



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica

28
64

DOS METODOS PARA CALCULAR
PILOTES CON FRICCION POSITIVA

TESIS PROFESIONAL

Elaborada para obtener el Título de
I N G E N I E R O C I V I L
p o r

FERNANDO DAVID ESPINOSA MORENO

México, D. F.

Junio de 1984



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.

I. N. D. I. C. E

CAPITULOS

- I) INTRODUCCION
 - II) CRITERIO PARA EL CALCULO DE PILOTES TRABAJANDO A FRIC
CION POSITIVA SEGUN M. J. TOMLINSON
 - III) CRITERIO PARA EL CALCULO DE PILOTES TRABAJANDO A FRIC
CION POSITIVA SEGUN L. ZEEVAERT
 - IV) CALCULO DE PILOTES A FRICCIÓN POSITIVA CON EL METODO
DE M. J. TOMLINSON
 - V) CALCULO DE PILOTES A FRICCIÓN POSITIVA CON EL METODO
DE L. ZEEVAERT
 - VI) CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

INTRODUCCION

Cuando es necesario edificar una estructura cuyo peso se transmitirá al suelo y dicho suelo muestra baja ca pacidad de carga, para soportar el peso de la estructura es necesario elaborar una base horizontal con pilotes (cimentación profunda) esta cimentación es realizada por los ingenieros especialistas en Mecánica de Suelos.

El campo de la Ingeniería Mecánica de Suelos es - uno de los menos investigados, por lo que para los diseños de pilotes en la mayoría de los casos se realizan con reglas empíricas y experiencias complementadas con pruebas de pilo tes y muestras del suelo.

Para una cimentación profunda existen diferentes tipos de pilotes los cuales tomando en cuenta su forma de - trabajar se clasifican en pilotes de punta, pilotes de fric ción y pilotes mixtos. Los pilotes de punta desarrollan su capacidad de carga apoyandose en un estrato resistente.

Los pilotes de fricción desarrollan su capacidad por la fricción lateral desarrollado entre el fuste del pi-

lote y el suelo, por lo que respecta a los pilotes mixtos - es una combinación de los dos anteriores.

Con la realización de este trabajo se pretende que se abandone la obtención de la capacidad de carga por fricción positiva por el método empírico de Tomlinson, para substituirlo por un método más elaborado y con bases teóricas - más firmes que la simple práctica empírica, dicho método es el propuesto por el Dr. Leonardo Zeevaert.

El método de Tomlinson esta basado en pruebas de carga realizadas en diferentes lugares, correlacionado la cohesión del material con la adherencia obtenida después de la reconsolidación de la arcilla en pruebas de pilotes. Propone para determinados valores de cohesión otros valores de adhesión disminuidos.

El método de Zeevaert está basado en la obtención de esfuerzos entre pilotes y suelo, tomando en cuenta la cohesión de la arcilla y además el área tributaria en la cual tiene influencia el trabajo del pilote en el suelo.

CAPITULO II

CRITERIO PARA EL CALCULO DE PILOTES TRABAJANDO A FRICCION POSITIVA SEGUN M. J. TOMLINSON.

La investigación realizada por Tomlinson (ref. 1) para el cálculo de pilotes a fricción positiva basado en -- pruebas de carga, da criterios para el cálculo de dichos pilotes.

La capacidad máxima de un pilote hincado en arcilla se obtiene de la siguiente forma:

$$Q_f = N_c A_b C_b + C.L.C_a$$

en donde:

Q_f = Capacidad máxima de el pilote

N_c = Factor de capacidad de carga debido a la adhesión en la punta del pilote

A_b = Area de la base del pilote

C_b = Cohesión en la base del pilote

C = Perímetro del pilote

L = Longitud del pilote

C_a = Adhesión entre pilote y suelo

De la experiencia obtenida en pruebas de carga se ha obtenido que la adhesión entre pilote y suelo "Ca" es -- igual a la cohesión remoldeada C_r después de hincado el pilote y a la cohesión inalterada C cuando el suelo recobra su resistencia original.

De los datos obtenidos por otros autores, Tomlinson llegó a la conclusión de que la relación de la adhesión observada y la adhesión máxima teórica decrece con el aumento en rigidez de las arcillas.

ANALISIS Y PRUEBAS DE CARGA

Tomlinson analizó un gran número de pilotes pero para la realización confiable de dicho artículo se limitó a el estudio de 56 pilotes con las siguientes características:

- 1) Pilotes cargados a la falla o cercanos a la falla para extrapolar la carga de falla.
- 2) Pilotes que se sabe que terminan en arcilla
- 3) Pilotes totalmente hincados en estratos de arcilla o a través de arcillas que contienen capas relativamente delgadas de arena o gravas.

- 4) Se hincaron 6 pilotes en una capa gruesa de arena para obtener datos adicionales sobre arcillas muy duras.

Para determinar la carga por fricción se eliminó la resistencia en la punta de los pilotes "Qb" de la siguiente manera:

$$Q_b = \gamma C_b A_b \quad (1)$$

Por lo tanto

$$Q_a = Q_f - Q_b \quad (2)$$

El factor de capacidad de carga "Nc" de 9 se obtuvo mediante investigaciones y experimentos para pilotes barrenados ó hincados en arcillas. La adhesión teórica "Qc" se obtuvo multiplicando el área hincada del pilote por la cohesión inalterada del suelo alrededor del pilote (ya que para el diseño es más importante la capacidad de carga final).

El porcentaje de adhesión $Q_a/Q_c \times 100$ ("f") Vs. la resistencia por cohesión inalterada de la arcilla están trazadas en la figura 1.11.

ADHESION EN RELACION A LAS CARACTERISTICAS DE SUELOS ARCILLOSOS.

Durante el hincado del pilote una porción de suelo es levantado hacia la superficie y otra parte es remoldeada alrededor del pilote. Esto sucede en arcillas sensibles las cuales posteriormente se reconsolidan recuperando su resistencia original inalterada.

En cambio en arcillas duras como la de Londres son insensibles al remoldeo, provocando huecos entre pilote y suelo los cuales permanecen ya que no existe el remoldeo durante su penetración y por lo tanto no existe reconsolidación del suelo.

En resultados de pruebas de carga se obtuvo que las arcillas sensibles recuperan su resistencia original en un 90% después de 30 a 50 días de hincados los pilotes.

En la figura III se muestra que el porcentaje de adhesión disminuye en forma marcada con el aumento de rigidez de la arcilla.

Se cree que los valores bajos de adhesión son debidos a la presencia de espacios entre arcilla y pilote.

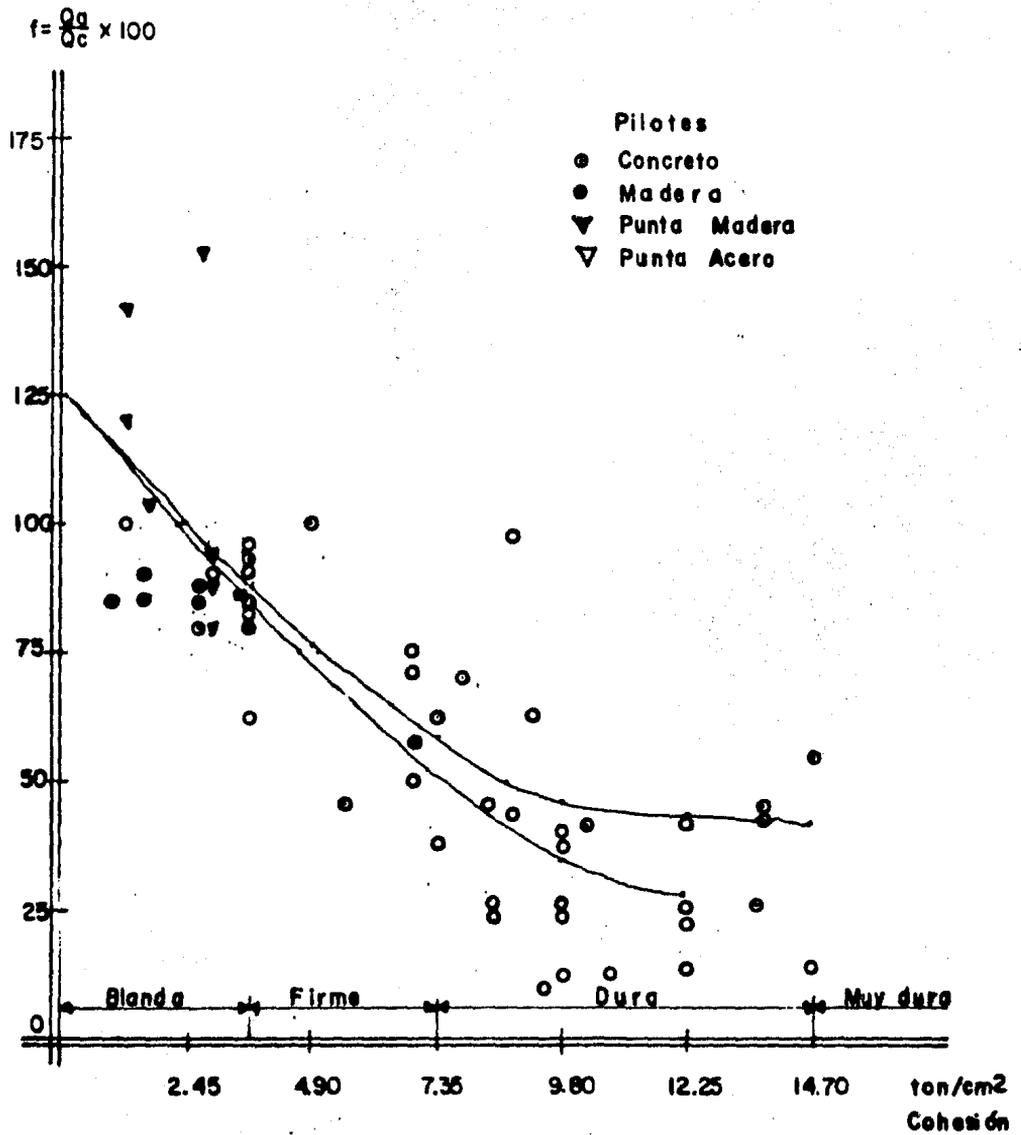


Fig. I. II. Relación de adhesión observada (expresada como un % de adhesión teórica) para arcillas cohesivas.

FORMACION DE UN HUECO ENTRE PILOTE Y SUELO.

Durante el hincado del pilote se forma un boquete entre pilote y suelo debido a las vibraciones inducidas en el pilote ocasionadas por la exentricidad del golpe del martillete.

Seed y Reese (1955) midieron la adhesión después del hincado en arcillas sensibles y fue alrededor de un 30% de la cohesión inalterada, pero pasados 33 días ya era del 102% de la cohesión inalterada, teniendo poca adhesión en los últimos 90 cms. del pilote.

Dicho boquete cerrará con el paso del tiempo completamente en arcillas blandas, pero en arcillas rígidas -- permanecerá indefinidamente.

Tomlinson cree que el boquete formado por vibración es la causa de la pérdida de adhesión por la sobreelevación del suelo alrededor del pilote.

EFFECTO DE SOBREELEVACION DEL SUELO

De acuerdo a mediciones efectuadas por Zeevaert en la Ciudad de México se presentó una sobreelevación de 33 cms.

de la superficie en lo que se hincaron 187 pilotes en una -
área de 416 m², dicha cimentación se realizó en una arcilla
volcánica muy suave, consolidándose 10 cms. al paso del tiem
po

Sin embargo para arcilla dura en Canadá Legget en
contró que la arcilla se sobreelevó alrededor de los pilotes
unos 5 cms. y posteriormente dicha sobreelevación se desmo-
rono en terrones.

Estas sobreelevaciones se producen debido a las -
vibraciones de hincado. Mientras mayores sean las vibracion
es mayor será la sobreelevación del terreno.

EFFECTO DE LA FORMA DEL PILOTE

Los pilotes de sección variable teóricamente deben
obtener mayor adhesión a lo largo del fuste debido al
continuo cerrado de los huecos formados durante la hinca.
Sin embargo solo experimentan un pequeño incremento en la -
adhesión comparados con los pilotes de sección constante.

CONCLUSIONES:

Se ha mostrado que la adhesión en porcentaje (ex-

presado como la relación del porcentaje de adhesión observada entre la cohesión inalterada de la arcilla) disminuye con un incremento en la rigidez de la arcilla.

En la tabla II.1 se dan criterios de diseño tentativos para pilotes de sección constante, de acuerdo con -- Tomlinson (referencia 1). De la fig. 2.II.

TABLA II.1

MATERIAL DEL PILOTE	COHESION C DE LA ARCILLA Ton/m ²	ADHESION ENTRE PILOTE Y SUELO Ca. Ton/m ²
CONCRETO Y MADERA	BLANDA 0-4	0-3.5
CONCRETO Y MADERA	FIRME 4-8	3.5-4.5
CONCRETO Y MADERA	DURA 8-15	4.5-7
ACERO	BLANDA 0-4	0-3
ACERO	FIRME 4-8	3-4
ACERO	DURA 8-15	?

La adhesión de pilotes de sección variable puede ser mayor que el mostrado en la tabla anterior.

Se cree que la pérdida de adhesión en arcilla firme o rígida puede ser debido a la formación de un boquete -

parcial entre pilote y el suelo. Estos boquetes se forman parcialmente por las vibraciones transversales generadas durante el hincado y en parte por el flujo de arcilla desplazada hacia arriba y alrededor del pilote. En arcillas suaves el boquete tenderá a cerrarse o volverse a consolidar el terreno sobreelevado. En suelos blandos la adhesión última puede ser mayor que la cohesión original del suelo debido a la consolidación y a la ganancia de resistencia de la arcilla alrededor del pilote. No existe evidencia que muestre que después de la ganancia inicial la adhesión aumentará a una cantidad después de pasar tiempo de hincado.

ADHESIÓN PROMEDIO
CONCRETO TON/cm^2

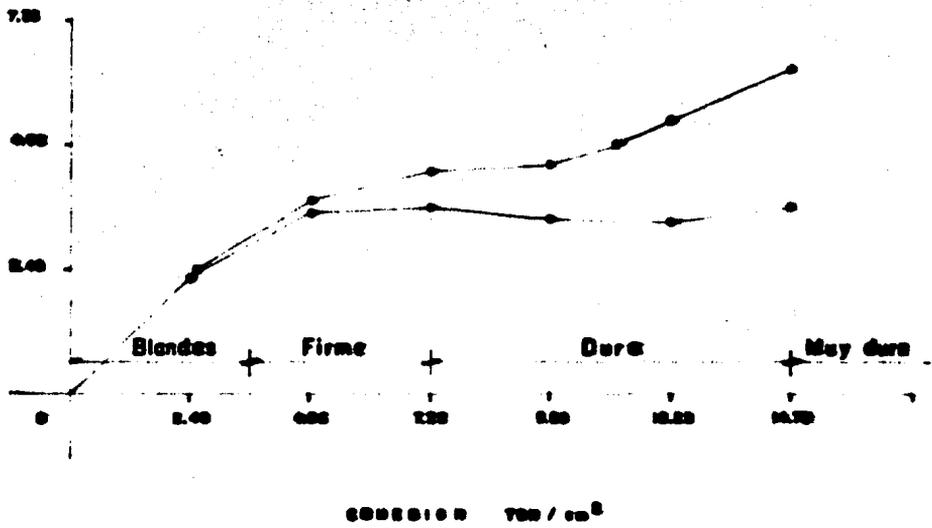


FIG. 2. II Límite de adhesión para arcillas blandas a muy duras

CAPITULO III

CRITERIO PARA EL CALCULO DE PILOTES TRABAJANDO A FRICCIÓN POSITIVA SEGUN L. ZEEVAERT.

