacidades límite de la celda y del pilote; es por ello que todo el sistema opera en su capacidad límite, cuando el edificio se está asentando a la misma velocidad del hundimiento regional.

1.2 CONDICIONES SISMICAS

1.2.1 Efectos del sismo

El sismo produce sobre la cimentación un incremento de carga vertical que altera las condiciones de equilibrio límite en que se encuentra el sistema de control, representadas en la gráfica (c) de la figura 3, para condiciones de carga estática. Esta condición límite corresponde al punto c de la figura 4. El incremento de carga dinámica por sismo, w_{sd} , aplicado

al sistema de la figura 2, se transmite íntegramente al prisma de suelo a través de la losa, puesto que la celda deformable no es capaz de tomar carga adicional.

Como la fuerza friccionante desarrollada entre el suelo y el pilote se encuentra también en el límite, Q_f , se tendrá que producir un desplazamiento del prisma de suelo respecto al pilote; este movimiento descendente del suelo hará crecer la reacción R_f' que la capa dura ejerce sobre la base del prisma, de manera tal que la fricción negativa disminuirá, según muestra la ecuación (4).

Si R_f' vuelve a ser igual que P' , la fricción negativa desaparecerá, liberando en el mecanismo la parte correspondiente de capacidad friccionante, con la cual el pilote puede tomar el incremento de carga dinámica w_{sd} . La modificación de la relación asentamiento-carga por la acción del sismo se muestra esquemáticamente en la figura 4.

El asentamiento brusco de la losa bajo el primer impacto del sismo está representado por el segmento aS ; un asentamiento relativamente pequeño (1 a 3 cm) bastará para relajar la fricción negativa, y liberar capacidad friccionante en el pilote.

Al disminuir la carga sobre el sistema de cimentación por el balanceo del edificio, el punto S podrá pasar a la posición extrema S_1 , iniciándose así una serie de ciclos de histéresis que terminarán en el punto S_n , cuando el sismo haya pasado. En este punto, la carga sobre el pilote volverá a ser semejante a la de su condición inicial estática, pero sin carga negativa, y la cimentación habrá sufrido un asentamiento acumulado, cuyo valor debe ser tolerable para la estructura.

A partir del punto S_n , el hundimiento regional volverá a desarrollar la fricción negativa y se recuperará la condición inicial de equilibrio estático límite representada por el punto u' y el edificio continuará asentándose a la velocidad del suelo vecino.

1.2.2. Factor de seguridad dinámico

La carga dinámica total, aplicada al sistema de control (celda-suelo-pilote) durante el sismo, es el máximo valor que alcanza la carga en los ciclos de histéresis, como se observa en la figura 4, en la que se ve que:

$$w_{dt} = Q_c + w_{se} + w_{sd} \quad (12)$$

En esta ecuación, el término Q_c implica que en este elemento del sistema de control el factor de seguridad será siempre igual a la unidad; los términos $w_{se} + w_{sd}$ representan la parte de la carga total que es aplicada al prisma de suelo por la losa; esta carga se transmite al pilote por fricción; por lo que el factor de seguridad debe referirse a la capacidad friccionante del pilote, según la siguiente relación:

$$FS = \frac{Q_f}{w_{se} + w_{sd}} \quad (13)$$

De aquí se obtiene: $w_{se} + w_{sd} = \frac{Q_f}{FS_d}$ que, sustituyendo en (12), da la carga dinámica total admisible para el diseño.

$$w_{dta} = Q_c + \frac{Q_f}{FS_d} \quad (14)$$

Para estructuras comunes, clasificadas en el Reglamento de Construcciones del D.F. como tipo B, es aceptable un $FS_d = 1.7$, mientras que en las del tipo A debe emplearse $FS_d = 2$. Sustituyendo en la ecuación (14') se obtiene:

Estructura

$$\text{Tipo A} \quad W_{dta} = Q_c + 0.5 Q_f \quad (14')$$

$$\text{Tipo B} \quad W_{dta} = Q_c + 0.6 Q_f$$

De acuerdo con lo explicado en el párrafo 1.6, la capacidad de la celda deformable puede expresarse por:

$$Q_c = n Q_f$$

que sustituido en las ecuaciones (14') dan:

Estructura:

$$\text{Tipo A} \quad W_{dat} = (n+0.5) Q_f \quad (15)$$

$$\text{Tipo B} \quad W_{dat} = (n+0.6) Q_f$$

El valor de n se determina como se explica en 1.6, a partir de los valores de la resistencia al corte de las arcillas y de la resistencia al cono eléctrico de la capa dura; así como de la longitud del pilote. Mediante la ecuación (9'), se obtiene, por tanteos, el diámetro o lado de la sección transversal que proporciona un diseño balanceado del pilote para diferentes valores de n .

1.3 SECUENCIA DEL DISEÑO

1.3.1 Información geotécnica

La obtención de información geotécnica confiable, en el sitio particular de que se trate, es indispensable como punto de partida del proceso de diseño racional de cualquier cimentación. Tratándose de pilotes de control esta información debe ser de la más alta calidad, puesto que el diseño involucra condiciones de trabajo en equilibrio límite cuya determinación requiere de un alto grado de aproximación en los valores de los factores que intervienen en el mecanismo de equilibrio.

Es por ello que la información geotécnica debe obtenerse siguiendo procedimientos de campo y laboratorio cuidadosamente ejecutadas y bajo la constante supervisión de un Ingeniero con conocimientos y experiencia adecuados. Con este requisito en mente, se sugiere el siguiente proceso para el estudio geotécnico, que permite conciliar el objetivo de calidad con el costo y el tiempo de su ejecución (1).

1.3.1.1 Sondeos preliminares con cono eléctrico

Es conveniente hacer un mínimo de 2 sondeos con un cono eléctrico de 5 toneladas de capacidad, con el fin de medir la variación de la resistencia a la penetración de la punta cónica con la profundidad, llevando uno de ellos hasta el nivel de los depósitos compactos profundos (45 a 50 m) y otro al nivel del lecho inferior de la capa dura. Con estos sondeos se podrán conocer (véase la figura 5): los espesores de la costra superficial (CS) la formación arcillosa superior (FAS) la capa dura (CD) la formación arcillosa inferior (FAI) y la pro-

fundidad a los depósitos profundos compactos (DP), así como la resistencia y espesor de otros estratos duros, más delgados, intercalados en los depósitos de arcillas lacustre.

1.3.1.2 Sondeos de correlación

Con el propósito de verificar la estratigrafía y obtener datos cuantitativos confiables de la resistencia no drenada de las arcillas es aconsejable hacer un sondeo continuo, del cual se obtengan unas 10 muestras inalteradas, de alta calidad (recuperación mínima de 95%) de las arcillas, a profundidades predeterminadas con base en los perfiles obtenidos de los sondeos de cono eléctrico.

En el resto de la longitud del sondeo se recuperan muestras alteradas, continuas, mediante el empleo del muestreador estándar, de pared gruesa, hincado a golpe. Puesto que la única finalidad de estas muestras alteradas es su correcta clasificación para verificar la estratigrafía, puede mejorarse el rendimiento del muestreador estándar aumentando el diámetro de la muestra hasta 7.6 cm y la longitud hincada hasta 1.2 m; la recuperación de muestra debe ser mayor de 75%; se recomienda usar una zapata del muestreador cuya parte cónica tenga una altura no menor de un diámetro de la muestra. El sondeo debe alcanzar la profundidad del lecho inferior de la capa dura. De la costra superficial es necesario obtener por lo menos 3 muestras representativas (selectivas) empleando el tubo Shelby dentado.

Antes de introducir los tubos muestreadores debe ampliarse la perforación con una broca de arrastre y agua a baja presión.

En el laboratorio deben realizarse los siguientes ensayos:

- Clasificación visual y al tacto, en húmedo y en seco, de las muestras alteradas, determinando el contenido de agua en es pecímenes representativos de los distintos estratos identi ficados.
- Resistencia no drenada al esfuerzo cortante, mediante pruebas de compresión triaxial no drenada (7_{uu}) en especímenes obtenidos de la parte central de los tubos shelby, con presión confinante igual a la presión total correspondiente a la profundidad de la muestra.

1.3.1.3 Instalación de piezómetros

Es necesario conocer la distribución actual de la presión en el agua de los poros del suelo, con el fin de definir la zona de la formación arcillosa superior que está siendo afecta da por el proceso de consolidación regional, para lo cual de ben instalarse piezómetros.

Por su facilidad de construcción e instalación es recomendable emplear piezómetros hincados, de tipo abierto. Se consi dera adecuado un número de 4, uno de los cuales debe quedar en la capa dura y los tres restantes entre ésta y una profun didad de 10 m, ubicándolos, de preferencia, en las capas más permeables, de arena o limos, detectadas en los sondeos de co no.

1.3.2 Diseño balanceado del pilote

El objetivo del diseño balanceado es determinar el diámetro, o ancho (B), del pilote que permite equiparar su capacidad de carga admisible en la punta con la carga última aplicable al pilote a través de la celda deformable y la fricción late ral, según la ecuación ($8'$).

$$Q_p = 2 (Q_c + Q_f) \quad (8')$$

De esta ecuación se llega a la dimensión de la sección del pilote dada por la ecuación (9').

$$B = \frac{8 (1 + n) L \bar{f}}{q_c} \quad (9')$$

En esta expresión se observa que B es función de:

- L longitud del pilote
- \bar{f} valor medio de la fricción lateral última
- q_c resistencia a la penetración del cono de la capa dura y
- n relación entre la capacidad de carga de la celda deformable y la capacidad por fricción lateral $n = \frac{q_c}{Q_f}$

De estos factores los primeros tres son función de la estratigrafía y propiedades mecánicas de los suelos del sitio y el último obedece a consideraciones de construcción.

1.3.2.1 Longitud del pilote

Se determina por la diferencia de niveles entre el lecho inferior de la losa de cimentación y el lecho superior de la capa dura.