Para el diseño de pilotes trabajando a fricción positiva es muy común cargar el pilote a la falla y utilizar una fracción de dicha carga, éste es un método empírico que en el caso de condiciones de subsuelo difícil no es recomendable aplicar.

La fricción a la carga del fuste del pilote depende de la pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, debido al hincado del pilote, la cual se recupera con el tiempo, ya que existe consolidación del suelo alrededor del fuste del pilote.

Durante el hincado del pilote existe un remoldeo de los materiales alrededor del fuste del pilote alcanzando un radio de $0.1r_0$.

Cuando un pilote es cargado la masa del suelo soporta el pilote por fricción, al mismo tiempo la fricción induce un incremento en los esfuerzos verticales en los alrededores de el suelo.

Después de hincar el pilote se forma un anillo - delgado de suelo perfectamente remoldeado alrededor del fuste del pilote el cual será reconsolidado y el suelo recobrará la fuerza cortante de acuerdo a la fórmula.

$$S_{oz} = C' + \sigma_z \tan \phi_r \quad 1.III$$

C' - Es el promedio de la cohesión del suelo a lo largo del pilote donde σ_z es el esfuerzo efectivo horizontal a la profundidad z .

$\tan \phi$ - Es un factor proporcional de la medida del porcentaje de ganancia en la fuerza cortante bajo esfuerzos efectivos

C' - Se obtiene en el laboratorio.

El valor de $\tan \phi$ se determina en el laboratorio en suelos remoldeados con un contenido de agua constante - produciendo consolidación por incremento de esfuerzo efectivo. De la aplicación de esfuerzo efectivo. De la aplicación de esfuerzos sobre la muestra se obtiene en la figura 1.III.

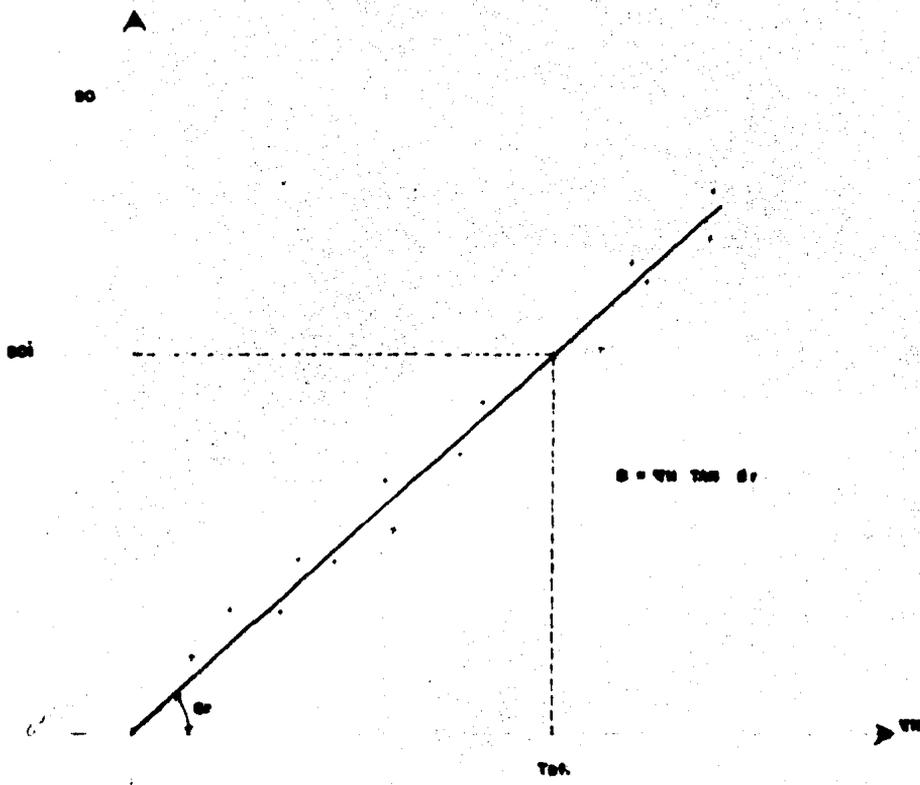


FIG. 1.11 Aplicación de esfuerzos sobre la muestra

Aplicando el círculo de Mohr se puede escribir:

$$\frac{\sigma_h}{\sigma_z^2} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3) - (\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\alpha}{(\sigma_1 + \sigma_3) + (\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\alpha}$$

Para el esfuerzo último circular se obtiene

$$2\alpha = \phi_r + (\pi/2)$$

$$y \quad \text{Sen} \phi_r = \text{Cos } 2\alpha$$

$$\text{Sen} \phi_r = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)$$

substituyendo:

$$\frac{\sigma_h}{\sigma_z^2} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3) - (\sigma_1 - \sigma_3) \text{Sen} \phi_r}{(\sigma_1 + \sigma_3) + (\sigma_1 - \sigma_3) \text{Sen} \phi_r}$$

$$\frac{\sigma_h}{\sigma_z^2} = \frac{\frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3)} - \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3)} \text{Sen} \phi_r}{\frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3)} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3)} \text{Sen} \phi_r} = \frac{\sigma_h}{\sigma} = \frac{1 - \text{Sen} \phi_r \text{Sen} \phi_r}{1 + \text{Sen} \phi_r \text{Sen} \phi_r}$$

$$\frac{\sigma_h}{\sigma_z^2} = \frac{1 - \text{Sen}^2 \phi_r}{1 + \text{Sen}^2 \phi_r} = \frac{1}{N\phi}$$

2.III

El número de flujo para esta condición será llamado $N\phi$.

Entonces la fricción en el fuste del pilote será aproximada
mente:

$$S_{oz} = C' + \frac{1 - \text{Sen}\phi_{r2}}{1 + \text{Sen}\phi_{r2}} \times \tan \phi_r \times \sigma_2 \quad 3.III$$

δ

$$S_{oz} = C' + K \phi z - \sigma z$$

donde:

$$K\phi = \tan \phi_r |\bar{N}\phi$$

Por otra parte estableciendo el equilibrio de - -
acuerdo a la fig. 3.III representando el esfuerzo efectivo
inducido por la fricción positiva en un elemento Δz_i del --
sistema pilote-suelo a una profundidad z . El esfuerzo cor-
tante último dentro de la masa de suelo es:

$$(\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i - (\sigma_{i-1} - \sigma_{oi-1}) \bar{a}_{i-1} = \bar{w}_{soi} \Delta z_i \quad 4.III$$

El promedio de la fuerza cortante en el elemento
 Δz_i a la profundidad z tiene el valor de:

$$S_{oi} = C_i + K\phi_i \frac{(\sigma_i + \sigma_{i-1})}{2} \quad 5.III$$

La interacción de la fricción positiva y el esfuerzo vertical están dados por:

$$(PF)_{i-1} = (\sigma_{i-1} - \sigma_{oi-1}) \bar{a}_{i-1} \quad 6.III$$

y

$$(PF)_i = (\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i \quad 7.III$$

Para encontrar el valor de σ_i , la integración se empieza para $z=0$ donde $(PF)_{i-1} = 0$, $\sigma_{i-1} = \sigma_{oi}$ y $\sigma_{oi-1} = q$ la cual es conocida, substituyendo 5.III y 6.III en 4.III - obtenemos:

$$(\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i - (\sigma_{i-1} - \sigma_{oi-1}) \bar{a}_{i-1} = \bar{\omega} S_{oi} \Delta z_i$$

$$(\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i - (PF)_{i-1} = \bar{\omega} S_{oi} \Delta z_i$$

Pero si:

$$\underline{m}_i = \frac{1}{2} \bar{\omega} k \phi$$

$$(\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i - (PF)_i = \bar{\omega} \left(C_i + k \phi \frac{(\sigma_i + \sigma_{i-1})}{2} \right) \Delta z$$

$$(\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i - (PF)_i = \frac{2m_i}{k\phi} \left(C_i + k \phi \frac{(\sigma_i + \sigma_{i-1})}{2} \right) \Delta z$$

$$(\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i = \frac{m_i}{k\phi} (2C_i + k\phi(\sigma_i + \sigma_{i-1})) \Delta z + (PF)_{i-1}$$

$$(\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i = \frac{2C_i m_i \Delta z}{k\phi} + (\sigma_i + \sigma_{i-1}) \Delta z m_i + (PF)_{i-1}$$

$$(\sigma_i) \bar{a}_i - (\sigma_{oi}) \bar{a}_i = \frac{2C' i m_i \Delta z}{k\phi} + (\sigma_i + \sigma_{i-1}) \Delta z m_i + (PF)_{i-1}$$

$$(\sigma_i) \bar{a}_i - \sigma_i (\Delta z m_i) = \frac{2C' i m_i \Delta z}{k\phi} + (\sigma)_{i-1} \Delta z m_i + (PF)_{i-1}$$

$$\sigma_i (\bar{a}_i - \Delta z m_i) = \frac{2C' i m_i \Delta z}{k\phi} + (\sigma)_{i-1} \Delta z m_i + (\sigma_o) i \bar{a}_i + (PF)_{i-1}$$

$$\sigma_i (\bar{a}_i - \Delta z m_i) = \frac{2C' i m_i \Delta z}{\frac{2m_i}{\bar{\omega}}} + (\sigma)_{i-1} \Delta z m_i + (\sigma_o) i \bar{a}_i + (PF)_{i-1}$$

$$\sigma_i = \frac{\bar{a}_i \sigma_{oi} + m_i \Delta z i (\sigma)_{i-1} + (PF)_{i-1} + \bar{\omega} C' i \Delta z}{\bar{a}_i - m_i \Delta z}$$

donde \bar{a}_i = área tributaria

El valor de σ_i se obtiene conociendo la expresión 7.III para encontrar $(PF)_i$ y estos valores substituyen en 8.III para obtener el próximo valor de σ_{i+1} respectivamente. El proceso se repite hasta la integración numérica hasta la profundidad d donde $(PF) d = Qfu$.

Para obtener la fricción positiva sobre un pilote de diámetro constante $2r_0$ de la figura 3.III

$$\frac{\partial (PF)}{\partial z} dz = 2\pi r_0 S_0 z dz \quad 9.III$$

si

$$2\pi \bar{r}_0 = \bar{\omega}$$

$$(PF) d = \bar{\omega} \int_0^d S_0 z dz \quad 10.III$$

La fuerza cortante de reconsolidación del material entre pilote y suelo a una profundidad z es:

$$S_0 z = K\phi(\sigma_{0z} + \Delta\sigma_z) \quad 11.III$$

$$(PF) = \bar{\omega} k \phi \int_0^d \sigma_{0z} dz + \bar{\omega} k \phi \int_0^d \Delta\sigma_z dz \quad 12.III$$

usando la figura 3.III

1) $\int_0^d \sigma_{0z} dz$ área (abec) esfuerzos efectivos

2) $\int_0^d \Delta\sigma_z dz$ área (bde) incremento de esfuerzos por PF sobre un pilote o pilas

13.III

donde:

$$(PF) d = \bar{\omega} \phi \int_0^d \sigma_0 z dz + \omega k \phi (1 | 3 \Delta \sigma d \cdot d) \quad 14. III$$

Tomando \bar{a} el área tributaria efectiva y considerando la constante con la profundidad $\bar{a} = \sigma = (nr_0)^2$ entonces

$$\Delta \sigma d = \frac{(PF) d}{\bar{a}} \quad 15. III$$

Substituyendo este valor en 14. III resolviendo para PF obtenemos:

$$(PF) d = \bar{\omega} k \phi \int_0^d \sigma_0 z dz + \bar{\omega} k \phi (1 | 3 \Delta \sigma d \cdot d)$$

$$(PF) d = \bar{\omega} k \phi \int_0^d \sigma_0 z dz + k \phi (1 | 3 \frac{(PF) d}{\bar{a}} \cdot d)$$

$$(PF) d - \bar{\omega} k \phi (1 | 3 \frac{(PF) d \cdot d}{\bar{a}}) = \omega k \phi \int_0^d \sigma_0 z dz$$

$$(PF) d \left(\frac{1 - \omega k \phi d}{3 \bar{a}} \right) = \bar{\omega} k \phi \int_0^d \sigma_0 z dz$$

$$(PF) d = \frac{\omega k \phi}{(1 - \bar{\omega} k \phi d)} \int_0^d \sigma_0 z dz \quad 16. III$$

En proyectos prácticos la fórmula 16.III da valores satisfactorios.

El valor de \bar{a} puede ser tomada como $\bar{a} = (12r_0)^2$ - para pilotes aislados en el caso de un grupo de pilotes \bar{a} - es el área tributaria para cada pilote en el grupo.

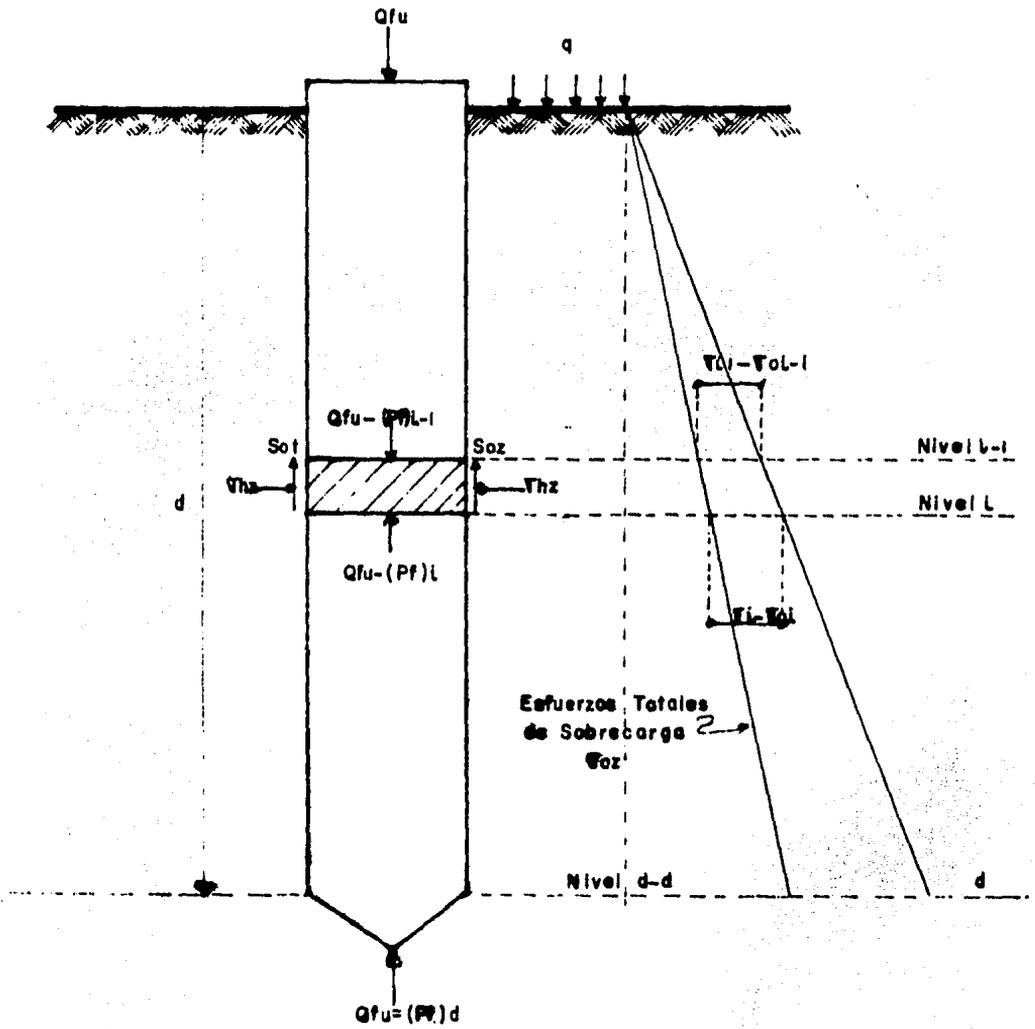


Fig. 3.III. Pilete Trabajando a Fricción Positiva.