1.3.2.2 Fricción lateral media última

Cuando se instala un pilote de control debe hincársele en una perforación previa que atraviese todos los estratos duros que

se encuentran intercalados en las arcillas de la FAS, con el objeto de facilitar el hincado y garantizar el apoyo de la punta sobre la capa dura. La perforación precisa debe ser de un diámetro menor en 10 cm que el diámetro del pilote, o del círculo inscrito en el cuadrado, para este tipo de sección; de esta manera se asegura el contacto entre el pilote y el suelo circundante, pero se produce, al hincar, el remoldeo de la capa de arcilla que se encuentra en contacto con la superficie lateral del pilote, por lo que la fricción inicial es relativamente pequeña. Las pruebas de carga realizadas en pilotes de fricción demuestran que la fricción lateral aumenta con el tiempo, hasta alcanzar un valor casi constante al transcurrir un mes después del hincado (2).

El aumento de la fricción lateral se debe a que la arcilla remoldeada recupera su resistencia por reconsolidación bajo los esfuerzos efectivos debidos a su propio peso.

Teniendo en cuenta el proceso de reconsolidación de la arcilla, el valor medio de la fricción lateral \bar{f} puede determinarse por cualquiera de los siguientes procedimientos, que se ilustran en la figura 5.

- a) *Pruebas triaxiales no drenadas.* - En la gráfica a) se presentan los resultados de las pruebas triaxiales realizadas, en un sitio de la zona central de la ciudad, indicando la variación de la resistencia al corte no drenada, $c_{uu} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$, con la profundidad.

En la zona virgen del Lago de Texcoco esta gráfica es prácticamente una recta en toda la profundidad, indicando que se trata de arcillas normalmente consolidadas bajo su propio peso; en cambio, en la zona central de la ciudad, donde la arcilla ha sido preconsolidada por cargas superfi-

ciales y secado, los valores de la resistencia se separan de la recta en la parte superior, indicada por las letras PC, que en el sitio donde se realizó este sondeo alcanza 11 m de profundidad. Debajo de 23 m, la parte inferior de la gráfica muestra otra zona preconsolidada, PC, donde las resistencias son mayores que la ley lineal, a consecuencia del incremento en los esfuerzos de consolidación inducidos por el bombeo profundo del agua subterránea.

La zona intermedia de la gráfica, marcada con NC, se ha consolidado solamente por la acción de su propio peso, por lo que se trata de una arcilla normalmente consolidada. Al remoldear la arcilla por el hincado del pilote se pierden los efectos de la preconsolidación, pero en corto tiempo se vuelve a consolidar bajo los esfuerzos efectivos actuales; de éstos se consideran para fines del análisis solamente los esfuerzos debidos al peso propio, ya que las cargas superficiales y el secado desaparecen y los efectos del abatimiento piezométrico pueden ser contrarrestados parcial o totalmente por la fricción negativa.

Basándose en estas consideraciones puede tomarse como valor medio de $\bar{\gamma}$ el correspondiente a la resistencia no drenada, \bar{c}_{uu} , a la altura del punto medio del pilote; indicado en la figura por C; este punto se encuentra en la zona normalmente consolidada, por lo que su resistencia reconsolidada volverá a alcanzar el mismo valor actual.

- b) *Resistencia a la penetración del cono eléctrico.*- El mismo razonamiento del párrafo anterior es aplicable a los resultados obtenidos con los sondeos hechos con el cono eléctrico que muestra la gráfica b) de la figura 5. Tomando como valor medio de la resistencia a la penetración

el del punto medio C, se determina el valor de \bar{q}_C y de aquí, por correlación experimental entre q_C y c_{uu} , se obtiene el valor medio de $\bar{\delta}$, según la expresión:

$$\bar{\delta} = c_{uu} = \bar{q}_C / F_C \quad (b)$$

F_C es el factor de correlación que, en promedio, tiene un valor de 13 para las arcillas blandas del Valle de México; pero puede siempre verificarse si se dispone de los datos de las pruebas triaxiales efectuadas en cada sitio.

- c) *Esfuerzos efectivos.*— La gráfica c) de la figura 5 presenta el diagrama de esfuerzos verticales efectivos, σ_v' , obtenidos a partir del diagrama de esfuerzos verticales totales debidos al peso saturado del suelo, $\sigma_v = \gamma Z$. Disminuyendo de este diagrama la presión de poro medida en los piezómetros se obtienen los esfuerzos efectivos que muestra la línea punteada, ($\sigma_v' = \sigma_v - u$). De este diagrama se obtiene el valor medio de $\bar{\sigma}_v'$ correspondiente a la profundidad media del pilote, z_c .

El valor de $\bar{\delta}$ se calcula por la expresión:

$$\bar{\delta} = \sigma_v' \frac{1 - \sin^2 \phi'}{1 + \sin^2 \phi'} \tan \phi' = B \bar{\sigma}_v' \quad (c)$$

El factor B ha sido medido experimentalmente en pruebas de carga (3). Para las arcillas del Valle de México se ha obtenido un valor medio de $B = 0.3$, que corresponde a un ángulo $\phi' = 22^\circ$, en prueba triaxial drenada. La ecuación (c) queda:

$$\bar{\gamma} = 0.3 \bar{\sigma}_v' \quad (c')$$

1.3.2.3 Resistencia de la capa dura

Se determina con el cono eléctrico, tomando el valor promedio dentro de una profundidad igual a un diámetro del pilote, baja su nivel de apoyo.

1.3.2.4 Determinación de n

La relación $n = Q_c / Q_f$ se obtiene por tanteos mediante la ecuación (9'), asignando valores arbitrarios a n , para calcular los correspondientes de B ; de estos valores se elige aquel que proporcione una dimensión razonablemente práctica del pilote. Los diámetros más usuales en la práctica varían de 45 a 60 cm. Valores de n comprendidos entre 0.2 y 0.3 se consideran aceptables.

1.3.2.5 Capacidad de carga friccionante

Se calcula con la fórmula

$$Q_f = p L \bar{\gamma} \quad (3.2.5)$$

en la que p es el perímetro de la sección del pilote.

1.3.2.6 Capacidad de la celda deformable

Se calcula por el producto de n y Q_f

$$Q_c = n Q_f \quad (8'')$$

1.3.3 Número de pilotes necesarios

El número de pilotes necesarios por columna o grupo de columna estará dado por la carga dinámica de la columna o grupo, $WD_n = W_{en} + W_d$, dividida por la capacidad de carga dinámica admisible para cada pilote, w_{dta} .

1.3.3.1 Capacidad de carga dinámica admisible

Se calcula con la ecuación

$$w_{dta} = Q_c + Q_f/FS_d \quad (14)$$

en la que FS_d es el factor de seguridad para carga dinámica, al que se le asigna un valor según el tipo de edificación de que se trate.

Edificio tipo	FS_d
A	2
B	1.7

1.3.3.2 Cálculo del número de pilotes

Está expresado por:

$$N = \frac{WD_n}{w_{dta}} \quad (3.3.2.)$$

1.3.4 Separación entre pilotes

La separación mínima aceptable entre pilotes está dada por la condición límite de equilibrio expresada por la ecuación (3')

$$Q_f = w_{se} + F_n \quad (3')$$

de la cual se obtiene el valor de la fricción negativa que se requiere para hacer descender el suelo circundante al pilote a la misma velocidad del hundimiento regional.

$$F_n = Q_f - w_{se} \quad (3'')$$

La carga w_{se} se calcula en función de la carga estática neta por la columna, o grupo de columnas, y el número de pilotes correspondientes, N .

$$w_{se} = \frac{w E_n}{N} - Q_c \quad (3.4)$$

La separación mínima entre pilotes se obtiene aplicando un factor de seguridad a la ecuación (6')

$$S_{\min} = 1.25 D_n = 1.25 \frac{F_n}{[\gamma H - u_b]}$$

1.3.5 *Distribución de pilotes en la cimentación*

Basándose en los resultados de los pasos 3.3.2 y 3.4 se determina la distribución adecuada para satisfacer ambas condiciones de comportamiento, dinámico y estático.

II GRUPO DE PILOTES

2.1 ANTECEDENTES

Una obra pesada y desplantada por superficie sobre las arcillas blandas de la Ciudad de México suele generar asentamientos considerables y normalmente inadmisibles. La función de los grupos de pilotes es reducir y controlar esos asentamientos mediante la redistribución de los incrementos de esfuerzos dentro de la masa del suelo, labor para la que son sumamente eficaces.

Para analizar la forma en que los esfuerzos se distribuyen en el subsuelo, tradicionalmente se ha usado la teoría elástica con resultados satisfactorios

En el caso de sobrecargas superficiales (losas corridas, zapatas) el procedimiento preferido para las condiciones de la zona compresible de la Ciudad de México es el de Boussinesq. Dany y Casales han resuelto el problema para polígonos de cualquier forma y en cualquier número, mediante un proceso sumamente laborioso pero ideal para ser mecanizado.

El sistema de pilotes de control consiste en transmitir parte del peso de un edificio directamente al suelo mediante elementos superficiales y el resto a la capa dura a través de mecanismos controlables de carga que actúan directamente en la cabeza de los pilotes. A su vez éstos se apoyan sólidamente en la capa dura de manera que no la penetren y el movimiento relativo de la estructura respecto a los pilotes (necesario para seguir los hundimientos regionales de la Ciudad de México) se logra haciendo que los pilotes atraviesen la losa de cimentación. Como resultado de esto existe un tercer factor de generación de esfuerzos dentro de la masa de suelo: la fricción negativa.

Para determinar los incrementos de esfuerzos en un punto cualquiera del subsuelo, es necesario sumar el efecto de una sobrecarga superficial de las cargas de punta de todos los pilotes y de la influencia de la fricción negativa actuando en todos los pilotes.

Para poder aplicar la teoría elástica, es necesario aceptar como hipótesis que las propiedades del suelo no varían al introducirse el grupo de pilotes.

2.2 DISEÑO

Diseñar una cimentación a base de pilotes de control consiste en proporcionar el mínimo número de pilotes para mantener los asentamientos -totales y diferenciales- dentro de valores aceptables, permitiendo el buen funcionamiento de la estructura que soportan y de los equipos instalados dentro de ella, así como sostenerla cuando los sismos generen fuerzas adicionales por inercia.