A) *Consideraciones de Fricción Positiva.*

En el caso del pilote trabajando a fricción positiva (PF), la fuerza cortante ganada por consolidación puede extenderse a una cierta profundidad y a una gran área alrededor del pilote. Para encontrar el valor de la fuerza cortante a diferentes profundidades, es necesario la realización de pruebas inalteradas. Dichas pruebas se realizan en la cámara triaxial, estando la muestra en confinamiento con los esfuerzos efectivos que tenía en el suelo a la profundidad tomada:

$$\sigma_c = \frac{1}{3} (1+2K_0) \sigma_z \quad 1.IIIa$$

A la muestra se le permite disipar la presión de poro provocada por la aplicación de σ_c , es decir bajo condiciones drenadas.

Las fuerzas cortantes son determinadas por el proyecto a realizar, por medio de pruebas de compresibilidad no confinadas.

Zeevaert (1957) investigó la resistencia a lo largo del pilote analizando el comportamiento de la fricción positiva en cimentaciones.

Las investigaciones se realizaron por medio de - pruebas en muestras de arcillas inalteradas tomadas en una profundidad pequeña de excavación y examinados en el laboratorio.

Los resultados están graficados en las figuras - 1.IIIa y 2.IIIa obteniéndose las conclusiones siguientes:

a) Se observó un pequeño remoldeo del suelo en - un 5% del radio alrededor del pilote, dando pequeños incrementos de fuerza cortante de acuerdo a la ecuación:

$$S_{02} = K\phi \cos$$

2.IIIa

b) El contenido de agua fig. 1.III quedó practicamente inalterado a una distancia después de 1.05 r_o, demostrando que solo se altera un pequeño volumen alrededor del pilote. Sobre la disipación de presión de poro, y los esfuerzos efectivos verticales tienden a regresar con el tiempo y sus valores originales produciendo estrechamiento entre el suelo y el fuste del pilote. El contenido de agua en la zona del estrechamiento tiende a regresar a sus valores originales presionando al pilote.

c) La arcilla es alterada por la hincada del pilote en una distancia de un diámetro alrededor del pilote. - La fuerza cortante alrededor del fuste del pilote es reducida cerca del 60% de sus valores originales fig. 1.IIIa. La fuerza cortante es mínima a una distancia de $r_0 = 1.1r_0$ - con respecto al centro del pilote, dicha fuerza cortante es aproximadamente:

$$S_{0z} = 0.3 \text{ quz}$$

3.IIIa

Donde quz es la consistencia natural intacta a la profundidad z del suelo. Para investigar la carga última de fricción a la cual un pilote empieza a producir esto, es necesario investigar el valor mínimo de la fuerza cortante alrededor del fuste del pilote por medio de las fórmulas 2.IIIa y -- 3.IIIa respectivamente. Los valores de $S_{0z} = C_z = 0.3$ que son representativos de la fuerza cortante alrededor del fuste del pilote, en arcillas saturadas podrían ser usados para el cálculo, por lo tanto, $K\phi$ es igual a 0 en este caso y la ecuación 8.II toma la siguiente forma:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{ai} + (PF)_{i-1} + w_c L \Delta z_i}{\bar{\sigma}_i}$$

4.IIIa

Para lo cual substituyendo en 7.II

$$(PF)_i = \sigma_{oi} + \frac{(PF)_{i-1} + \bar{\omega}_{cL} \Delta z_i - \sigma_{oi} \bar{a}_i}{\bar{a}_i}$$

$$(PF)_i = \bar{\omega}_{ci} \Delta z_i + (PF)_{i-1}$$

y finalmente la fricción positiva al nivel $i-1$ es:

$$(PF)_i = \bar{\omega} \sum_0^d C_i \Delta z_i \quad 5.IIIa$$

La fórmula 5.IIIa es usada a la profundidad z_0 bajo la siguiente condición:

$$0.3 \text{ quzo } \bar{\omega}_z < [e_i + K\phi \frac{\sigma_i + \sigma_i - 1}{2}] \cdot \bar{\omega}_1 \quad 6.IIIa$$

Por lo tanto la fricción positiva total de el pilote en la superficie a la profundidad d es:

$$Q_{fu} = [(PF)_k]_{z_0}^{z_0} + \bar{\omega}_2 \sum_{z_0}^d C_i \Delta z_i$$

La distribución de fuerzas cortantes a lo largo del pilote, para un pilote bajo las condiciones anteriores esta dibujado en la fig. 3.IIIa.

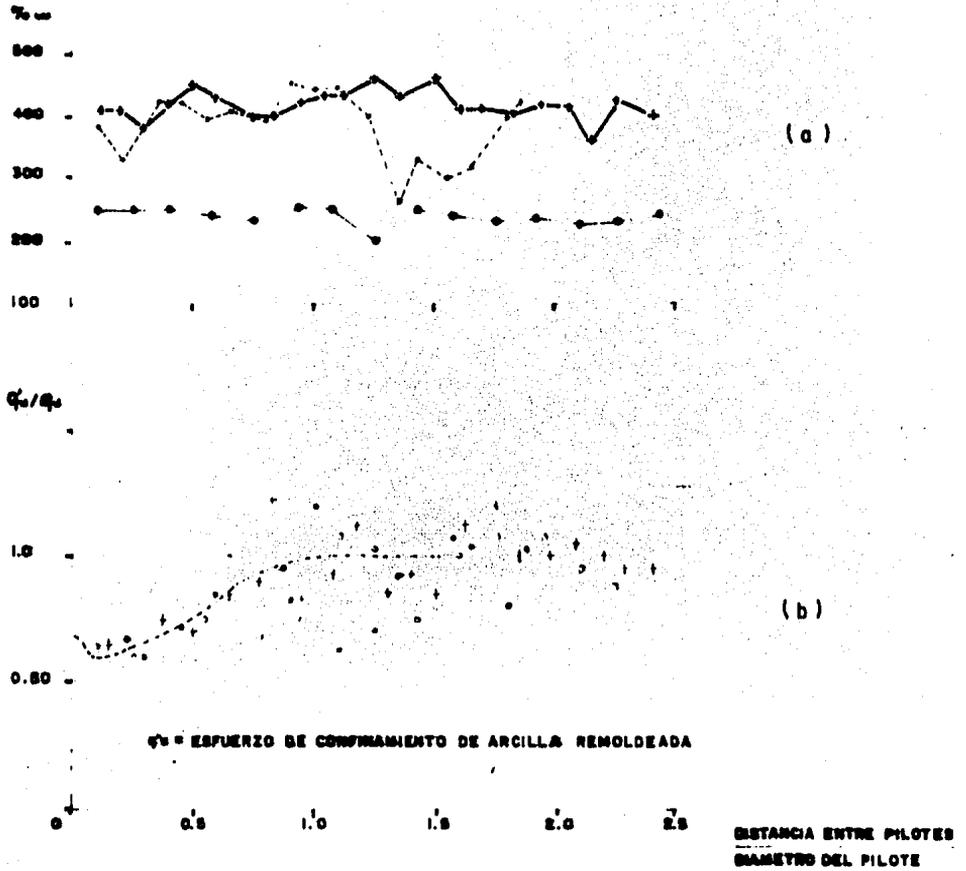


FIG. 1. II a Radio de esfuerzo cortante y contenido de agua de la arcilla remoldeada alrededor del pilote.

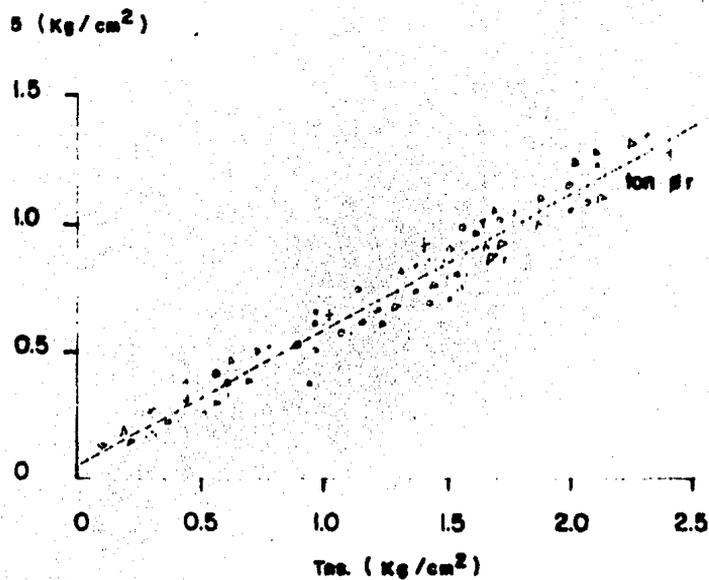


FIG. 2 III a Fricción de un pilote de concreto hincado en sedimentos de arcilla volcánica remoldeada, obtenidas bajo prueba de fuerza cortante.

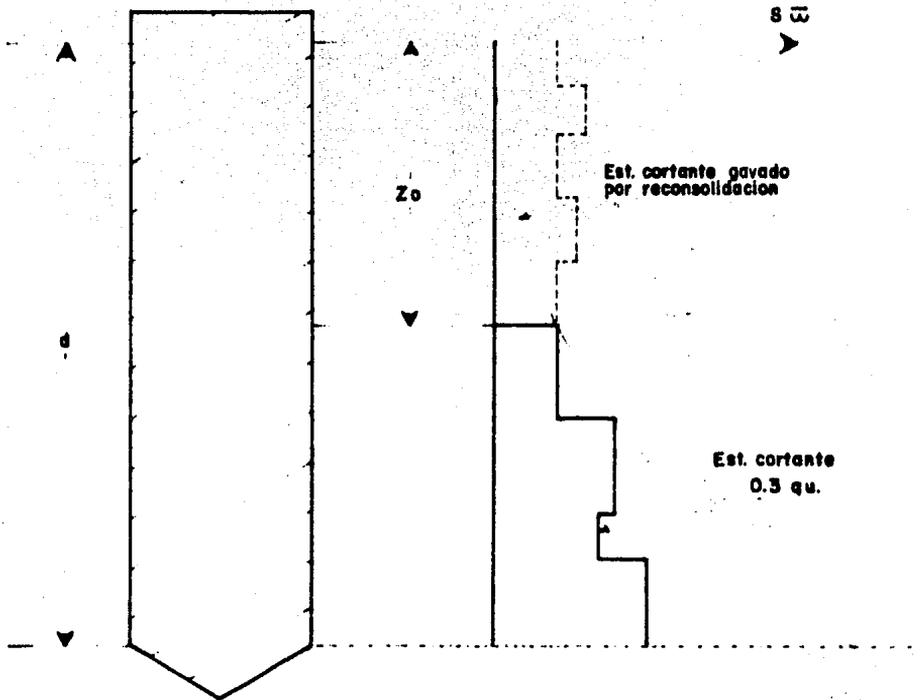


FIG. 3. III a Distribución de esfuerzo cortante en arcilla a lo largo del pilote.

B) *Area Tributaria Efectiva.*

El área de influencia de un pilote a lo largo del fuste es variable conforme se incrementa la profundidad del mismo.

Para Zeevart existen tres formas de calcular el - - área tributaria efectiva de influencia, estas dependen de la ley de resistencia.

CASO I.- Si la ley de resistencia es $S_{oz} = Kz$, se puede considerar lineal con la profundidad.

El esfuerzo vertical inducido a lo largo del fuste del pilote en función de z/r es:

$$\Delta \sigma_{zx} = -\tau_{ok} \left[\frac{z\tau}{r} (1 - \text{Sen}(\psi zr)\tau + [\cos(\psi zr)\tau + \text{Log}(\tan \frac{1}{2}(\psi zr)\tau)]) \right]$$

donde:

$$\frac{z\tau}{r} = \frac{z}{r\sqrt{z}}$$

$$\text{Sen}(\psi zr)\tau = \frac{1}{\sqrt{z\tau(r)^2 + 1}}$$

$$\cos (\psi z r) \tau = \frac{z t}{r} \operatorname{Sen} (\psi z r) \tau$$

$$\tan \frac{1}{2}(\psi z r) \tau = \frac{\operatorname{Sen} (\psi z r) \tau}{1 + \cos (\psi z r) \tau}$$

$$\sum_i^h \Delta \sigma_{zo} = r_o K I z K$$

$$\Delta \sigma_{za} = \pi r_o K z^2$$

Por lo tanto es área tributaria efectiva es:

$$\bar{a} e z = \frac{\pi z^2}{\bar{I} z K}$$

CASO II.- Cuando la ley de resistencia es aproximadamente -- constante a lo largo del fuste del pilote $S_{oz} = S_e = cte.$

Obtenemos el esfuerzo vertical inducido en el subsuelo alrededor del fuste del pilote en función de z/r es:

$$\Delta \sigma_{zr} = \frac{r_o S_e}{z \tau} [I_{zr}] \tau c$$

donde la influencia del valor I_{zr} en función de z/r es:

$$I_{zr} = \frac{z \tau}{r} [1 - \operatorname{Sen}(\psi z r) \tau]$$

Para la suposición de fuerza constante a lo largo del fuste tenemos:

$$\Delta\sigma_{za} \cdot \bar{a}_o = 2\pi r_o S_{ez}$$

Por lo tanto el área efectiva es:

$$\bar{a}_{ez} = \frac{2\pi z^2}{\sqrt{I_{zc}}}$$

CASO III.- Cuando la ley de resistencia a lo largo del fuste del pilote es $S_{oz} = S_e + Kz$.

El esfuerzo vertical inducido en el subsuelo alrededor del fuste del pilote en función de z/r es:

Para $S_{oz} = Kz$:

$$[\Delta\bar{\sigma}_{zo}]_K = r_o k \bar{I}_{zk}$$

Para $S_{oz} = S_e$

$$[\Delta\bar{\sigma}_{zo}]_c = r_o k \frac{h_e}{z^2} \bar{I}_{zk}$$

La suma de estas dos expresiones puede equivaler a el total de la fricción del pilote obteniendo:

$$2\pi r_0 [khez + \frac{1}{2}Kz] = (r_0 k \cdot I_{2k} + \frac{r_0 k h_e}{zT} \bar{I}_{ze}) \bar{a}_{ez}$$

De donde se obtiene el área tributaria efectiva:

$$\bar{a}_{ez} = \frac{(2h_e + z)\pi z^2}{z\bar{I}_{zk} + h_e I_{zc}\sqrt{2}}$$

Los valores \bar{I}_{zk} e \bar{I}_{zc} están graficados en la fig. (IV.1.B) - en función de z/r .

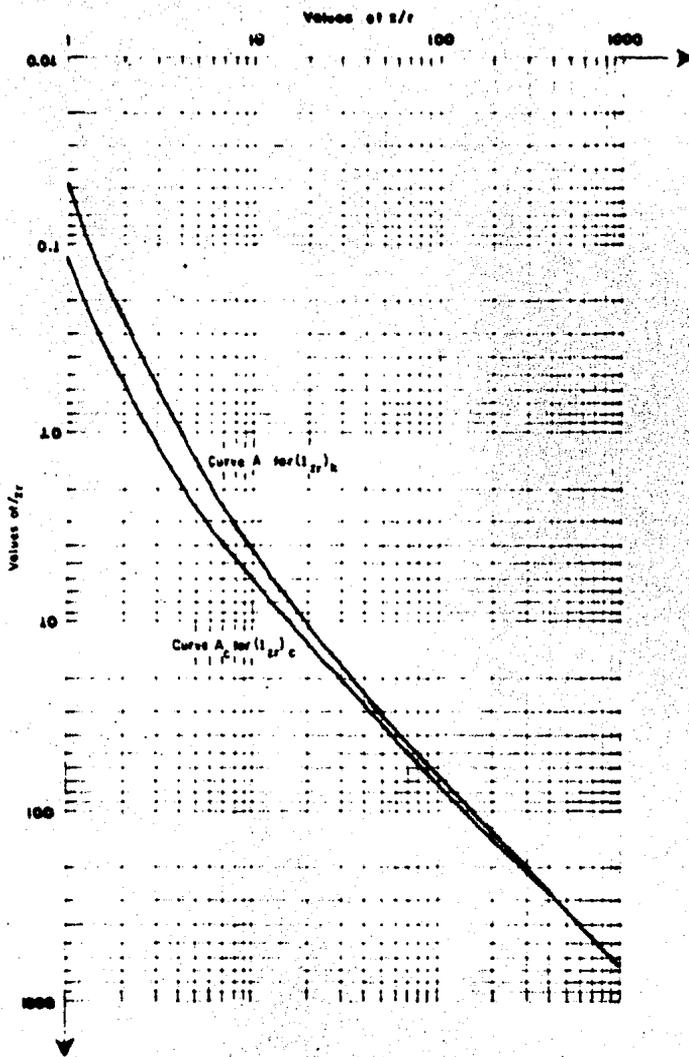


FIG. IX. I.B. Valores de influencia para el cálculo de áreas tributarias.

CAPITULO IV

CALCULO DE PILOTES A FRICCIÓN POSITIVA CON EL METODO DE M. J. TOMLINSON.

Para poder tener punto de comparación entre el método de Tomlinson y el método de L. Zeevaert se obtuvieron 3 pruebas de carga con las que se trabajó cada una independientemente.

Para cada prueba de carga se obtuvieron con los métodos de Tomlinson y el de Zeevaert las capacidades de carga última teórica, para los mismos estratos, misma profundidad y con las mismas propiedades mecánicas del subsuelo.

A continuación se muestran las características de las tres pruebas de carga y el análisis de capacidad de carga última según M.J. Tomlinson.

PRUEBA DE CARGA No. 1 (ref. 3)

Se hincaron pilotes, cuadrados con martillo Diesel K-22 a 22 mts. de profundidad dentro de una camisa de acero de 50 cms. de diámetro, apoyada al 19.0 mts. de profundidad, procediendo a la extracción de la camisa ya terminado el hin

cado del pilote.

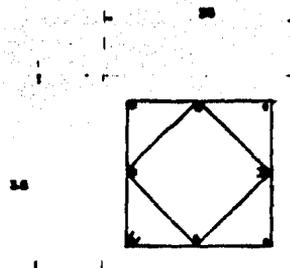
La fig. IV.1.1 muestra la geometría del pilote empleado en las pruebas de carga, su longitud total, de 20 -- mts.

La fig. IV.1.2 presenta la geometría de instalación para el pilote así como diámetro de la camisa, profundidad de hincado de la misma diámetro y profundidad de la excavación previa, número de golpes de martillo etc.

La fig. IV.1.3 se presenta la estratigrafía y propiedades del sondeo, realizados en el estudio de Mecánica de Suelos los cuales corresponden al pilote de prueba.

Para el hincado del pilote de prueba se obtuvieron gráficas deformación -tiempo y relación carga- deformación, las cuales no se incluyen ya que lo que nos interesa es la extracción de la camisa metálica midiendo su resistencia.

En la figura IV.1.4 se presenta la relación carga extracción contra deformación para la camisa del pilote. La carga máxima de extracción fue de 40 ton. y posteriormente se redujo a 38.5 ton.

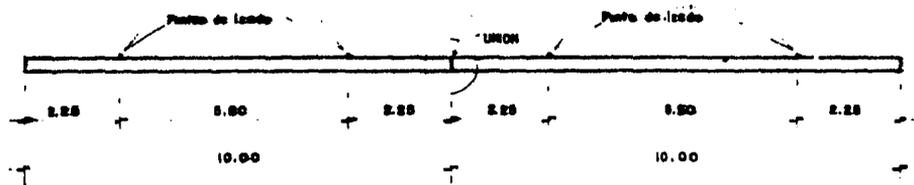


4 Vars Ø 1 1/2"
 - Esp. 1/2 = 30 cm.

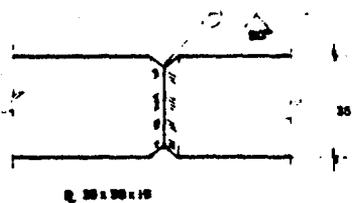
$f_c = 250 \text{ Kg./cm}^2$
 $f_y = 4200 \text{ Kg/cm.}^2$

SECCION TRANSVERSAL ARMADO

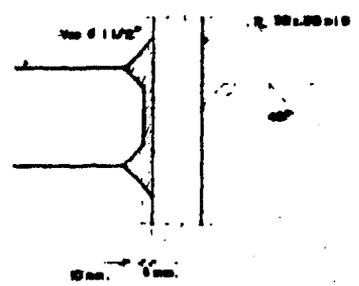
NOTA. En los extremos de cada tramo del pilote se colocarán, estribos Ø 1/2, 6 a 15 cm. (2 centros)



PILOTE DE DOS TRAMOS DE 10 m CADA UNO



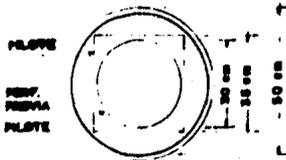
UNION DE LOS TRAMOS



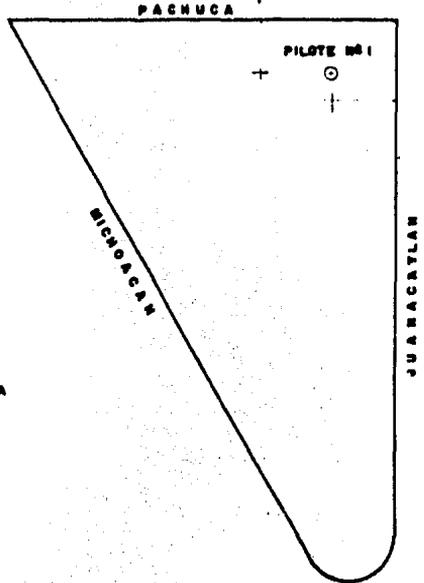
UNION DE PLACA CON VARILLAS

FIG. IX 1.1

**PRUEBA DE CARGA
 GEOMETRIA Y DISEÑO ESTRUCTURAL
 DE LOS PILOTES DE PRUEBA**



Armado del pilote
 8 Ver. N° 12
 Estribos \varnothing 4 @ 30 cm
 $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
 $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$



FONDO DE LA EXCAVACION PRELIMINAR

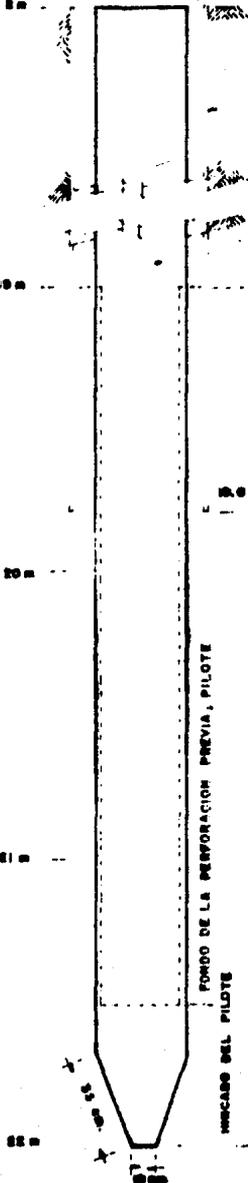
CAMBA $\phi = 50 \text{ cm (20")}$

PILOTE CERRADO 30 cm. DE LADO
 PERFORACION PREVIA CAMBA

BAT. COMPRESIBLE
 CAPA DURA

PERFORACION PREVIA $\phi = 30 \text{ cm (12")}$
 PILOTE

18.6 m HINCADO DE LA CAMBA



DATOS DEL MARTILLO

ENERGIA, $E_s = 30705 \text{ lb. Pie/ Golpe}$

PESO, PISTON, $W_p = 4000 \text{ lb.}$

EFICIENCIA, $e_f = 0.85$

NR DE GOLPES DEL MARTILLO
 $N = 22 \text{ POR cm. DE PENETRACION}$

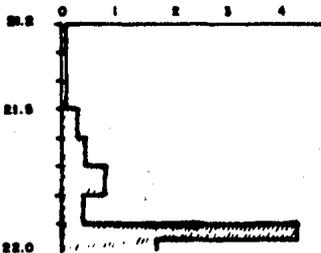
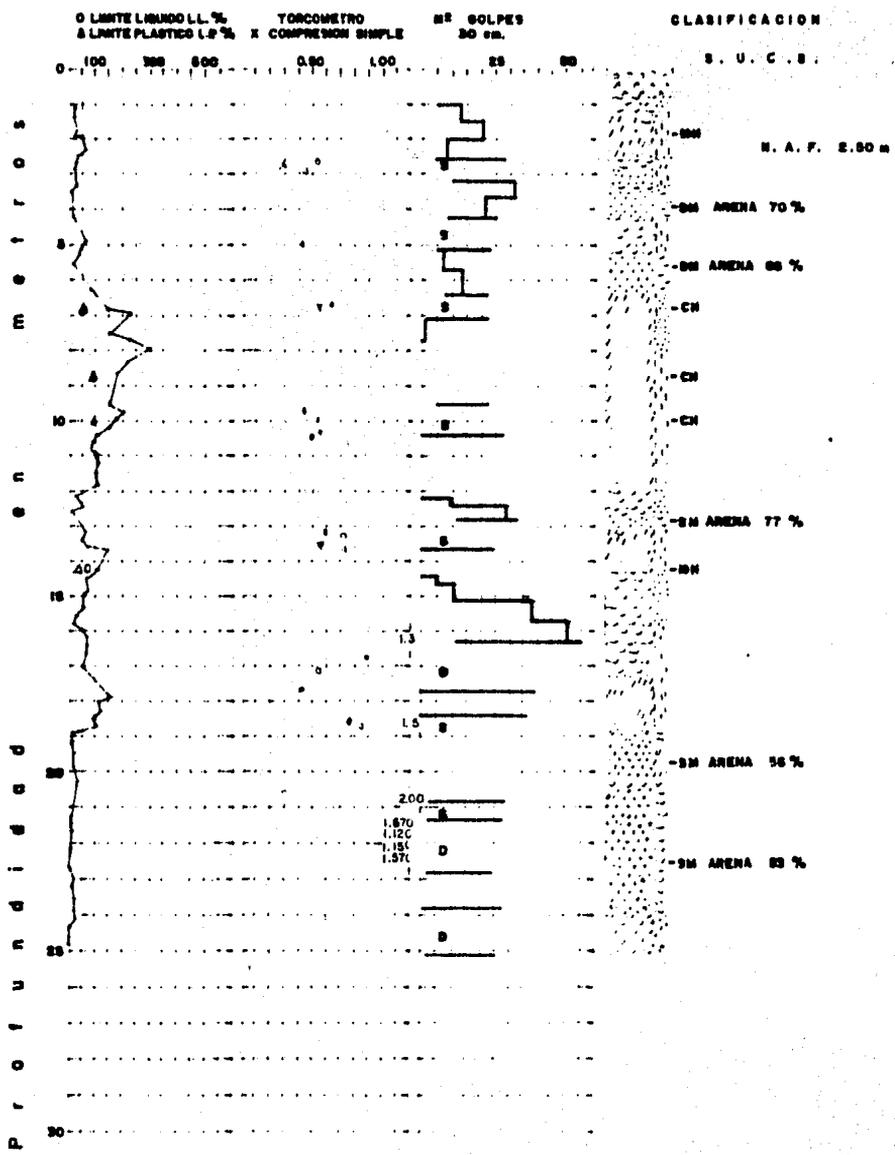


FIG. IX 1.2

PRUEBA DE CARGA
 Pilote n° 1
 DATOS DE HINCADO



BOMBAS CONVENCIONALES
 CONESION EN Kg/cm
 MAS DE 60 golpes
 S TUBO Shelby
 D TUBO Dilatado