2.3 SOBRECARGA SUPERFICIAL

El proceso se inicia eligiendo arbitrariamente un grupo de pilotes a base de criterios de resistencia. Para ello es necesario contar con la estratigrafía del sitio, con el valor de capacidad de carga de punta () y con los valores medidos (in-situ o en el laboratorio) o estimados de la cohesión de cada uno de los estratos hallados en el espesor de suelo interesado por los pilotes. El valor de trabajo será un promedio pesado de los valores de c .

Esta etapa permite decidir qué valor aproximado tendrá la presión estática de contacto de la losa de cimentación y qué parte

de la descarga media (razón entre el peso total de la obra y la superficie de la losa) deberá ser transmitida a través de los mecanismos de carga.

Mediante el uso del programa 1 -ECDAMY- es posible calcular los incrementos de carga bajo cualquier punto de la superficie, provocados por hasta 30 polígonos de hasta 30 lados cada uno, cualquiera que sean los valores de las sobrecargas que actúen sobre estos polígonos. Normalmente se tendrá un sólo polígono definido por el perímetro de la losa de cimentación y un sólo valor de la presión de contacto losa-suelo, pero si acaso se tiene una cimentación de zapatas o casos más complejos que el normal, ECDAMY podrá manejar una gran variedad de opciones tal como se le presenta, y con ligeras modificaciones, adaptarse a casos especiales.

Los parámetros del programa son el número de polígonos, la sobrecarga de cada uno, la profundidad máxima de investigación, las abscisas de cada vértice (en el sentido antihorario), las ordenadas de los mismos y las coordenadas del punto bajo el cual se desea determinar los incrementos. Las indicaciones necesarias aparecen en el monitor y los resultados se calculan automáticamente para profundidades a intervalos del 10% de la profundidad máxima, apareciendo en una tabla conforme van siendo determinados.

Ejemplo:

Se tiene una losa con planta rectangular que descarga una presión media de 3.28 t/m^2 . Se desea calcular los incrementos de carga bajo el centroide y para ello el polígono se coloca arbitrariamente dentro de un sistema de ejes coordenados -en este caso el vértice inferior izquierdo en coincidencia con el origen- y a él se refieren todos los vértices, así como él o

los puntos bajo los cuales se harán las determinaciones. En este caso las dimensiones de la losa son 23,25 x 14,7 m y se desea calcular los incrementos hasta una profundidad de 30 m.

En la tabla I aparecen las coordenadas de los vértices, debiéndose tener en cuenta que estos datos se proporcionan en forma de listas; primero todas las abscisas X (i), un símbolo de fin de datos tras el último valor de la X y luego todas las ordenadas Y (i). Las coordenadas del punto de interés son X0 y Y0.

T A B L A I

Valores de las coordenadas

Vértice Nº	X m	Y m
1	0.0	0.0
2	23,25	0.0
3	23,25	14.70
4	0.0	14.70

T A B L A II

Resultados bajo el
punto XO = 11.625
YO = 7.35

Prof. m	Incremento t/m ²
3	3.19
6	2.79
9	2.26
12	1.79
15	1.4
18	1.11
21	.9
24	.73
27	.6
30	.51

2.4 FRICCIÓN NEGATIVA

El objeto principal del uso de pilotes de control es permitir que un edificio siga los hundimientos regionales de la Ciudad de México sin producir emersiones ni asentamientos adicionales. La hipótesis de partida contempla a los pilotes apoyados de punta en la capa dura, con el suelo deslizado a lo largo de los fustes en la interfase pilote-suelo. El paso siguiente consiste en analizar un grupo de pilotes semejantes. Si una cimentación cuenta con pilotes de distinto tipo o de características diferentes, se analiza cada subgrupo por separado y después se suman sus efectos.

Las pruebas de campo con que se cuenta hasta la fecha indican que un deslizamiento relativo en la interfase de 1 a 3 cm basta para desarrollar la totalidad de la resistencia del suelo, medida por c . Además la carga por fricción negativa se transmite a la punta y ésta induce ciertas deformaciones - o penetración - en la capa dura, de manera que a su vez el pilote experimenta un descenso.

Como cerca de la punta la magnitud del desplazamiento suelo-pilote es el mínimo y además existe el desplazamiento de signo contrario, en la parte inferior hay escasas probabilidades de desarrollo de la fricción negativa, e incluso puede haber fricción positiva. Por estas razones en el cuarto inferior de la longitud efectiva del pilote se supone un estado neutro, donde se desarrolla la fricción negativa.

En los $3/4$ superiores de tal longitud se considera que la fricción se distribuye uniformemente, de acuerdo con el promedio pesado de c en el espesor donde están alojados los $3/4$ superiores del pilote. La carga total en la punta por concepto de la fricción negativa resulta entonces:

$$Q_n = 0.75 c A_l$$

donde A_l es el área lateral del pilote.

2.5 DETERMINACIONES DE LOS ESFUERZOS EN EL SUELO

Con el auxilio del programa 2 -PILSCONT- es posible calcular los incrementos de esfuerzos bajo puntos cualesquiera, de manera similar a lo hecho en el programa I. PILSCONT presenta diversas opciones además del pilote de control, para los casos en que se tengan grupos mixtos o para analizar en general una amplia gama de cimentaciones. Conviene hacer notar que al elegir la opción de pilotes de control en el menú de PILSCONT

automáticamente se estará tomando en cuenta la carga de punta y que el programa hará la suma necesaria.

Los parámetros de PILSCONT serán solicitados conforme se vayan necesitando y su lista completa es la siguiente:

- Tipo de pilote (de fricción, de fricción negativa, de control, de punta penetrante).
- Abscisas de las coordenadas de los pilotes X (i).
- Ordenadas de las coordenadas de los pilotes Y (i).
- Coordenadas del punto bajo el que se desea calcular los incrementos de presión X_0 , Y_0 .
- Magnitud de las cargas, características del pilote y profundidad máxima de análisis.

El programa determina la distancia de cada pilote al punto estudiado y calcula su contribución al incremento de esfuerzos a la profundidad que corresponda. Este procedimiento se repite automáticamente para diez profundidades hasta llegar a la máxima especificada y los resultados aparecen tabulados en el monitor conforme se calculan.

Ejemplos:

Existe un grupo de 18 pilotes de control desplantados a 30 m de profundidad y con su cabeza a 4.5 m bajo el nivel natural del terreno, que es la profundidad de la excavación del sótano donde se aloja la estructura de cimentación; de manera que su longitud efectiva es de 25.5 m. La carga aplicada por el mecanismo de control es de 35 t y la fricción negativa de 61.8 t. Se desea calcular los incrementos de esfuerzo hasta la profundidad de 50 m.

La distribución de los pilotes se halla sobre un área rectangular de 25 x 8 m, en una retícula de 5 x 4 m. Sobre el eje de las X existen seis pilotes, estando el primero en el origen (0,0), el segundo en las coordenadas (5,0) y el último de la primera fila en (25,0). El primer pilote de la segunda fila está en (0,4), el segundo en (5,4) y así sucesivamente.

Parte de la descarga de la obra es transmitida directamente al suelo por la losa de cimentación, con un valor medio de 10.25 t/m². La excavación a su vez compensa una carga media de 6.75 t/m², de manera que la diferencia es la sobrecarga neta y vale 3.5 t/m².

Se desea calcular los incrementos de esfuerzos bajo el punto (12.5,3) y se empieza por realizar los cálculos con el programa 1, ECDANY.

T A B L A III

Incrementos de esfuerzos debidos
a una sobrecarga superficial

Prof. m	Incremento t/m ²
5	3.5
10	2.37
15	1.41
20	0.89
25	0.60
30	0.42
35	1.31
40	0.24
45	0.19
50	0.75

A su vez el grupo de pilotes analizado con el programa 2, PILSCONT induce los siguientes esfuerzos:

T A B L A IV

Incrementos de esfuerzos debidos
al grupo de pilotes

Prof. m	Incremento t/m ²
5	-0.11
10	-0.86
15	-1.47
20	-2.30
25	-3.03
30	-0.73
35	1.53
40	1.10
45	0.73
50	0.50

El efecto combinado de la sobrecarga neta aplicada por la losa y de los valores recién obtenidos provee el total de los esfuerzos generados por la obra. Sumando los valores de ambas tablas se obtiene:

T A B L A V

Incrementos de esfuerzos debidos
a la estructura

Prof. m	Incremento t/m ²
5	3.39
10	1.51
15	-0.06
20	-1.41
25	-2.43
30	-0.31
35	1.84
40	1.34
45	0.92
50	0.65

Entre 15 y 30 m los incrementos de esfuerzos son negativos, es decir, el material es extendido y los esfuerzos por peso propio del suelo se ven disminuidos; mientras que bajo las puntas de los pilotes (capa dura, segunda formación compresible) los incrementos de carga son comparativamente pequeños. Si se toma en cuenta que el incremento neto al suelo más la descarga media equivalente a las cargas tomadas por los pilotes suma 6.65 t/m², valor nada despreciable, y se compara con los esfuerzos de la Tabla III, se comprende por qué los pilotes de control han resultado tan eficaces en la práctica.

Con estas herramientas de análisis resulta factible diseñar el grupo de pilotes, tanteando la parte de la descarga que debe ir por la losa y la parte que deben tomar los pilotes, hasta obtener el grupo óptimo, o sea aquel que con el menor número de pilotes provoque los asentamientos previamente especificados como admisibles.

El ejemplo elegido es totalmente simétrico y eso permite revisar otra de las características de los grupos de pilotes de control: su capacidad para provocar asentamientos diferenciales tendientes a corregir desplomes de las obras. Bajo los puntos simétricos A (2.5,2) y B (22.5,2) existen incrementos de esfuerzos iguales, pero ahora desconéctense los 9 pilotes a la izquierda del eje transversal de la planta para determinar qué ocurre.

Son 315 t que originalmente tomaban los pilotes y que ahora deben ser tomadas por la losa. Se supone que la mitad izquierda que mide 12.5 x 8 m toma la totalidad del incremento mientras que la mitad de la derecha queda exactamente como antes. Ahora se deben sumar los siguientes efectos: la capa superficial de la izquierda, la carga superficial de la derecha; un grupo de nueve pilotes sin carga en la cabeza y otro grupo de nueve pilotes de control como los anteriores.

La presión añadida a la porción izquierda de la losa es de 3.15 t/m^2 , de manera que se tienen dos rectángulos contiguos, uno con presión de contacto de 6.65 t/m^2 y otro con 3.5 t/m^2 . ECDAMY puede manejar esta situación de un golpe, pues está diseñado precisamente para este tipo de situaciones. Los resultados son los siguientes:

T A B L A VI

Incrementos de carga por superficie
en los puntos simétricos A y B

Prof. m	Incremento en A t/m ²	Incremento en B t/m ²
5	6.62	3.48
10	3.26	1.75
15	1.76	1.05
20	1.10	0.74
25	0.75	0.56
30	0.54	0.44
35	0.41	0.35
40	0.32	0.28
45	0.25	0.23
50	0.21	0.19

El análisis de ambos grupos de pilotes arroja cuatro tablas de valores, pues con cada uno de ellos se deben calcular incrementos en los puntos A y B. Los resultados parciales y su suma son los siguientes:

T A B L A VII

Incrementos de esfuerzos debidos
a los dos grupos de pilotes
(t/m²)

Prof. m	Gpo. Izq.		Gpo. Der.		Suma	
	A	B	A	B	A	B
5	-0.06	0.0	0.0	-0.08	-0.06	-0.08
10	-0.56	-0.04	-0.05	-0.63	-0.61	-0.67
15	-0.87	-0.09	-0.10	-1.05	-0.97	-1.14
20	-1.42	-0.11	-0.10	-1.76	-1.52	-1.27
25	-1.98	-0.10	-0.07	-2.59	-2.05	-2.69
30	-0.56	-0.10	-0.07	-0.56	-0.63	-0.62
35	0.81	-0.09	-0.06	1.51	0.75	1.42
40	0.47	-0.04	0.01	0.89	0.48	0.55
45	0.25	-0.01	0.06	0.51	0.31	0.50
50	0.14	0.01	0.08	0.32	0.22	0.32

Finalmente la suma de los efectos de la losa y de los pilotes arroja el siguiente resultado:

T A B L A VIII

Incrementos de esfuerzos debidos
a la obra

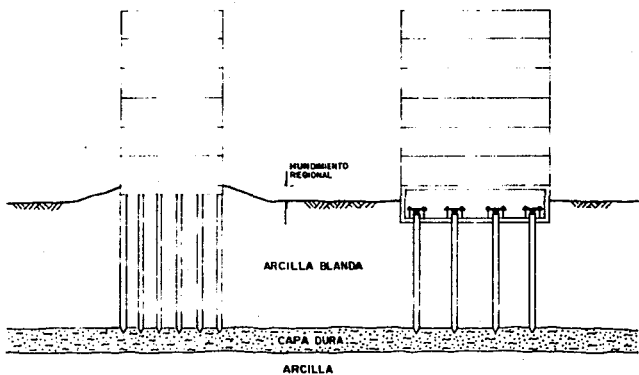
Prof. m	Punto A	Punto B
	t/m ²	t/m ²
5	6.56	3.40
10	2.65	1.08
15	0.79	-0.09
20	-0.42	-1.13
25	-1.30	-2.13
30	-0.09	-0.18
35	1.16	1.77
40	0.80	1.13
45	0.56	0.73
50	0.43	0.92

Se puede apreciar la diferencia de esfuerzos compresivos hasta antes de los 20 m de profundidad y bajo las puntas de los pilotes. Las extensiones [-] se desprecian para efectos de generación de hundimientos.

Bajo el punto A existen mayores compresiones bajo la losa, pero en B son algo mayores bajo las puntas de los pilotes y por tanto el éxito de este método de recimentación ha estribado en aprovechar la elevada compresibilidad de los materiales hallados en la parte superior de la primera formación compresible.

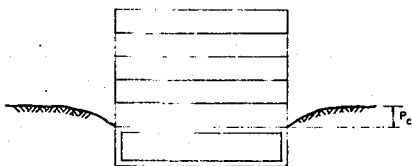
2.6. CONCLUSIONES

Una vez determinados los incrementos de esfuerzos el cálculo de hundimientos es muy sencillo, debiéndose contar por supuesto con datos de las características del suelo. Si la magnitud de los asentamientos totales o diferenciales es inadmisibles, se procede al siguiente tanteo hasta que el diseñador quede satisfecho de los resultados y se dé por terminado el trabajo de análisis.



PILOTES DE PUNTA

PILOTES DE CONTROL



CAJON PARCIALMENTE COMPENSADO

P_c = ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACION BAJO LA
CARGA NO COMPENSADA $W_{re} = W_{te} - WC$

Fig. 1 Pilotes de control. Solución a problemas de hundimiento y emersión de edificios.

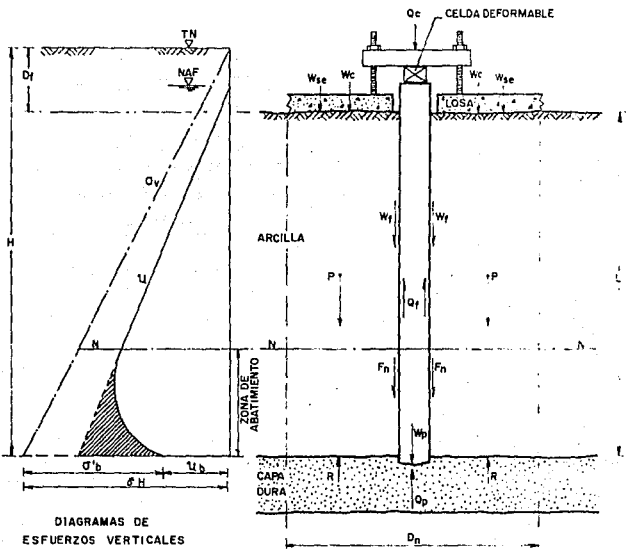


Fig. 2 Esquema de corte vertical a lo largo de un pilote de control

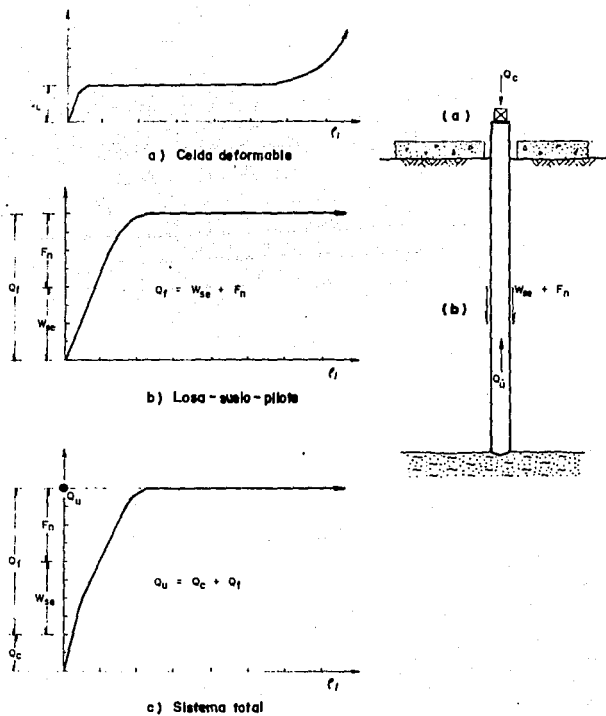


Fig. 3 Diagramas asentamiento - carga, (a) de la celda deformable, (b) subsistema losa - suelo - pilote y (c) del sistema total

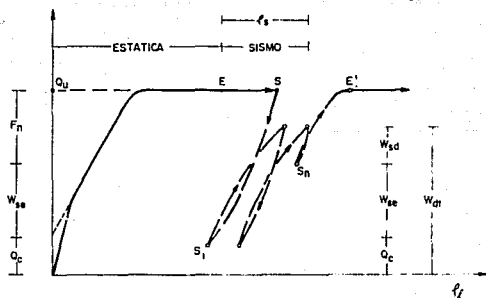


Fig. 4 Evolución de la relación entre la carga y el asentamiento durante el sismo