-  RELLENO
-  ARCILLA
-  ARENA
-  ARENA
-  ARENA

NOTA.
 PESO DEL MARTILLO: 64 Kg.
 ALTURA DE CELDA: 75 cm

FIG. IX. 1.3

AV. JUANACATLAN Y MICHOACAN

PRESENTACION GRAFICA DE LOS ENSAYES

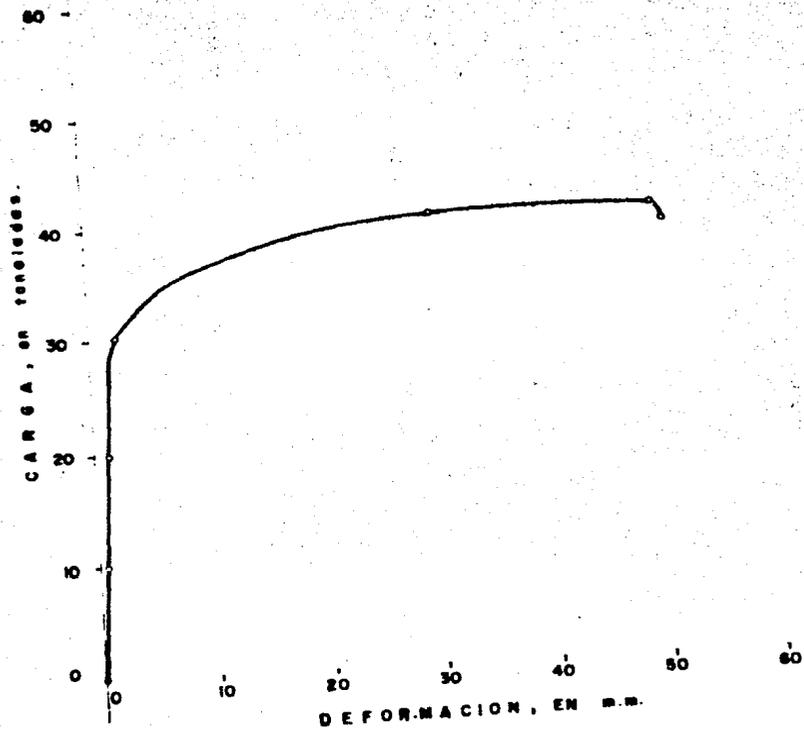


FIG. IV.14
EXTRACCION CAMISA.
PILOTE Nº 1
CARGA VS. DEFORMACION

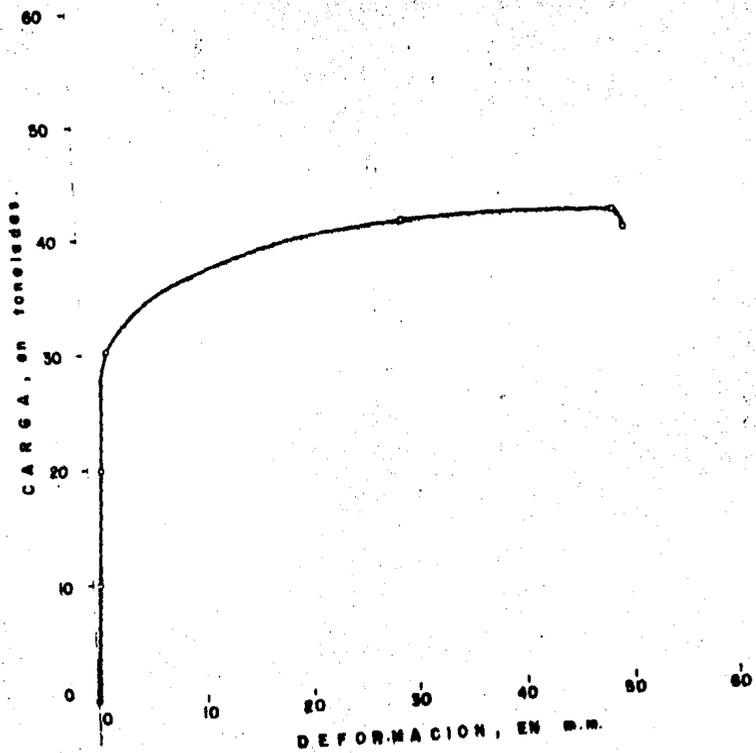


FIG. IV.14
EXTRACCION CAMISA
PILOTE Nº 1
CARGA VS. DEFORMACION

La extracción de la camisa fué hecha inmediatamente después de hincado el pilote, por lo que se considera que la capacidad de carga resulto baja ya que no se le dió tiempo - al suelo de recobrar su resistencia original y por lo tanto la adherencia entre suelo y pilote no alcanzó a desarrollarse completamente.

En este caso igualaremos la capacidad de carga a la extracción con la capacidad de carga última por fricción positiva.

PRUEBA DE CARGA No. 2 (ref. 4)

Se hincó un pilote de madera de sección variable de 0.35 mts. de diámetro en la cabeza disminuyendo gradualmente hasta 0.15 mts. en la punta, a una profundidad de 13.1 mts. obteniendose una capacidad de carga última de 29.5 tons.

El perfil estratigráfico junto con las propiedades mecánicas del subsuelo se muestran en la fig. IV.2.1.

La gráfica carga tiempo se muestra en la fig. IV.2.2.

P	TIPO SUELO	CONT. AGUA					COHESION T/m ²					PESO Vol. T/m ³	DIAGRAMA DEL PILOTE
		10	20	30	40	50	1	2	3	4	5		
1	RELLENO												+ 35 cm +
	N.P.											N.P.	
2	ARENA												
3	LIMO												
4	ARCILLA											1.02	
5	A											1.02	
6												1.03	
7	B											1.01	
8												1.04	
9	C											1.03	
10												1.04	
11	L											1.06	
12												1.05	
13	L											1.05	
14												1.06	
15	A											1.06	
16												1.07	
17												1.07	+ 10 cm +
18												1.04	

▼ PRUEBA DE PENETRACION
 ○ PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE

FIG. IX. 2.1. Propiedades del suelo prueba de carga 2

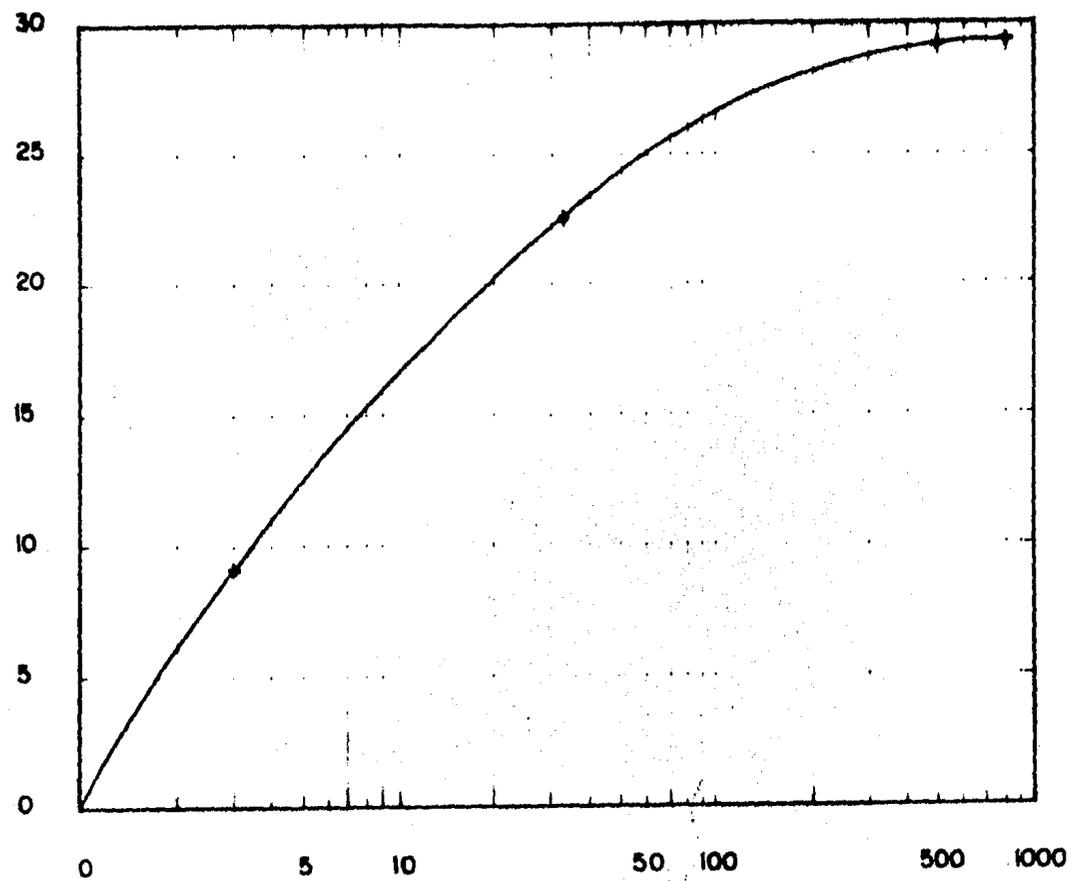


FIG. IV 2.2. Carga vs. dias de Incubo.

PRUEBA DE CARGA No. 3 (ref. 5)

Extracción de un tubo de acero.

En un sondeo realizado con el objeto de obtener muestras, se introdujo a golpes un ademe de acero, de 25 cms. de diámetro, formado por tramos soldados de 6 mts. de longitud.

Para perforar se empleó una cuchara de 15 cms. de diámetro, de modo que el tubo quedó en contacto con el terreno, pero sin desplazar un volumen importante de material.

La longitud del ademe fué de 306 mts. y su peso de 1.3 ton.

Las cargas necesarias para desplazar el ademe se midieron en etapas sucesivas hasta la extracción total; las observaciones se efectuaron con dos gatos hidráulicos de 30 - ton. cada uno.

El perfil estratigráfico y las principales propiedades mecánicas de los materiales del subsuelo en el lugar de la prueba se muestran en la figura IV.3.1.

Las cargas máximas y final correspondientes a las extracciones efectuadas en 3 fechas distintas y los desplazamientos acumulados así como las curvas cargas -desplazamientos

tos de cada etapa, junto con una tabla de resumen, se muestran en la fig. IV.3.2, IV.3.3. y en la tabla IV.3.1. respectivamente, en la que se ve la carga necesaria para su extracción fué de 25 toneladas máximo y 12 toneladas final.

Perforado en: Febrero de 1960 Cota del lugar: 2236.8m Cota de referencia Banco de Atlixcoatlán (Cota superior) 2244.9 m s.n.m.

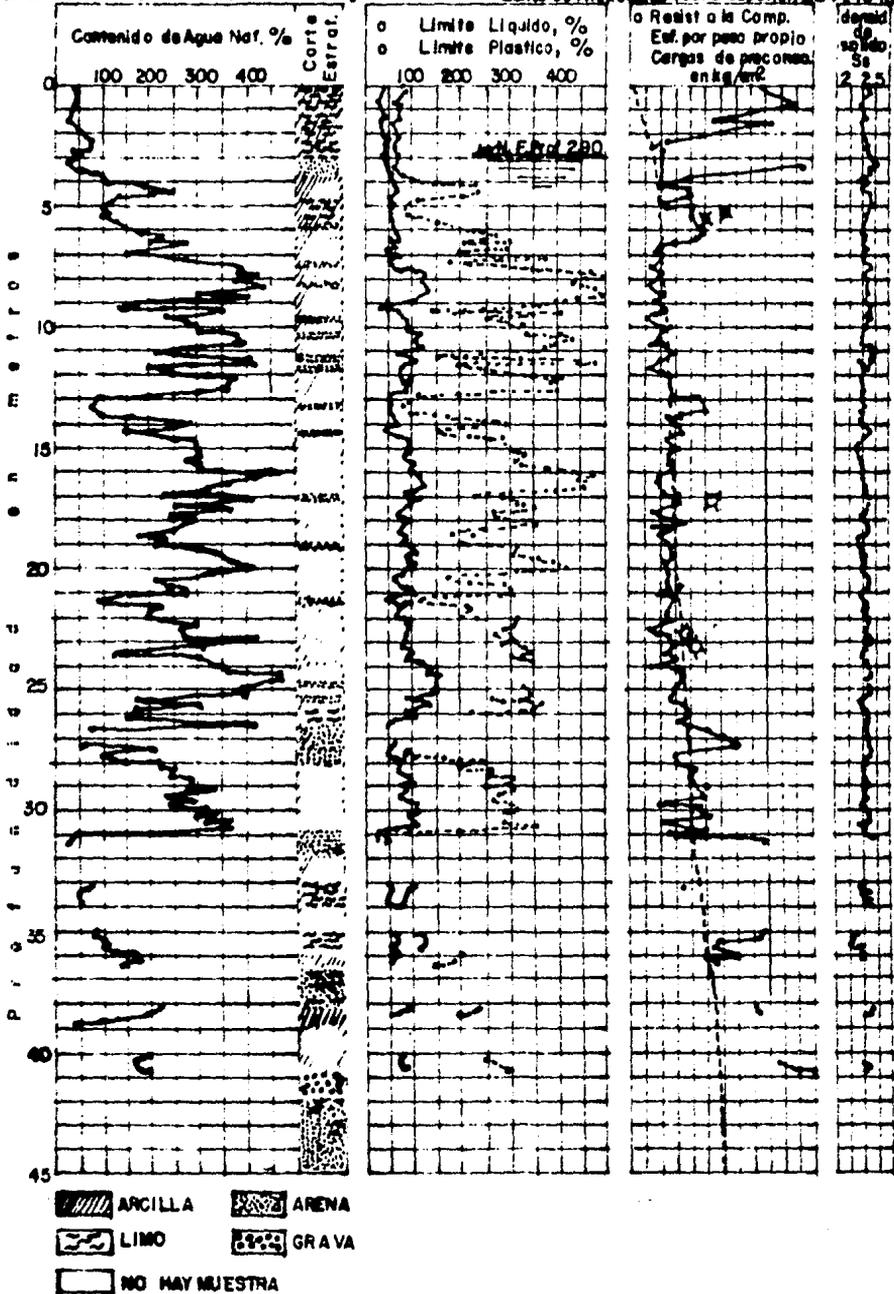


Fig. 3.1 ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL SUELO, PRUEBA DE CARGA. PRUEBA # 3