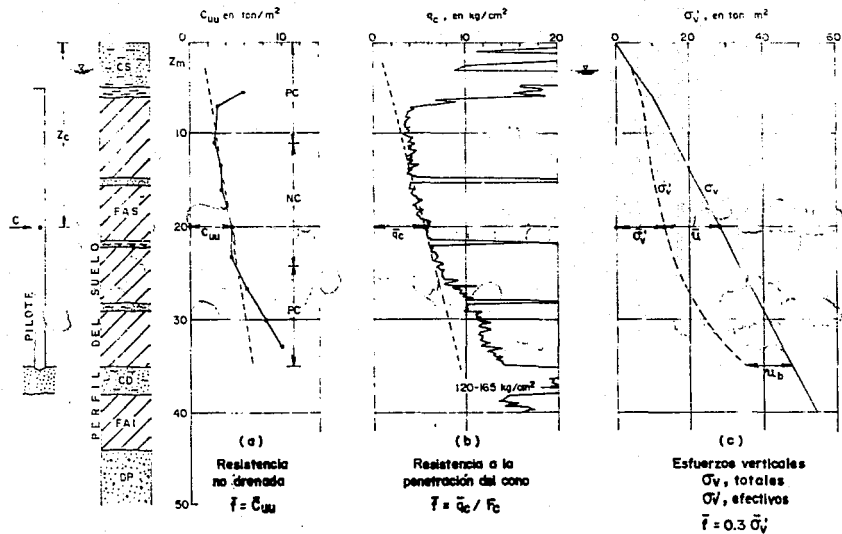


Fig. 5 Determinación del valor medio de la fricción lateral última, \bar{f}

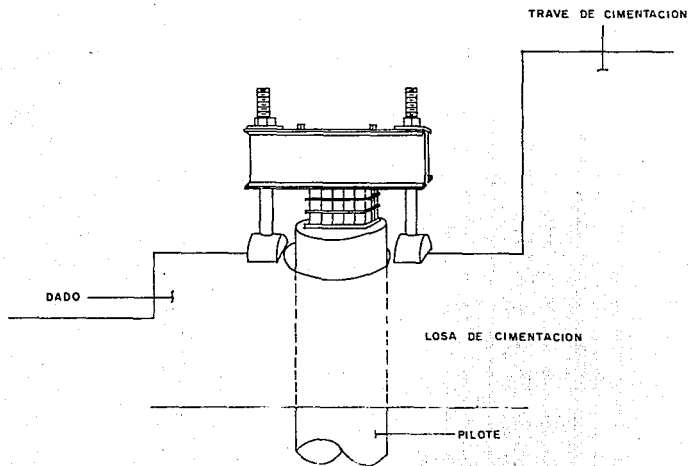
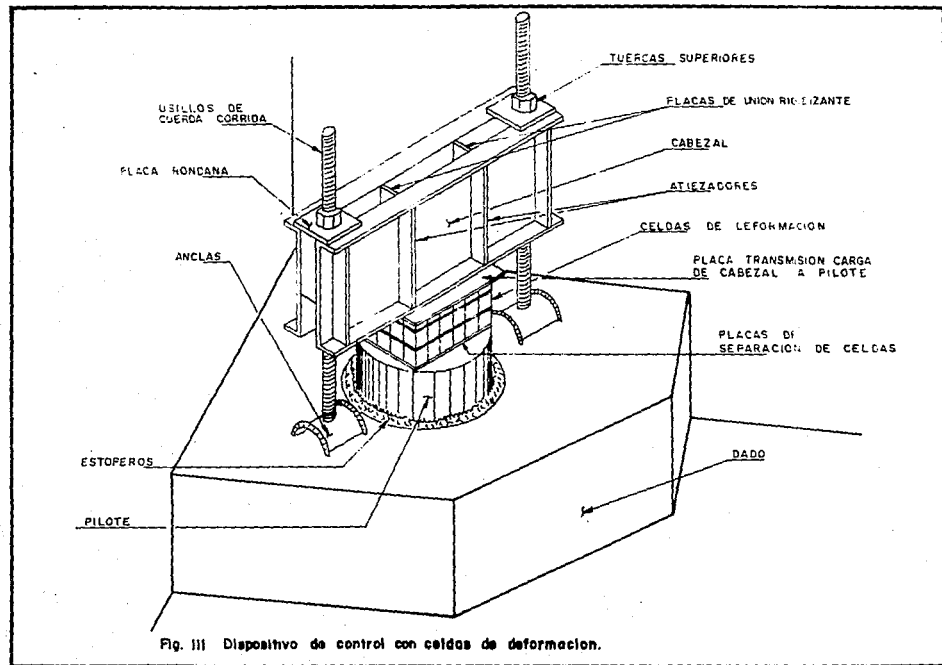


Fig. II Esquema de un pilote con dispositivo regulador de carga.



- d_1 = DISTANCIA A ROMPER
CON CINCEL Y MARTILLO
PARA AFLOJAR EL
CABEZAL.
- D = DISTANCIA TOTAL A
CORTAR EN EL MANTENI-
MIENTO CORRECTIVO

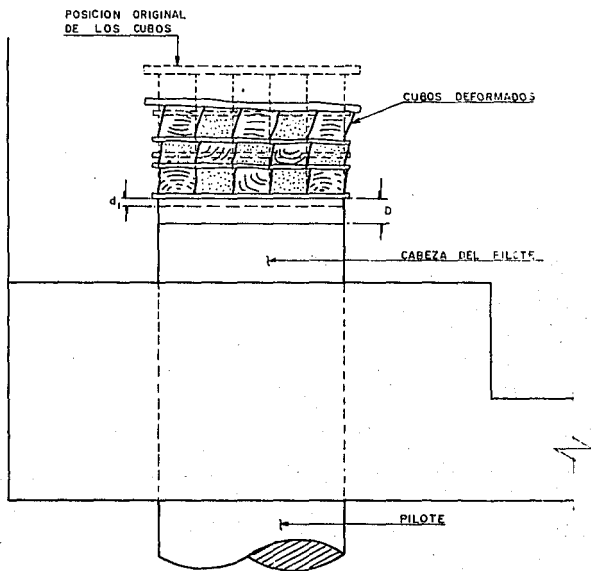
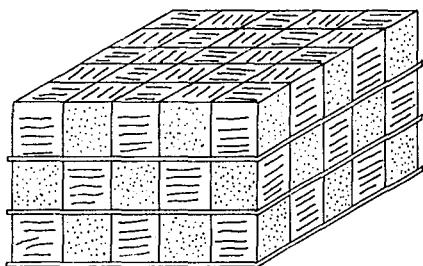


Fig. IX Recorte de la cabeza del pilote para aflojar el cabezal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



NO ES EL SENTIDO
DE LAS FIBRAS

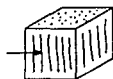


Fig. V Posición correcta del sentido de las fibras de los cubos de madera.

III MANTENIMIENTO PARA LOS DISPOSITIVOS DE CARGA DE LOS PILOTES DE CONTROL

Para aprovechar al máximo las ventajas que ofrecen los pilotes de control, es indispensable un mantenimiento eficaz y estricto a este sistema de cimentación.

Mantenimiento.- Es la acción de conservar en buen estado de servicio los dispositivos reguladores de carga de los pilotes de control.

El servicio de mantenimiento es de dos tipos:

- 1.- Mantenimiento preventivo: que consiste en la inspección periódica y programada de los elementos de control para la reparación de averías de poca importancia.
- 2.- Mantenimiento correctivo: que consiste en la reparación de daños o mal funcionamiento de los elementos de control.
- 3.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.- Tiene como objetivo verificar que el estado de los dispositivos de control sea óptimo, y que los movimientos verticales de la estructura sean uniformes y no existan movimientos diferenciales. Para tal fin se requiere de una inspección rigurosa y de nivelaciones de precisión en elementos previamente fijados como columnas.

a) Frecuencia

La inspección rigurosa de los elementos de control debe ser cada tres meses.

Las nivelaciones de precisión deberán realizarse en el mismo período, en base a los resultados obtenidos, considere ampliar el lapso entre nivelaciones.

b) Procedimiento

b.1) Inspección de los controles

La deformación vertical de los cubos de madera en su totalidad o parcialmente no exceda de 2.5 cm y ésto para cada capa.

Que las placas distribuidoras de carga entre celdillas de madera no se hayan deformado.

Que el cabezal no presente ningún giro respecto a su plano vertical, en todo su eje longitudinal o en parte de él.

Que el cabezal no esté defle^{cto}ado ni con pandeo lateral en el conjunto o alguna de las partes que lo forman.

Que en el cabezal no exista alguna falla en las soldaduras ni desgarraduras de placas, principalmente de las placas rondanas.

Que el cabezal no esté fracturado.

Que las anclas no tengan óxido, que sigan firmes y no se vayan a mover respecto a las cañas o medias cañas.

Que en los husillos no exista oxidación, deflección o algún harrido de la cuerda.

Se verificará el buen estado de la tuerca superior y el de la media caña o caña.

b.2) Estimación de la carga en la cabeza del pilote

Para conocer la carga que está actuando en la cabeza del pilote, se coloca un segundo puente y un gato intermedio sobre el puente en que se apoya el pilote y medir en el manómetro la carga que se obtiene al aflojar las tuercas del cabezal.

El segundo puente deberá estar debidamente ligado al sistema de cimentación.

b.3) Filtraciones

Se verificará que no exista ascenso de agua freática a través de los estoperos hacia el cajón de cimentación.

Se verificará que no existan filtraciones de agua hacia el cajón de cimentación a través de paredes y/o fondo del cajón.

b.4) Nivelaciones

Las nivelaciones de precisión deben incluir bancos de nivel profundos, bancos de nivel superficiales y referencias en el edificio. Los bancos profundos son construidos ex profeso y no deben ser afectados por el hundimiento general del Valle de México. Los bancos superficiales

se localizarán en sitios ajenos a los movimientos del propio edificio y de edificios vecinos, como pueden ser postes, alcantarillas, etc. Las referencias en el edificio se pintarán en columnas o trabes, formando un plano horizontal en la primera nivelación de precisión.

Las nivelaciones posteriores que deben incluir todos los elementos indicados anteriormente, servirán para construir curvas de igual asentamiento, siendo la representación gráfica más objetiva de estos movimientos, el perfil de desplazamiento - tiempo de cada elemento nivelado.

Los movimientos detectados por dichas nivelaciones serán del orden de los previstos en el estudio de mecánica de suelos que dio origen a la cimentación de pilotes de control.

b.5] Reparaciones aplicables

En caso de registrarse alguna avería o deterioro, se procederá de la siguiente manera:

Controles

Si la deformación vertical de los cubos es mayor de 2 cm deberán cambiarse de inmediato empezando con desmontar - el dispositivo de control como se indica a continuación:

Dependiendo de la forma de la planta de cimentación, se eligen entre ejes alternados o bien por pilotes individualmente, en un orden tal que nunca queden dos pilotes descargados juntos para efectuar la descarga del dispositivo de control del pilote.

Una vez elegido el orden de descarga, se procede a aflojar las tuercas para soltar el cabezal (Fig. IV).

-Si no es posible aflojar las tuercas manualmente, se procederá de la siguiente manera:

Con cincel y martillo se rompe la parte superior de la cabeza del pilote en todo alrededor.

Caen por gravedad los cubos y sus placas.

Se aflojan las tuercas.

Una vez retiradas las tuercas, se puede o no sacar el cabezal. Si no se retira el cabezal, se calza de un lado con un tramo de madera quedando de dicho lado levantado permitiendo el trabajo.

Se retiran los cubos deformados y sus placas porta cubos.

Si las placas porta cubos están pandeadas, se enderezan con marro, si están muy dobladas y/o corroidas por óxido, se cambian.

Es necesario que las celdas que se vayan a emplear en los mecanismos sean clasificados anteriormente a su colocación para lograr un comportamiento uniforme de las distintas capas que forman las celdas de deformación.

Se coloca la primera placa y sobre ella la primera serie de cubos. El sentido de los hilos de la madera no debe de coincidir ni hacia arriba o hacia abajo ni hacia los lados (Fig. V).

Una vez colocadas todas las placas porta cubos y los cubos de madera, se coloca el cabezal en su lugar y las tuercas se giran hasta quedar apretadas con la fuerza que proporcionarán dos hombres con su llave stelson de 36".

Se utilizará un nivel de mano sobre el cabezal para dejarlo horizontal, y se verificará que no exista excentricidad de una de las tres fuerzas que componen el sistema coplamar paralelo de los dos tornillos y el pilote.

-Se verifica el estado general de pintura y engrasado en los elementos que forman el control:

Los cabezales y las placas se protegerán con base anticorrosiva y posteriormente con esmalte haciendo un raspado y cepillado previo de las partes agredidas por la humedad, lijando cuanto sea necesario con herramienta eléctrica.

El cabezal se cambiará si las placas o atiesadores están desoldados, flechando en alguno de sus dos planos, corroído por óxido o falladas las placas rondanas.

Los tornillos se protegerán con grasa amarilla y aceite Nº 10 en mezcla 80%, 20% aplicando la pasta con cepillo.

Las anclas se protegerán con un producto resistente a la humedad como el apcoseal o cualquier otra marca similar.

Si los husillos están corroídos por óxido o la cuerda barrida, se cambian.

Filtraciones

Se efectúan retajes de estoperos en el momento que presenten fuga.

Se saca la estopa que queda del estopero, se limpia perfectamente el estopero y se coloca la nueva estopa. Primero estopa alquitranada y después seca,

Es preciso para que se cumpla de estanquedad del cajón de cimentación, que se sellen e impermeabilicen todas las visas de agua freática a través de diversos punto de la cimentación ajenas a los estoperos de los pilotes, como pueden ser las esquinas o paredes del cajón.

c) Personal

La inspección ocular deberá realizarla un Ingeniero Supervisor auxiliado por un jefe de brigada, oficial y ayudante.

Para las nivelaciones se requiere un Ingeniero Topógrafo, dos estaladeros y ayudante.

d) Equipos y materiales

Para las operaciones anteriores se requerirá del siguiente equipo personal:

- . Overol.
- . Casco.
- . Botas de hule.
- . Guantes de lana.

Y de:

- . Arcos con segueta.
- . Cinceles $3/4$ " de ϕ .
- . Llave stellson 36".
- . Pinzas.
- . Martillo de 8 lbs.
- . Desarmador grande.
- . Extensiones con foco de 100 ó 150 wats.
- . Cable conductor.
- . Brochas de 4".

Se debe tener siempre en existencia:

- Tuercas de 2" de caña.
- Tuercas de 2" de $1/2$ caña.
- Tornillos de 3" x 32"
- Cepillo de alambre eléctrico.
- Nivel de mano.

Los materiales que se requerirán son:

- Cubos de madera caoba previamente clasificados de acuerdo a estudios estadísticos del material, donde se fijarán los valores de algunas constantes como módulo de elasticidad, límite elástico, etc...
- Placas porta cubos de dimensiones y características previamente indicadas.
- Estopa alquitranada.
- Estopa de 2da. blanca.
- Esmalte (pintura de aceite).
- Base anticorrosiva.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Para las maniobras de nivelaciones será necesario:

- Un aparato nivel tipo "Wild N3" con una precisión de $\frac{1}{10}$ mm (implica micrómetro).
- 2 estadales.
- Cinta de 20 a 30 m.

e] Mantenimiento correctivo

e.1] Objetivo

Reparar el mal comportamiento o deterioro de los elementos de control no detectados en el mantenimiento preventivo o bien generados por causas accidentales.

En esta etapa, la cabeza de los pilotes de control sobresale impidiendo el buen comportamiento y la estabilidad de los dispositivos de control, por lo cual es necesario efectuar el recorte de la misma así como cambiar las celdas de deformación y los elementos que también resultan dañados:

e.2] Procedimiento

- Primordialmente deberán realizar nivelaciones y plomos antes y después de efectuar el mantenimiento correctivo.
- Enseguida, con base en el resultado de las nivelaciones se elegirá el área por donde se indicará la descarga de los dispositivos de los pilotes, siguiendo las indicaciones dadas en el mantenimiento preventivo.

- Antes de retirar el cabezal se deberá determinar y marcar la altura de recorte de la cabeza del pilote, de tal forma que quede en la posición original determinada y registrada al inicio del funcionamiento de los pilotes de control.

IV MEDICION in-situ DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LA CAPA DURA

INTRODUCCION

Siempre ha sido una proposición difícil extraer muestras inalteradas de la capa dura, pero ensayarlas en el laboratorio los es más aún, y por ello esta vía para determinar la resistencia al corte y luego su capacidad de carga ha estado más o menos cerrada en la práctica. Durante las excavaciones para el Metro o el drenaje profundo se presentaron algunas oportunidades para la extracción directa de muestras inalteradas, mismas que se dejaron pasar o las dificultades para la preparación de los especímenes frenaron éstos intentos.

La única opción abierta que se ha usado y ha arrojado algunos resultados es la prueba de carga con pilotes instrumentados. Esta medición directa con prototipos proporciona datos de buena calidad y seguirá siendo un método de investigación difícil de sustituir; pero por su alto costo, operación complicada y difícil ejecución es poco apta para utilizarse rutinaria y respectivamente.

4.1 PRUEBA DE PENETRACION NORMAL

El equipo de la PPN no puede ser más sencillo: se trata de un martinete de 63 kg de peso dejado caer de una altura de 75 cm que aplica su energía a una pieza cilíndrica de 12.7 cm de altura y 13.4 cm de diámetro llamado cople golpeador, mismo que está atornillado a una serie de barras de tamaño estándar (AW) unidas a su vez mediante coples hasta llegar al extremo inferior donde se halla el muestreador conocido como tubo partido, que en su punta lleva una zapata de 50.8 mm de diámetro exterior y 35 mm de diámetro interior.

Por otra parte la operación del equipo es muy parecida al hincado de un pilote, y salvo por el hecho de que el tubo partido está abierto en su extremo inferior, podría tratarse de un modelo de hincado; y si el tubo partido es substituido por una punta cónica del mismo diámetro que las barras (1.75") el modelo es exacto.

4.2 PRINCIPIOS DE LA ECUACION DE ONDA

La ecuación de onda es simplemente la historia de masas contiguas aceleradas por un impacto que se propaga a través de un medio elástico. Smith (4) ideó el procedimiento de cálculo descomponiendo al pilote en dos partes: por un lado una serie de masas rígidas y por el otro un número de resortes que las conectan y que representan la parte elástica del problema.

El tiempo se divide en incrementos finitos y la transmisión de la onda se va calculando en función de los desplazamientos de las masas y de las deformaciones de los resortes. Este procedimiento sencillo en su concepción se transforma en un formidable problema de cómputo, que una vez resuelto permite determinar las fuerzas estáticas que actúan en los costados y bajo la punta del pilote.

4.3 COMBINACION PPN-EO

Puesto que la PPN es bien conocida y se cuenta con los equipos y el personal necesario, es posible introducir en su operación ligeras modificaciones para realizar el hincado con la punta cónica y medir los números de golpes requeridos para producir una penetración de 3 a 5 cm.

La penetración total dividada entre el número de golpes es la penetración unitaria o PU.

A su vez, conocidas las características de los elementos del equipo PPN -velocidad de impacto del martinete, constante del resorte del cople golpeador, sección y peso por unidad de longitud de las barras, etc.- es posible dibujar a partir de la ecuación de onda la curva RUT-PU, o sea la resistencia última total estática vs. la penetración unitaria.

Conocidas las características del suelo en que se realiza la prueba se puede estimar la resistencia por fricción lateral y después la relación RUP/RUT, donde RUP es la resistencia última bajo la punta, en unidades de fuerza, y al dividir RUP entre el área de la sección transversal de la punta cónica - resulta la capacidad de carga de la capa dura.

4.4 COMPARACIONES

Se cuenta con datos publicados por Reséndiz (2,3) y Tamez (5) para ocho sitios ampliamente distribuidos en la Ciudad, donde se probaron más de una docena de pilotes con diámetro en sus puntas entre 1 y 8 pulgadas y con los siguientes resultados:

T A B L A I
Capacidad de carga de la capa dura medida con pilotes instrumentados

Autor	Sitio	Capacidad de carga kg/cm ²	Observaciones
Reséndiz	Jardín Balbuena	137	Un pilote
Reséndiz	Nonoalco-Tlatelolco	130	Promedio de 8 pilotes.
Tamez	Monumento a la Raza Río de la Loza y G. Hernández Insurgentes y Aguas calientes L. de Texcoco Reforma e Insurgentes B. California y Cuauhtémoc.	161 - 133	Pilotes de tubo metálico de 1 a 3 pulgadas de diámetro nominal.

Si bien es cierto que todos estos puntos pertenecen a la zona del Lago, es notable el agrupamiento de los resultados alrededor de los 140 kg/cm^2 , que hasta la fecha era un valor estandar de la capacidad de carga de la capa dura, a pesar de que la variación del número de golpes a lo largo de su espesor, detectada en casi cualquier sondeo, hacia sospechar que la capacidad de carga fuese más variable de lo que estas pruebas podrían hacer esperar.

Se cuenta con un número reducido de pruebas realizadas con la punta cónica, para las que se ha determinado la capacidad de carga en dos sitios de la zona de transición y en uno de la zona del Lago. En todos los casos tras la prueba se continuó con el uso del tubo partido, cuyos números de golpes en el primer tramo de hincado de 15 cm se analizaron también con la EO, para tratar de establecer alguna correlación entre ambos procedimientos.

1er. sitio, M. Escobedo N° 155, zona de transición
 2do. sitio, San Antonio N° 158, zona de transición
 3er. sitio, Chiapas N° 57, zona del Lago.