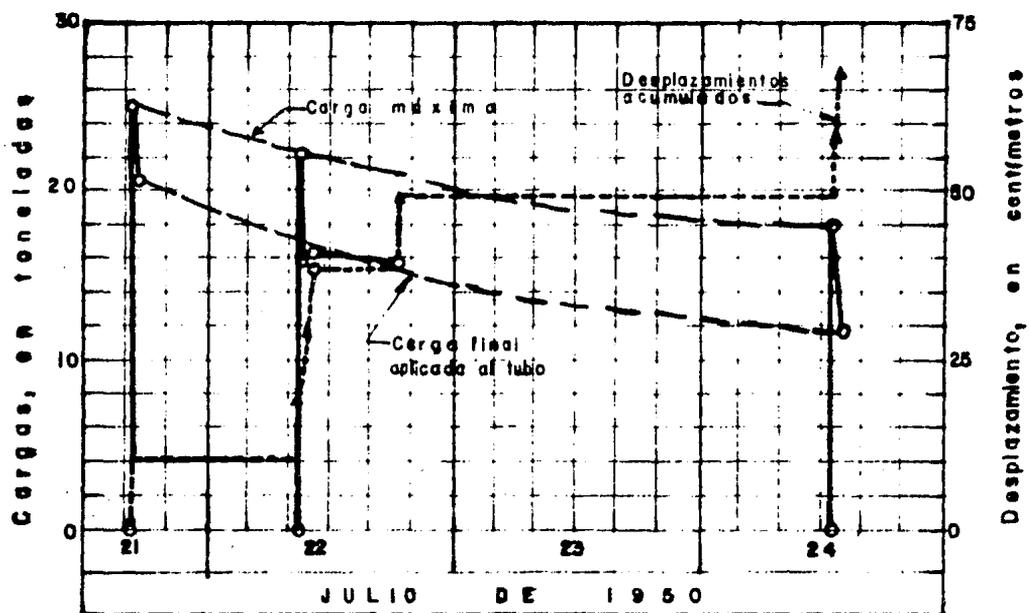


Fig. IV 3.2

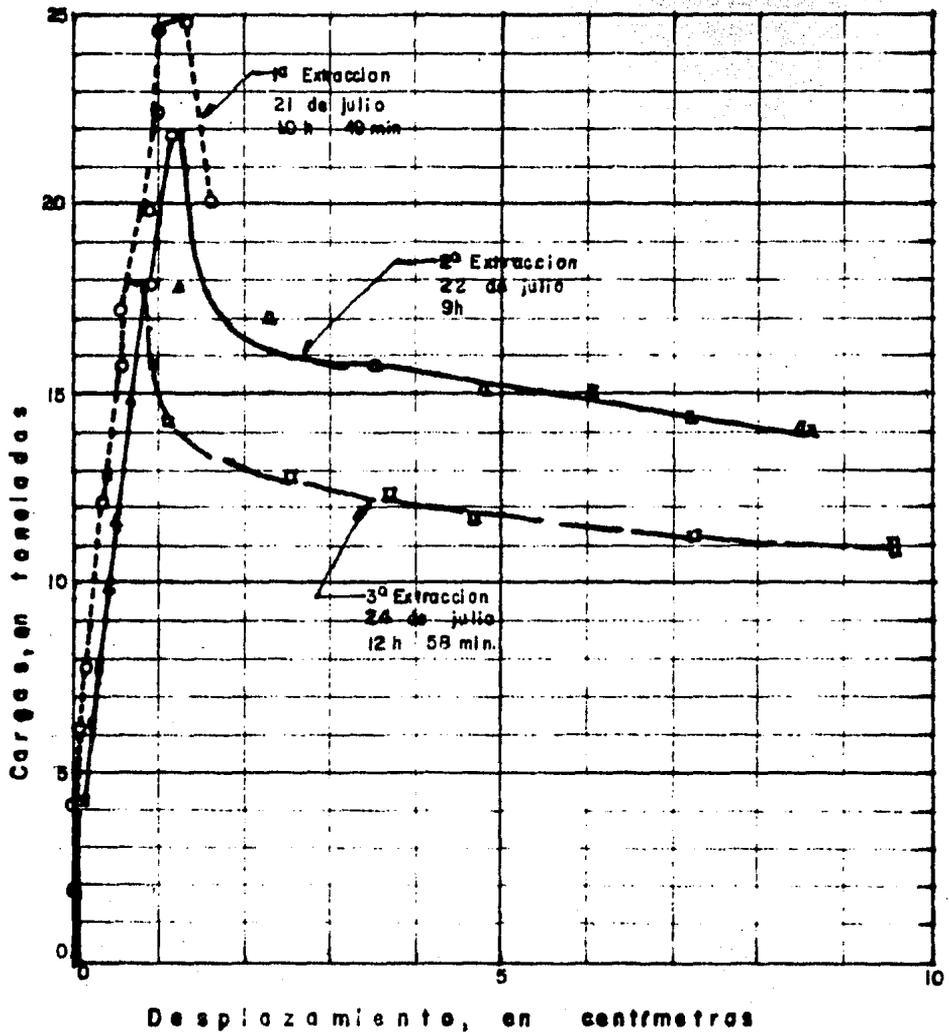


Fig. IV 3.3

	EXTRACCIONES		
	1ª	2ª	3ª
RESISTENCIA MAXIMA A LA EXTRACCION, en Kg/cm ²	0.11	0.09	0.08
RESISTENCIA FINAL A LA EXTRACCION, en Kg/cm ²	—	0.06	0.05
DESPLAZAMIENTO CORRESP. A LA RESIST. MAXIMA, en cm	1.3	0.9	0.7
DESPLAZAMIENTO CORRESP. A LA RESIST. FINAL, en cm	—	8.5	9.5
TIEMPO TRANSCURRIDO DURANTE LA PRUEBA, en min	9	10	9
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE EL HINCADO O DESDE LA EXTRACCIÓN	696 h	16 h	52 h

TABLA IV. 3.1

Cálculo de la capacidad última del pilote a fricción positiva por el método de M.J. Tomlinson.

Ejemplo IV.1:

Fórmulas.-

$$Q_f = N_c A_b C_b + C \times L \times C_a$$

Datos.-

$$D = 0.50 \text{ mts.}$$

$$C = 0.50 = 1.57 \text{ mts.}$$

$L =$ Longitud de hincado

$$L = 19.0 \text{ mts.}$$

Del sondeo mostrado la fig. IV.1.3. se obtienen las cohesiones para los estratos siguientes:

<i>ESTRATOS</i>	<i>COHESION</i>
<i>Prof. mts.</i>	<i>Ca Ton/m²</i>
0-4	5.0
4-6	4.4
6-8	5.0
8-12	5.0
12-16	6.5

ESTRATOS Prof.mts.	COHESION Ca Ton/m ²
16-17	9.0
17-18	5.0
18-19	8.0

Para obtener la adherencia con la Tabla II.1 realizada por M.J. Tomlinson, calcularemos el promedio pesado de la cohesión:

$$C_p = \frac{4.0 \times 5.0 + 2.0 \times 4.4 + 2.0 \times 5.0 + 4.0 \times 5.0 + 4.0 \times 6.5 + 1 \times 9.0 + 1.0 \times 5.0 + 1.0 \times 8.0}{19}$$

$$C_p = \frac{96.8}{19.0} = 5.1$$

$$C_p = 5.1 \text{ Ton/m}^2$$

De la Tabla II.1 con la cohesión se obtiene la adherencia para:

$$C_p = 5.1 \text{ Ton/m}^2$$

$$C_a = 3.77 \text{ Ton/m}^2$$

$$Q_f = C \times L \times C_a$$

$$Q_f = 1.57 \times 19.0 \times 3.77$$

$$Q_f = 107.44 \text{ Ton/m}^2$$

Cálculo de la capacidad de carga última del pilote a fricción positiva por el método de M.J. Tomlinson.

Ejemplo No. IV.2

Este ejercicio se realizó con el perfil estratigráfico y las propiedades mecánicas de la prueba de carga 2 - fig. IV.2.1.

Fórmulas.-

$$Q_f = N_c A_b C_b + C_L C_a$$

Datos.-

$$D = 0.35 \text{ a } 0.15 \text{ mts.}$$

$$D_p = 0.25 \text{ mts.}$$

$$C = 0.25 \times \pi = 0.785 \text{ mts.}$$

$$L = 13.1 \text{ mts.}$$

Del sondeo mostrado en la fig. IV.2.1. se obtienen las cohesiones para los estratos siguientes:

ESTRATOS Prof.mts.	COHESION Ca Ton/m ²
0-2	1.6
2-4.5	1.4
4.5-6	1.8
6-8	2.0
8-10.5	1.2
10.5-13.1	2.8

Para obtener la adherencia con la Tabla 1 realizada por M.J. Tomlinson calcularemos el promedio pesado de la cohesión:

$$C_p = \frac{2.0 \times 1.6 + 2.5 \times 1.4 + 1.5 \times 1.8 + 2.0 \times 2.0 + 2.5 \times 1.2 + 2.6 \times 2.8}{13.1}$$

$$C_p = 1.792 \text{ Ton/m}^2$$

De la Tabla II.1 con la cohesión se obtiene la adherencia para:

$$C_p = 1.792 \text{ Ton/m}^2$$

$$C_a = 1.568 \text{ Ton/m}^2$$

$$Q_f = C \times L \times C_a$$

$$Q_f = 0.785 \times 13.1 \times 1.568$$

$$Q_f = 16.12 \text{ Ton.}$$

Cálculo de la capacidad de carga última del pilote a fricción positiva por el método de M.J. Tomlinson.

Ejemplo No. IV.3

Con el perfil estratigráfico y las propiedades mecánicas de la prueba de carga 3 se obtuvo la capacidad de carga última con Tomlinson.

Fórmula.-

$$Q_f = N_c A_b C_b + C_x L_x C_a$$

Datos.-

$$D = 0.25 \text{ mts.}$$

$$L = \text{Longitud de hincado}$$

$$L = 30.6 \text{ mts.}$$

A partir de la resistencia a la compresión obtenida en la prueba se cálculo la cohesión como:

$$C = \frac{qu}{2}$$

ESTRATO	qu Kgs/cm ² Resistencia a la compresión	Ca=qu/2 t/m ² Cohesión
0-1	2.75	13.75
1-2	1.85	9.25
2-3	0.50	2.5
3-5	0.75	3.75
5-6.5	1.00	5.0
6.5-12	0.50	2.5
12-13	0.75	3.75
13-14	1.0	5.0
14-24	0.62	3.10
24-25.5	0.75	3.75
25.5-26.5	1.50	7.50
26.5-28	1.12	5.60
28.0-30	1.00	5.0
30.0-30.6	0.875	4.37

Para poder obtener la adherencia con la tabla II.1 realizada por Tomlinson, es necesario calcular el promedio pesado de la cohesión:

$$C_p = \frac{1 \times 13.75 + 1 \times 9.25 + 1 \times 2.5 + 2 \times 3.75 + 1.5 \times 5.0 + 5.5 \times 2.5 + 1 \times 3.75 + 1 \times 5.0 + 10 \times 3.10 + 1.5 \times 3.75 + 1 \times 7.50 + 1.5 \times 5.6 + 2.0 \times 5.0 + 0.60 \times 4.37}{30.60}$$

$$3.10 + 1.5 \times 3.75 + 1 \times 7.50 + 1.5 \times 5.6 + 2.0 \times 5.0 + 0.60 \times 4.37 = C_p = \frac{128.47}{30.60}$$

$$C_p = 4.18 \text{ Ton/m}^2$$

De la tabla II.1 se obtiene la adherencia:

$$C_a = 3.545 \text{ Ton/m}^2$$

$$Q_f = C_x L x C_a$$

$$C = 0.25 \times \pi = 0.785$$

$$L = 30.6 \text{ mts.}$$

$$C_a = 3.545 \text{ Ton/m}^2$$

Sybsstituyendo:

$$Q_f = 0.785 \times 30.6 \times 3.545$$

$$Q_f = 85.15 \text{ Ton.}$$

CAPITULO V

CALCULO DE PILOTES A FRICCION POSTIVA CON EL METODO DE L. ZEEVAERT.

Para las pruebas de carga 1, 2 y 3, se obtuvieron las capacidades de carga última, en los ejercicios 1, 2 y 3, respectivamente se obtuvieron los diagramas de esfuerzos σ_{oi} y σ_i , las leyes de resistencia $S_{oz} = 0.3$ $q_u = 0.6$ C y $S_{oz} = K\phi$ y la fricción a lo largo del pilote (PF) i .

Ejercicio V-1 (Los datos se obtuvieron de la prueba de carga 1).

Datos:

Suponiendo: $\phi_r = 26^\circ$ $K\phi = 0.33$

$$\bar{r}_o = 1.1r_o = 1.1(0.25) = 0.275 \text{ mts.}$$

Para la ley de resistencia

$$\bar{w} = 2\pi r_o = 2 \times \pi \times 0.275 = 1.72 \text{ mts.}$$

$S_{oz} = S_e = \text{cte.}$

$$m = \frac{1}{2} \bar{w} K\phi = \frac{1}{2} (1.72 \times 0.33) = 0.283$$

$$\bar{r}_o = 1.05 \bar{r}_o = 1.05(0.25) = 0.262$$

Para la ley de resistencia

$$\bar{w} = 2\pi\bar{r}_o = 2 \times \pi \times 0.262 = 1.65$$

$$S_{oz} = Kz$$

$$m = \frac{1}{2} \bar{w} K\phi = \frac{1}{2} (1.65 \times 0.33) = 0.272$$

Ecuaciones:

Para la ley de resistencia $S_{oz} = Kz$.

$$I_{zr} = I_{zk}$$

$$\sigma_i = \frac{(PF)_{i-1} + \sigma_{oi} \bar{a}_i + (w \sigma_i^0 + m_i \sigma_{i-1}) \Delta z}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i}$$

$$PF_i = (\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i$$

$$\sigma_i = \bar{A}_i \sigma_{oi} + \bar{B}_i \sigma_{i-1} + \bar{C}_i (PF)_{i-1}$$

$$A_i = \frac{\bar{a}_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i}$$

$$B_i = \frac{m_i \Delta z_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i}$$

$$C_i = \frac{1}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i}$$

$$\sigma_{oi} = \sigma_i^0 + K\phi_i \sigma_i$$

Para la ley de resistencia $S_{oz} = S_e = \text{cte.}$

$$\sigma_i = \sigma_{oi} + \frac{(PF)_{i-1} + \bar{w} S_{oi} \sigma_{zi}}{\bar{a}_i}$$

$$(PF)_i = \bar{w} S_{oi} \Delta z_i + (PF)_{i-1}$$

$$S_{oi} = 0.3 \text{ qu}$$

Cálculos:

Cálculo de PF con la ley de resistencia $S_{oz} = Kz$

Para $z = 0$

$$\sigma_i = 0$$

$$PF_i = 0$$

De la fig. V.1.1.

$$\sigma_{oi} = 0$$

Para $z = 2$

De la fig. V.1.1

$$\sigma_i = 1$$

$$z/r = \frac{2}{0.25} = 8$$

De la fig. IV.1.B

$$I_{zr} = \bar{I}_{zk} = 3.0$$

$$\bar{a}_{ez} = \frac{z^2}{\bar{I}_{zk}} = \frac{(2)^2}{3.0} = 4.18$$

$$\sigma_i = \bar{A}_i \sigma_i + \bar{B}_i \sigma_{i-1} + \bar{C}_i (PF)_{i-1}$$

$$\bar{A}_i = \frac{\bar{a}_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i} = \frac{4.18}{4.18 - 0.272(2)} = 1.149$$

$$\bar{B}_i = \frac{m_i z_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i} = \frac{0.272 \times 2}{4.18 - 0.272(2)} = 0.149$$

$$\bar{C}_i = \frac{1}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i} = \frac{1}{4.18 - 0.272(2)} = 0.275$$

$$\sigma_i = 1.155 (1.0) + 0.155 (0.0) + 0.285 (0.0) = 1.149$$

$$\sigma'_i = 1.155 \text{ Ton/m}^2$$

$$(PF)_i = (\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i =$$

$$(PF)_i = (1.149 - 1.0) 4.05 =$$

$$(PF)_i = 0.625 \text{ Ton.}$$

$$s_{oi} = K\phi\sigma_i$$

$$s_{oi} = 0.33(1.149) = 0.381$$

$$s_{oi} = 0.381$$

Prof	Σ	Σ/r	I_{nk}	I_{so}	\bar{a}_{ex}	A_n	σ_{oi}	\bar{A}_i	B_i	\bar{C}_i	σ_i	PF_i	Soi
0	0	0	-	-	-	-	0	-	-	-	0	0	0
2	2	8	3.0	-	4.18	2.0	1	1.14	0.149	0.27	1.14	0.62	0.38
3	3	12	5.5	-	5.14	1.0	1.5	1.05	0.055	0.21	1.77	1.42	0.58
4	4	18	8.0	-	6.28	1.0	2	1.04	0.045	0.16	2.40	2.55	0.79
6	6	24	12	-	9.42	2.0	3	1.08	0.08	0.11	3.62	5.84	1.19
8	8	32	18	-	11.17	2.0	3.7	1.05	0.05	0.09	4.62	10.32	1.50
9	9	36	21	-	12.11	1.0	4.65	1.02	0.02	0.08	5.03	13.13	1.65
11	11	44	24	-	15.83	2.0	4.75	1.03	0.03	0.08	5.98	19.50	1.97
13	13	52	32	-	16.59	2.0	5.5	1.03	0.03	0.06	7.07	26.62	2.34
15	15	60	37	-	19.10	2.0	6.3	1.02	0.02	0.05	8.10	34.90	2.68
17	17	68	42	-	21.61	2.0	7.1	1.02	0.02	0.04	9.12	44.30	3.01
19	19	78	46	-	24.65	2.0	7.9	1.02	0.02	0.04	10.10	54.79	3.34

TABLA V.1.1

$Pfu = 54.79$ Ton.

En este caso solo se utilizaron las fórmulas para la ley de resistencia de $Sox = Kx$ ya que $Soi < 0.3$ qu.

En las figuras V.1.1., IV.1.2. y IV.1.3. se graficaron σ_i , Soi y (PF) respectivamente.

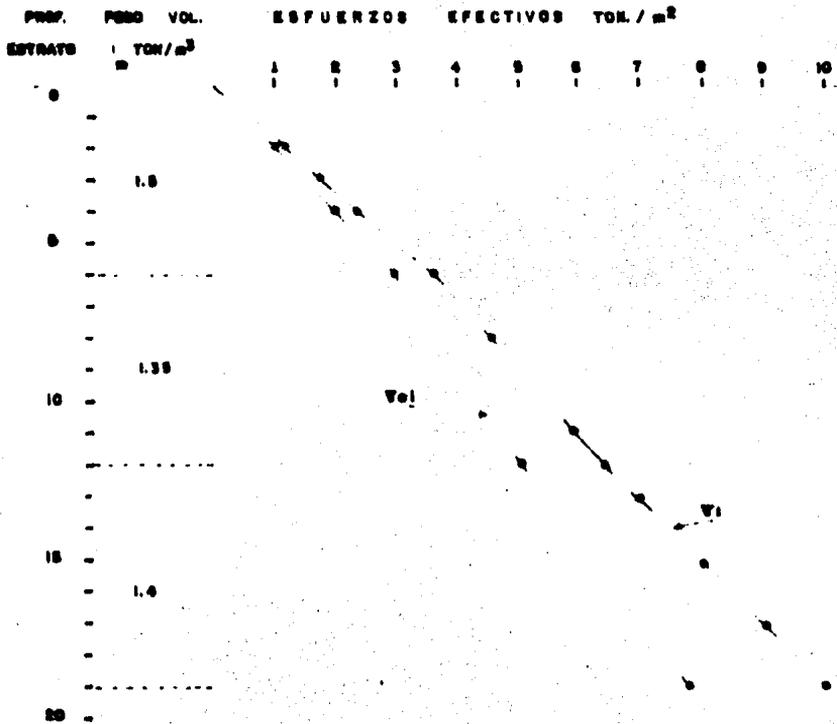


FIG. X 1.1 Diagrama de esfuerzos V_{oi} y V_i

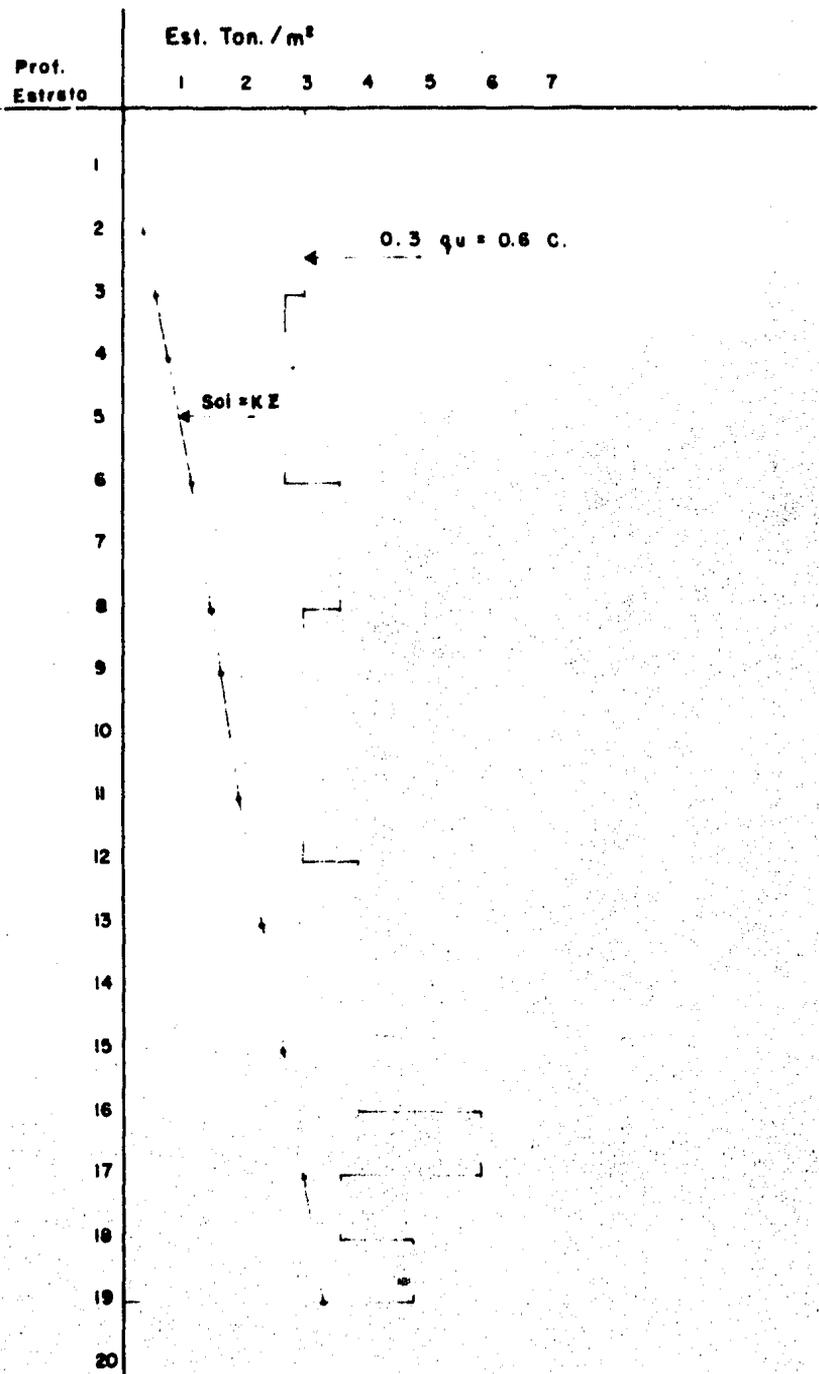


FIG. X.1.2 Distribución de esfuerzos $S_{oz} = 0.3 q_u = 0.6 C$ y $S_{oz} = KZ$

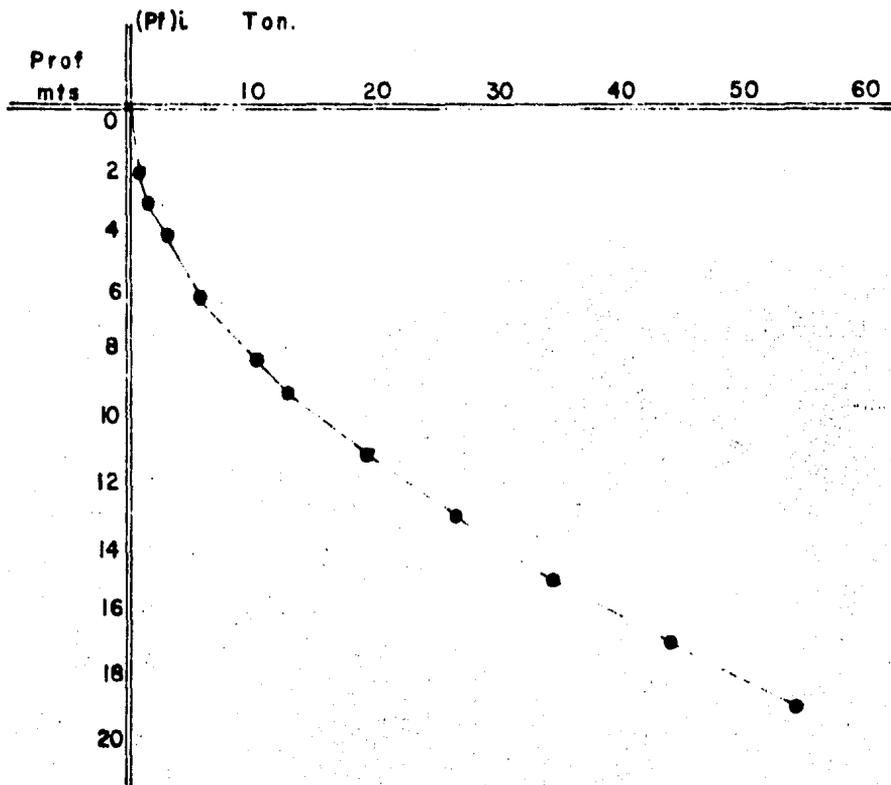


Fig. V . 1.3. Fricción Positiva a lo largo del fuste del piote.(PF)L

Ejercicio V.2. (Los datos se obtuvieron de la prueba de carga 2)

Datos:

$$\text{Suponemos } \phi r = 26^\circ \quad k\phi = 0.33$$

Para la ley de resistencia $S_{01x} = S_e = \text{cte.}$

$$r_0 = 0.125 \text{ mts.}$$

$$\bar{r}_0 = 1.1 r_0 = 1.1 \times 0.125 = 0.137 \text{ mts.}$$

$$\bar{w} = 2\pi r_0 = 2 \times \pi \times 0.125 = 0.785$$

$$\bar{m} = \frac{1}{2} \bar{w} k\phi = \frac{1}{2} \times 0.785 \times 0.33 = 0.130$$

Para la ley de resistencia $S_{02} = Kz$

$$r = 0.125$$

$$\bar{r}_0 = 1.05 \bar{r} = 1.05 \times 0.125 = 0.131 \text{ mts.}$$

$$\bar{w} = 2\pi \bar{r}_0 = 2\pi \times 0.131 = 0.825$$

$$\bar{m} = \frac{1}{2} \bar{w} k\phi = \frac{1}{2} \times 0.825 \times 0.33 = 0.136$$

Ecuaciones:

Se emplearon las mismas que el ejercicio V.1.

Cálculos:

Cálculo de PF con la ley de resistencia $S_{oz} = Kz$

Para $z = 0$

$$i = 0 \quad (PF)i = 0$$

Para $z = 0.125$

$$\frac{z}{r} = \frac{0.125}{0.125} = 1$$

De la fig. IV.1.B

$$I_{sc} = 0.13$$

$$\bar{a}_{ez} = \frac{2\pi z^2}{\sqrt{2} I_{sc}} = \frac{2\pi (0.125)^2}{\sqrt{2} (0.13)} = 0.53 \text{ m}^2$$

De la fig. V.2.1.

$$\sigma_i = 4.49 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_i = \bar{A}_i \sigma_{oi} + \bar{B}_i \sigma_{i-1} + \bar{C}_i (\text{PF})_{i-1}$$

$$\bar{A}_i = \frac{\bar{a}_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i} = \frac{0.53}{0.53 - 0.136(0.125)} = 1.03$$

$$\bar{B}_i = \frac{m_i \Delta z_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i} = \frac{0.136(0.125)}{0.53 - 0.136(0.125)} = 0.033$$

$$\bar{C}_i = \frac{1}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i} = \frac{1}{0.55 - 0.136(0.125)} = 1.94$$

$$\sigma_i = 1.03 (4.49) + 0.033(0) + 1.94 (0) = 4.63$$

$$\sigma_i = 4.63 \text{ Ton/m}^2$$

$$(\text{PF})_i = (\sigma_i - \sigma_{oi}) a_i = (4.63 - 4.49) 0.53 =$$

$$(\text{PF})_i = 0.078 \text{ Ton}$$

$$s_{oi} = K \phi \sigma_i = 0.33 \times 4.63$$

$$s_{oi} = 1.53 \text{ Ton/m}^2$$

$$s_{oi} > 0.3 \text{ qu}$$

Por lo tanto se iniciará de nuevo para la ley de resistencia $S_{oi} = S_e = \text{cte.}$

Para $z = 0.5$

$$\frac{z}{r} = \frac{0.5}{0.125} = 4$$

De la fig. IV.1.b

$$I_{zc} = 2.0$$

$$\bar{a}_{ez} = \frac{2\pi z^2}{2 I_{zc}} = \frac{2\pi (0.5)^2}{2 (2.0)}$$

$$\bar{a}_{ez} = 0.55 \text{ m}^2$$

$$\bar{\sigma}_i = \frac{\sigma_{oi} + (PF)_{i-1} + \bar{w} S_{oi} \Delta z_i}{a_i}$$

$$\bar{\sigma}_i = \frac{4.31 + 0 + 0.864 \times 0.96 \times 0.5}{0.55}$$

$$\bar{\sigma}_i = 5.06 \text{ Ton/m}^2$$

$$(PF)_i = \bar{w} C_i \Delta z_i + (PF)_{i-1}$$

$$(PF)_i = 0.864 \times 0.96 \times 0.5 + 0$$

$$(PF)_i = 0.414 \text{ Ton.}$$

En forma similar para los siguientes valores de x se obtuvo la tabla V.2.1.

En las figuras V.2.1., V2.2. y V2.3. se graficaron δ_1 , S_{oi} y $(PF)_i$ respectivamente.

Prof.	x	x/r	\bar{Y}_{xc}	\bar{Y}_{xk}	\bar{a}_{ex}	Δx	σ_{oi}	$\bar{\sigma}_i$	Pf_i	S_{oi}
										$0.3qu=0.6Ci$
2.4	0.0	0	0	-	0	-	3.90	3.90	0	0.96
2.9	0.5	4	2	-	0.55	0.5	4.31	5.06	0.414	0.96
4.4	2	16	9	-	1.97	1.0	5.54	6.38	1.65	0.96
6.4	4	32	23	-	3.10	2	7.18	8.18	3.11	0.84
8.4	6	48	34	-	4.70	2	8.85	9.90	4.97	1.08
10.4	8	64	44	-	6.46	2	10.55	11.64	7.05	1.20
12.4	10	80	55	-	8.07	2	12.25	13.27	8.29	0.72
14.4	12	96	67	-	9.54	2	13.92	15.09	11.19	1.68
15.5	13.1	104.80	80	-	9.53	1.1	14.92	16.26	12.79	1.68

TABLA V.2.1.