T A B L A II

Resultados de la punta cónica en tres sitios

Sitio	Sondeo N°	Prof. m	$q_u(\text{cono})$ kg/cm^2	$q_u(\text{PPN})$ kg/cm^2	$q_u(\text{PPN})/q_u(\text{cono})$
1	S-1	16.6	164	208	1.27
1	S-1	18.1	227	347	1.53
2	S-1	10.2	84	173	2.06
2	S-1	10.8	84	144	1.72
2	S-2	10.2	84	144	1.72
2	S-2	11.4	134	231	1.72
3	S-1	30.4	73	144	1.97
3	S-1	32.2	91	231	2.54

La q_u (PPN) resultó siempre mayor debido probablemente a la fricción tanto interna como externa que actúa sobre el tubo partido, aunque también puede haber influido el hecho de que la prueba cónica haya densificado el material bajo ella y que esto se refleja en los resultados. Comparando con las pruebas de pilotes resulta obvio que la prueba cónica está arrojando valores razonables y que ya en esta reducida investigación se puede apreciar una cierta tendencia hacia la coincidencia entre ambos procedimientos, pero con la ventaja para la punta cónica de su facilidad de utilización y su flexibilidad para averiguar las capacidades de carga en distintos puntos de un terreno y a diversas profundidades de la capa dura.

4.5 CONCLUSIONES

Lo anterior demuestra que la medición de la capacidad de carga de la capa dura puede hacerse de rutina con el mismo equipo usado para la realización de la PPN, siendo entonces posible medir respectivamente, con facilidad y a muy bajo costo - esta propiedad importantísima del estrato donde suelen apoyarse los pilotes de punta y las pilas.

Ciertamente hace falta trabajo adicional para calibrar cómo se comparan estas mediciones con la capacidad de carga de prototipos y también para tratar de eliminar la sustitución del tubo partido con la punta cónica; pero tratándose del uso de dos herramientas bien probadas a lo largo de muchos años, su utilidad está casi asegurada.

G L O S A R I O

- A = Area de la base
- P_s = Asentamiento acumulado
- P_e = Asentamiento de la losa
- $2u$ = Capacidad de carga límite
- $2p$ = Capacidad de la punta
- $2f$ = Capacidad friccionante del pilote
- w_s = Carga aplicada al prisma
- w_c = Carga compensada
- P' = Carga efectiva (intergranular)
- w_{dt} = Carga dinámica total
- w_f = Carga friccionante descendente
- w_{ne} = Carga neta estática
- w_c = Carga no compensada
- P_t = Carga total
- w_{ve} = Carga viva estática
- w_{vr} = Carga viva reducida
- $2c$ = Celda deformable

- B = Diámetro (o lado) del pilote
- F_n = Fuerza friccionante descendente
- W_m = Peso propio de la estructura
- P = Peso total del prisma
- γ = Peso volumétrico del suelo
- R' = Reacción efectiva
- σ = Resistencia friccionante media de la arcilla
- q_c = Resistencia de la capa dura a la penetración del cono eléctrico
- D_n = Separación mínima de pilotes


```

1 ' ECDAMY, Programa No. 1, Instructivo de Pilotes de Control.
2 REM Por Abraham Ellstein R.
10 DIM X(30,31),Y(30,31),XP(30,31),YP(30,31),N(30),S(30),B(30)
20 CLS
30 PRINT " ESFUERZOS GENERADOS POR POLIGONOS CARGADOS UNIFORMEMENTE EN LA SUPE
FICIE"
40 PRINT :PRINT "          ****FORMULA DE BOUSSINESQ, INTEGRACION DE DAMY-CASA
ES*****"
50 PRINT :PRINT "          - PARA INDICAR FIN DE ABCISAS DAR @":PRINT
60 PRINT
70 INPUT "          - NUMERO DE POLIGONOS":P
75 INPUT "          - PROF. DE EXCAVACION (m) =":PE
80 INPUT "          - MAXIMA PROF. DE ANALISIS (m)=":ZH
90 FOR J=1 TO P
100 PRINT :PPRINT "SOBRECARGA NETA EN EL":J;"o. POLIGONO (ton/m2)=".
110 INPUT S(J)
120 CLS
130 N(J)=1
140 PRINT "X(:"N(J):)":
150 INPUT A#
160 IF A#="" GOTO 200
170 X(J,N(J))=VAL(A#)
180 N(J)=N(J)+1
190 GOTO 140
200 N(J)=N(J)-1
210 FOR I=1 TO N(J)
220 PRINT "Y(:"I:)":
230 INPUT Y(J,I)
240 NEXT I
250 NEXT J
300 FOR J=1 TO P
310 K=0
320 CLS
330 PRINT J;"o. POLIGONO":PRINT
340 FOR L=1 TO 20
350 PRINT 20*K+L,X(J,20*K+L),Y(J,12*K+L)
360 NEXT L
370 INPUT "HAY ERROR":E#
380 IF E#="SI" THEN INPUT "EN QUE LINEA":NE ELSE GOTO 410
390 INPUT "X=":X(J,NE)

```

```

400 INPUT "Y=";Y(J,NE);GOTO 320
410 IF N(J)<20*K+21 GOTO 430
420 K=K+1;GOTO 320
430 NEXT J
500 CLS
510 PRINT "COORDENADAS DEL EJE"
520 PRINT
530 INPUT "X0=";X0
540 INPUT "Y0=";Y0
550 PRINT "PRINT , "PROFUNDIDAD", "INCREMENTO"
560 PRINT , " m", " ton/m2"
600 FOR Z=,1*ZM TO ZM+.1 STEP .1*ZM
610 B=0;ZE=Z-PE
620 FOR J=1 TO P:B(J)=0
630 FOR I=1 TO N(J)
640 XP(J,I)=X(J,I)-X0
650 YP(J,I)=Y(J,I)-Y0
660 NEXT I
670 XP(J,N(J)+1)=XP(J,1)
680 YP(J,N(J)+1)=YP(J,1)
690 FOR I=1 TO N(J)
700 F=XP(J,I)*YP(J,I+1)-XP(J,I+1)*YP(J,I);IF F=0 THEN F=.0000001
710 SL=(XP(J,I+1)-XP(J,I))^2+(YP(J,I+1)-YP(J,I))^2
720 L=SQR(SL)
730 C1=(XP(J,I)*(XP(J,I+1)-XP(J,I))+YP(J,I)*(YP(J,I+1)-YP(J,I)))/F
740 C2=SL/F+C1
750 A=(Z-PE)*L/ABS(F)
760 G=A^2+1
770 B1=A*C1/SQR(G+C1^2)
780 B2=A*C2/SQR(G+C2^2)
790 B(J)=B(J)+ATN(C2)-ATN(C1)-ATN(B2)+ATN(B1)+(B2-B1)/G
800 NEXT I
810 B(J)=S(J)*B(J);B=B+B(J)
820 NEXT J
830 PRINT , " "Z," "INT(100*B/6.2832+.5)/100
840 NEXT Z
900 PRINT "INPUT "OTRO EJE?, X0 =";X0
910 GOTO 540

```

```

1 REM** PILSCONT, Programa No. 2, Instructivo de Pilotes de Control **
2 REM** Por Abraham Elstein R. **
10 DIM X(200),Y(200),R(200)
20 CLS
30 PRINT PRINT INCREMENTOS DE ESFUERZOS DEBIDOS A UN GRUPO DE PILOTES IGUALES.
DE CONTROL, PRINT DE FRICCION (POSITIVA O NEGATIVA) O DE PUNTA PENETRANTE
ANTE PRINT
40 PRINT PRINT TAB(33)"M E N U " PRINT
50 PRINT TAB(25)"PILOTES DE CONTROL = C"
60 PRINT TAB(25)"PILOTES DE FRICCION = F"
70 PRINT TAB(25)"PILOTES DE FRICCION NEGATIVA = FN"
80 PRINT TAB(25)"PILOTES DE PUNTA PENETRANTE = PP"
90 PRINT INPUT "CUAL ES SU OPCION";M
100 FOR I=1 TO 250 NEXT I
110 CLS
200 PRINT PRINT TAB(17)"COORDENADAS DE LOS EJES DE LOS PILOTES (m)" PRINT
210 PRINT PRINT "Nota Bene: Primero dar la lista de X's; 1000 como ultimo valor
para indicar fin de datos y despues la lista de Y's" PRINT
220 NR=0
230 NR=NR+1
240 PRINT "X";NR;"=" "; INPUT X(NR)
250 IF X(NR)=1000 THEN 260
255 GOTO 230
260 FOR I = 1 TO NR-1
270 PRINT "Y";I;"=" "; INPUT Y(I)
280 NEXT I
290 NR=NR-1 FLAG=0
300 CLS
310 PRINT TAB(8)"REVISION DE DATOS" PRINT
320 FOR J=1 TO 20
330 PRINT " No. X(I) Y(I)"
340 FOR I=20*J-19 TO 20*J
350 PRINT TAB(2)I;TAB(12);X(I);TAB(24)Y(I)
360 NEXT I
380 INPUT "HAY ERROR EN LA TABLA DE VALORES";A$
390 IF A$="SI" OR A$="si" THEN INPUT "EN QUE NUMERO ";M
400 IF A$="SI" OR A$="si" THEN PRINT "X";M;"=" "; INPUT X(M)
410 IF A$="SI" OR A$="si" THEN PRINT "Y";M;"=" "; INPUT Y(M)
420 IF A$="SI" OR A$="si" THEN 340
430 IF 20*I>NR THEN 445
440 NEXT J
445 IF FLAG=1 THEN 540

```

```

450 IF M$="F" OR M$="f" THEN 1000
460 IF M$="FN" OR M$="fn" THEN 2000
470 IF M$="C" OR M$="c" THEN 3000
480 IF M$="PP" OR M$="pp" THEN 4000
500 CLS
510 PRINT "COORDENADAS DEL EJE DONDE SE DESEA CONOCER LOS INCREMENTOS DE ESFUERZOS (m)";PRINT
515 PRINT "Nota Bene: El eje no debe coincidir con el eje de ningun pilote o producir un error de tipo 'DIVISION BY ZERO'";PRINT
520 INPUT"XC= ";XC
530 INPUT"YC= ";YC
540 PRINT"PRINT"CALCULANDO, ESPERE UN MOMENTO POR FAVOR "
550 FOR I=1 TO NR
560 R(I)=SQR((XC-X(I))^2+(YC-Y(I))^2)
565 IF R(I)=0 THEN PRINT"PRINT"ERROR, EL EJE COINCIDE CON EL PILOTE";I:STOP
570 NEXT I
600 IF M$="F" OR M$="f" THEN 1040
610 IF M$="FN" OR M$="fn" THEN 2060
620 IF M$="C" OR M$="c" THEN 2060
630 IF M$="PP" OR M$="pp" THEN 4060
1000 CLS:PRINT:PRINT TAB(12)"GRUPO DE PILOTES DE FRICCION":PRINT
1010 INPUT"CARGA SOBRE UN PILOTE (ton)=" ;Q
1020 INPUT"LONGITUD (m)=";L
1030 INPUT"PROF. MAXIMA DE ANALISIS (m)=";PF
1035 GOTO 500
1040 FOR I=1 TO 250:NEXT I
1050 CLS
1100 PRINT:PRINT TAB(8)"PROFUNDIDAD VS. INCREMENTO DE ESFUERZOS":PRINT
1110 PRINT,"PROF.", "ESFUERZO"
1120 PRINT," m", " ton/m2":PRINT
1200 FOR Z=.1:PF TO PF STEP .1:PF
1210 DZ=0
1220 M=Z/L:MA=M+1:ME=M-1
1230 FOR I=1 TO NR
1240 N=R(I)/L
1250 A2=N^2+ME^2:B2=N^2+MA^2:F2=N^2+M^2
1260 A1=SQR(A2):B1=SQR(B2):F1=SQR(F2)
1270 A3=A2^1.5:B3=B2^1.5:F3=F2^1.5
1280 B5=B2^2.5:F5=F2^2.5
1300 GOSUB 5000
1310 DZ=DZ+KZ*Q/L^2
1320 NEXT I
1330 PRINT TAB(15)Z, TAB(30)INT(DZ*100+.5)/100
1340 NEXT Z
1350 GOTO 8000
2000 CLS:PRINT:PRINT TAB(12)"GRUPO DE PILOTES DE FRICCION NEGATIVA":PRINT
2010 Q=0
2020 INPUT "CARGA POR FRICCION NEGATIVA (ton) =" ;NF
2030 INPUT "PROFUNDIDAD DE LA CAREZA (m) =" ;PC
2040 INPUT "PROFUNDIDAD DE DESPLANTE (m) =" ;PD

```

```

2050 INPUT "PROFUNDIDAD MAXIMA DE ANALISIS (m) =" ;PF
2055 GOTO 500
2060 FOR I=1 TO 250:NEXT I
2070 CLS
2080 PRINT:PRINT TAB(8)"PROFUNDIDAD VS. INCREMENTO DE ESFUERZOS":PRINT
2090 PRINT,"PROF. ","ESFUERZO"
2100 PRINT," m"," ton/m2":PRINT
2110 LE=.75*(PD-PC)
2200 FOR Z=.1*PF TO PF STEP .1*PF
2210 DZ=0:ZB=Z-PC
2220 M=7B/LE:MA=M+1:ME=M-1
2230 K=Z/PD:KA=K+1:KE=K-1
2240 FOR I=1 TO NR
2250 IF ZB<=0 THEN NR 2330
2260 N=R(I)/LE
2270 A2=N^2+ME^2:B2=N^2+MA^2:F2=N^2+M^2
2280 A1=SOR(A2):B1=SOR(B2)
2290 A3=A2^1.5:B3=B2^1.5:F3=F2^1.5
2300 B5=B2^2.5:F5=F2^2.5
2310 GOSUB 6000
2320 DZ=DZ-KZ*KNF/LE^2
2330 N=R(I)/PD
2340 E2=N^2+KE^2:P2=N^2+KA^2
2350 E3=E2^2.5:P3=P2^2.5:P7=P2^3.5
2360 GOSUB 7000
2370 DZ=DZ+KZ*(Q+NF)/PD^2
2380 NEXT I
2390 PRINT TAB(15)Z,TAB(30)INT(DZ*100+.5)/100
2400 NEXT Z
2410 GOTO 8000
3000 CLS:PRINT:PRINT TAB(15)"GRUPO DE PILOTES DE CONTROL":PRINT
3010 INPUT"CARGA SOBRE LA CABEZA DEL PILOTE (ton) =" ;Q
3040 GOTO 2020
4000 CLS:PRINT:PRINT TAB(12)"GRUPO DE PILOTES DE PUNTA PENETRANTE":PRINT
4010 INPUT"CARGA SOBRE EL PILOTE (ton) =" ;Q
4020 INPUT"CARGA TOMADA POR FRICCION + (ton) =" ;QF
4025 INPUT "PROF. DE LA CABEZA (m) =" ;PC
4030 INPUT"LONGITUD DEL FUSTE (m) =" ;L
4040 INPUT"PROF. DESPLANTE DE LA PUNTA (m) =" ;PD
4050 INPUT"PROF. MAXIMA DE ANALISIS (m) =" ;PF
4055 GOTO 500
4060 FOR I=1 TO 250:NEXT I
4070 CLS
4080 PRINT TAB(8)"PROFUNDIDAD VS. INCREMENTO DE ESFUERZOS":PRINT
4090 PRINT,"PROF. ","ESFUERZO"
4100 PRINT," m"," ton/m2":PRINT
4110 FOR Z=.1*PF TO PF STEP .1*PF
4120 DZ=0
4130 M=(Z-PC)/L:MA=M+1:ME=M-1:K=Z/PD:KA=K+1:KE=K-1
4140 FOR I=1 TO NR

```

```

4145 IF Z<=PC THEN 4220
4150 N=R(I)/L
4160 A2=N^2+ME^2: B2=N^2+MA^2: F2=N^2+M^2
4170 A1=SQR(A2): B1=SQR(B2): F1=SQR(F2)
4180 A3=A2^1.5: B3=B2^1.5: F3=F2^1.5
4190 B5=B2^2.5: F5=F2^2.5
4200 GOSUB 5000
4210 DZ=DZ+KZ*QF/L^2
4220 N=R(I)/PD
4230 E5=(N^2+KE^2)^2.5
4240 P5=(N^2+KA^2)^2.5
4250 P7=(N^2+KA^2)^3.5
4260 GOSUB 7000
4270 DZ=DZ+KZ*(Q-QF)/PD^2
4280 NEXT I
4290 PRINT TAB(15);Z, TAB(30);INT(DZ*100+.5)/100
4300 NEXT Z
4310 GOTO 8000
5000 REM SUBROUTINA PARA EL CALCULO DE FRICCION POSITIVA
5010 KZ=-.15915*(3*((4*M+1)/B1-1/A1)-12*M/F1+M*N^2+ME^3)/A3+(4*N^3-13*M^2*N+4
(M/N)^2+MA^3+MA^3)/B3+(12*M*N^2-6*M^3+12*(M/N)^2*M^3)/F3+(6*M*N^2*(N^2-M^2)+12
M/N)^2+MA^5)/B5-(12*(M/N)^2*M^5+6*M*N^2*(N^2-M^2))/F5-3*LOG((A1+ME)*(B1+MA)/(F1
M)^2))
5020 RETURN
6000 REM SUBROUTINA PARA EL CALCULO DE FRICCION NEGATIVA
6010 KZ=-.07958*(3*(1/B1-1/A1)+N^2/A3+4*M^2/F3-6*M^4/N^2/F3+(6*M*MA*(M/N+1/N)^2
(4*M^2+N^2))/B3+6*M^2*(M^4-N^4)/N^2/F5+6*M*(M*N^2-MA^5/N^2)/B5)
6020 RETURN
7000 REM SUBROUTINA PARA EL CALCULO DE CARGA DE PUNTA
7010 KZ=-.07958*(3*KE^3/E5+(3*K*KA^2-3*KA*(5*K-1))/P5+30*K*KA^3/P7)
7020 RETURN
8000 PRINT
8010 PRINT " *****"
8020 PRINT " * 1.- DESEA CALCULAR BAJO OTRO PUNTO DE ESTE GRUPO ? *"
8030 PRINT " * 2.- DESEA CAMBIAR LOS PARAMETROS DE ESTE GRUPO ? *"
8040 PRINT " * 3.- DESEA CAMBIAR A OTRO GRUPO ? *"
8050 PRINT " * 4.- DESEA AGREGAR O QUITAR PILOTES ? *"
8060 PRINT " * 5.- DESEA TERMINAR LA SESION ? *"
8070 PRINT " * *****"
8070 PRINT "INPUT "QUE NUMERO";NU$
8100 IF NU$="1" THEN 500
8110 IF NU$="2" THEN 450
8120 IF NU$="3" THEN 20
8200 IF NU$="4" THEN 8300
8210 IF NU$="5" THEN CLS:END
8220 PRINT "DISCULPE, SOLO HAY CINCO OPCIONES.";GOTO 8070
8300 INPUT "AGREGAR O QUITAR (A/Q)";AQ$
8310 IF AQ$="A" THEN 9000
8315 CLS
8316 PRINT "PARA VER LISTA DE PILOTES GOTO 300";PRINT

```

```
8320 INPUT "NUMERO DE PILOTES POR QUITAR";NQ
8325 FLAG=1
8330 PRINT PRINT "Los pilotos por quitar no son obliterados, solamente se aleja
n para que su in- fluencia sea despreciable" PRINT
8340 FOR I= 1 TO NQ
8350 PRINT "QUE NUMERO DE LISTA TIENE EL";I;"o. PILOTE POR QUITAR"; INPUT NL
8360 X(NL) = 999;Y(NL) = 999
8370 NEXT I
8380 CLS;GOTO 300
9000 CLS;INPUT "NUMERO DE PILOTES POR AGREGAR";NA
9010 PRINT PRINT "EMPEZAMOS CON EL";NR+1;"o. PILOTE"
9020 FLAG=1
9030 FOR I=NR+1 TO NR+NA
9040 PRINT "X(";I; INPUT ")=";X(I)
9050 NEXT I
9060 PRINT
9070 FOR I=NR+1 TO NR+NA
9080 PRINT "Y(";I; INPUT ")=";Y(I)
9090 NEXT I
9100 NR=NR+NA
9200 CLS;GOTO 300
```

REFERENCIAS

1. COVITUR; Manual de Estudios Geotécnicos, 1985.
2. Peck, R.B. Soil Mechanics and Foundation Engineering
J. Wiley, 19.
3. Barland, J.B. (1937), véase T. Whitaker; The Design
of Piled Foundations; Pergamon Press, 1976.