$(PF) = 12.70 \text{ Ton.}$

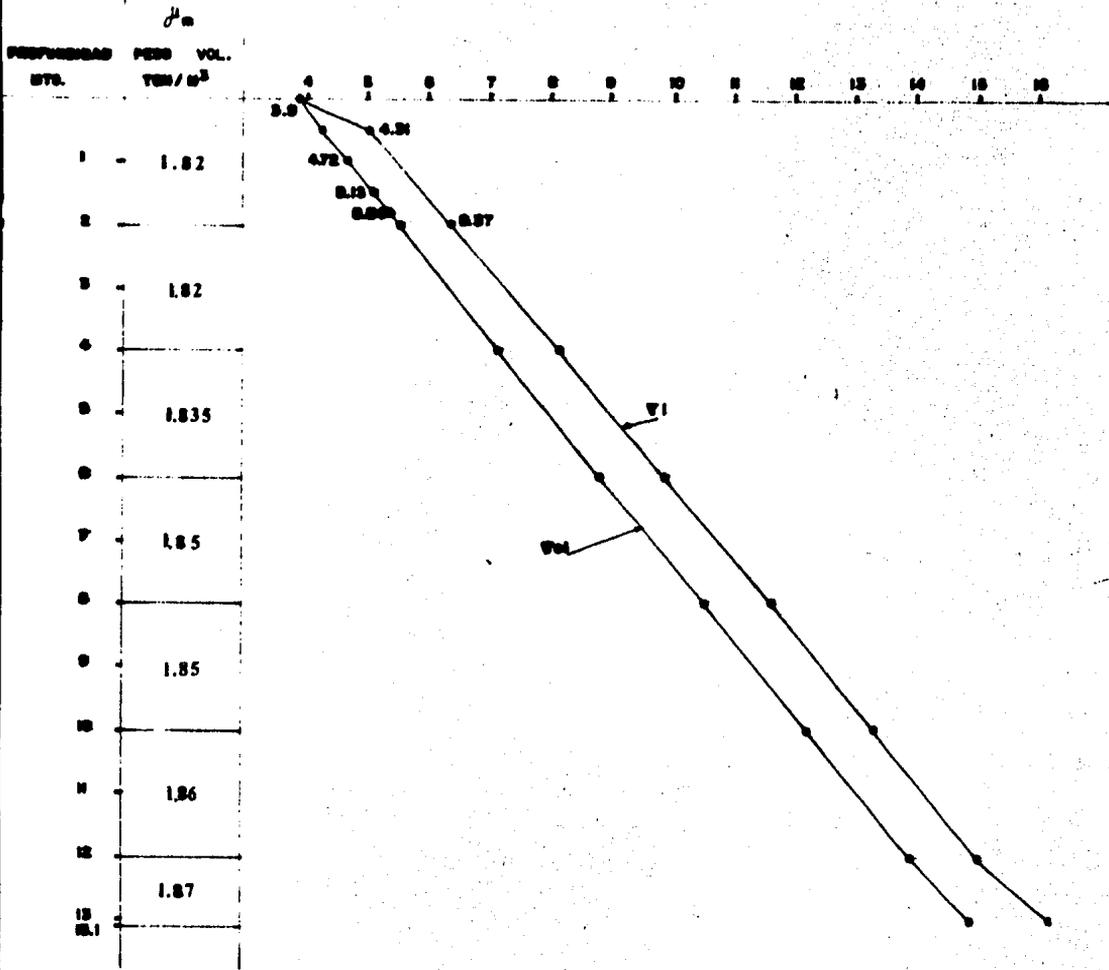


FIG. X 2.1. Diagrama de esfuerzos V_{01} y V_1

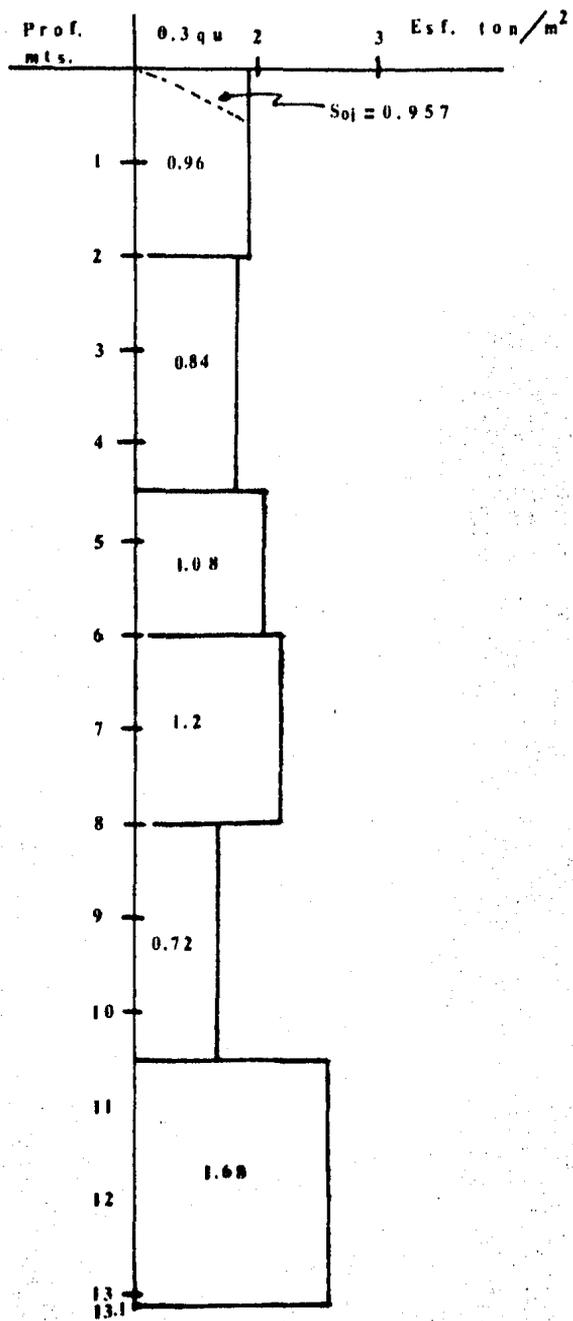


Fig. A.2.2 Distribución de esfuerzos

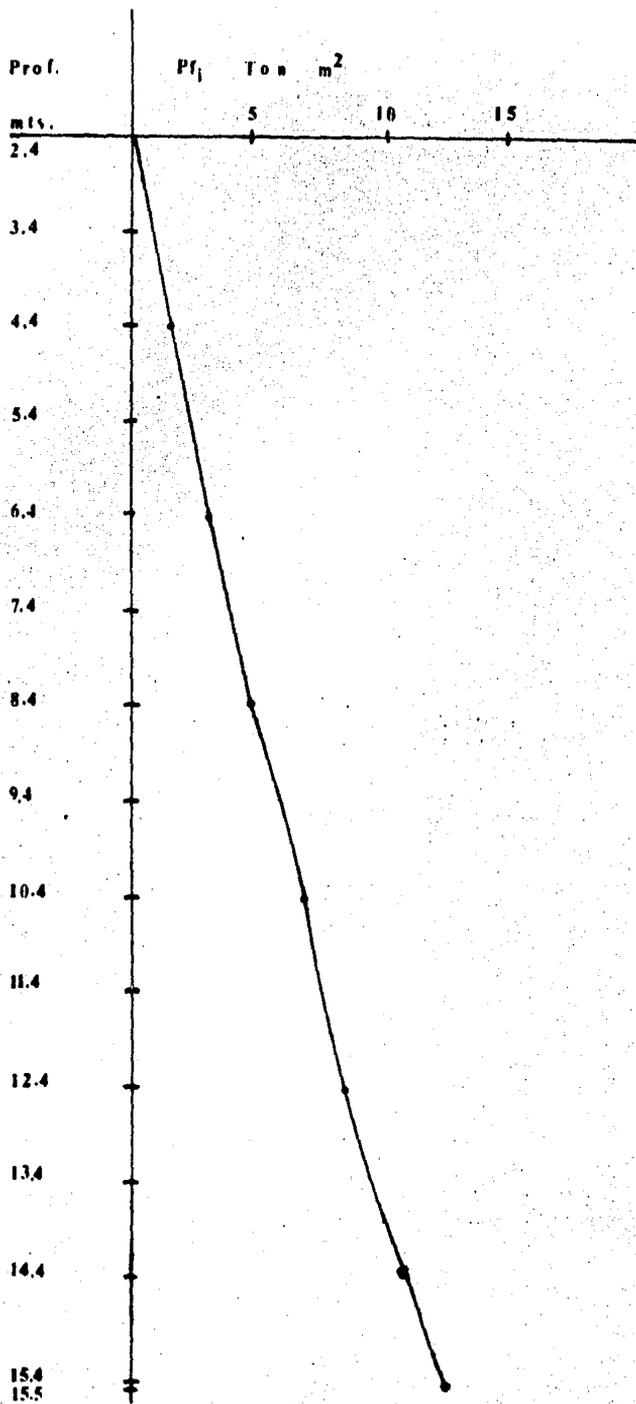


Fig. V.2.3 Fricción positiva a lo largo del fuste del pilote Pf_i

Ejercicio 3.V (Los datos se obtuvieron de la prueba de carga 3).

Datos:

Suponemos $\phi_r = 26^\circ$ $k\phi = 0.33$

Para la ley de resistencia $S_{oz} = S_e = cte.$

$$r_o = 0.125 \text{ mts.}$$

$$\bar{r}_o = 1.1 r_o = 0.137 \text{ mts.}$$

$$\bar{w} = 2\pi \bar{r} = 2 \times 91 \times 0.137 = 0.864$$

$$m = \frac{1}{2} \bar{w} k\phi = \frac{1}{2} \times 0.864 \times 0.33 = 0.142$$

Para la ley de resistencia $S_{oz} = Kz$

$$r = 0.125$$

$$\bar{r}_o = 0.05 \bar{r}_o = 1.05 \times 0.125 = 0.1313 \text{ mts.}$$

$$\bar{w} = 2\pi \bar{r}_o = 2 \times \pi \times 0.1313 = 0.8247$$

$$m = \frac{1}{2} \bar{w} k\phi = \frac{1}{2} \times 0.8247 \times 0.33 = 0.136$$

$$A_i = \frac{a_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta z_i} = \frac{1.97}{1.97 - 0.142 (2)} = 1.16$$

$$\bar{B}_i = \frac{m_i \Delta z_i}{a_i - m_i \Delta z_i} = \frac{0.142 (2)}{1.97 - 0.142 (2)} = 0.16$$

$$\bar{C}_i = \frac{1}{a_i - m_i \Delta z_i} = \frac{1}{1.97 - 0.142 (2)} = 0.59$$

$$\sigma_i = 1.16 (3.6) + 0.16 (0) + 0.59 (0) =$$

$$\sigma_i = 4.20$$

$$(PF)_i = (\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i = (4.20 - 3.6) 1.97$$

$$(PF)_i = 1.182$$

$$\sigma_{oi} = k\phi \sigma_i = 0.33 (4.20)$$

Para $z = 2.2$ se encontro que $S_{oz}=0.3$ qu por lo que a partir de dicha profundidad los valores de $(PF)_i$ se obtuvieron con el algoritmo correspondiente a la ley $S_{oz}=0.3$ qu.

Los valores de 0.3 qu se encuentran en la Tabla --

V.3.2

Ecuaciones:

Se emplearon los mismos que el ejercicio V.1

Cálculos:

Para $z = 2$

$$z/r = \frac{2}{0.125} = 16$$

De la fig. IV 1.B.

$$\bar{i}_{zc} = 9$$

$$\bar{a}_{ez} = \frac{2 r r z^2}{2 I_{zc}} = \frac{2 r r (2)^2}{2 (9)}$$

$$\bar{a}_{ez} = 197$$

De la fig. V.3.1

$$C_{oi} = 3.6 \text{ Ton/m}^2$$

$$C_i = \bar{A}_i C_{oi} + \bar{B}_i C_{i-1} + \bar{C}_i (PF)^{i-1}$$

Calculos de (PF)_i con la Ley de resistencia Soz =
0.3qu = 0.6qu.

Para z = 4:

De la tabla V.3.2.

$$\sigma_{oi} = 5.94 \text{ Ton/m}^2$$

$$(PF)_{i-1} = 1.43 \text{ Ton/m}^2$$

$$S_{oi} = 3.0 \text{ Ton/m}^2$$

$$\bar{I}_{zc} = 23$$

$$\bar{a}_i = \frac{2\pi z^2}{2 I_{zc}} = \frac{2\pi (4)^2}{2 \cdot 23} = 3.10$$

$$a_i = 3.10 \text{ m}^2$$

$$\sigma_i = \sigma_{oi} + \frac{(PF)_{i-1} + w S_{oi} \Delta z_i}{\bar{a}_i}$$

$$\sigma_i = 5.94 + \frac{1.43 + 0.824 \times 2.25 \times 1.8}{3.10}$$

Prof. mts.	n mts	z/r	I_{ao}	\bar{a}_{es} m^2	Δa mts	T_{oi} Ton/ m^2	\bar{A}_i	\bar{B}_i	\bar{C}_i	T_i Ton/ m^2	(PF) i Ton	S_{oi} Ton/ m^2	S_{oi} $C_i - 0.3q_u$ Ton/ m^2
0	0	0	0	0	0								
2	2	10	9	1.97	2	3.60	1.18	0.16	0.59	4.2	1.18	1.38	
2.2	2.2	17.6	10	2.15	0.2	3.96	1.03	0.03	0.47	4.6	1.43	1.52	
4	4	32	23	3.10	2	5.94				7.47	4.76		2.25
6	6	48	44	4.70	2	6.54				8.50	9.70		3.0
8	8	64	55	6.46	2	7.18				9.06	12.17		1.5
10	10	80	57	8.67	2	7.82				9.63	14.64		1.5
12	12	96	67	9.54	2	8.46				10.25	17.12		1.5
14	14	112	80	10.88	2	9.10				10.95	20.18		1.86
16	16	128	85	13.38	2	9.74				11.47	23.25		1.86
18	18	144	100	14.39	2	10.38				12.20	26.31		1.86
20	20	160	112	15.86	2	11.02				12.87	29.38		1.86
22	22	176	124	17.34	2	11.92				13.79	32.44		1.86
24	24	192	140	18.27	2	13.08				15.02	35.51		1.86
26	26	208	152	19.75	2	14.24				16.41	42.92		4.5
28	28	224	160	21.77	2	15.14				17.34	47.87		3.0
30	30	240	170	23.52	2	15.78				18.00	52.19		2.62
30.6	30.6	344.80	175	23.77	0.6	15.97				18.26	53.48		2.62

PF = 53.48 Ton.

TABLA V. 3. 1

$$\sigma_i = 7.47 \text{ ton/m}^2$$

$$(PF)_i = \bar{w} S_{oi} \Delta z_i + (PF)_{i-1}$$

$$(PF)_i = 0.82 \times 2.25 \times 1.8 + 1.43$$

$$(PF)_i = 4.76 \text{ Ton}$$

Procediendo en forma similar para las profundidades posteriores, se obtuvieron los valores de la Tabla V.3.1

En las figuras V.3.1, V.3.2 y V.3.3, se grafican σ_i , S_{oi} y P_{fi} respectivamente.

TABLA V.3.2

Estrato mts	Restst. a la compresión qu Ton/m ²	$0,3qu=0,6C$ Ton/m ²
0-1	27.5	8.25
0-2	18.5	5.55
2-3	5.0	1.50
3-5	7.5	2.25
5-6.5	10.0	3.00
6.5-12	5.0	1.50
12-13	7.5	2.25
13-14	10.0	3.00
14-24	6.2	1.86
24-25.5	7.5	2.25
25.5-26.5	15.0	4.50
26.5-28.0	11.20	3.36
28-30	10.00	3.00
30-30.6	8.75	2.62

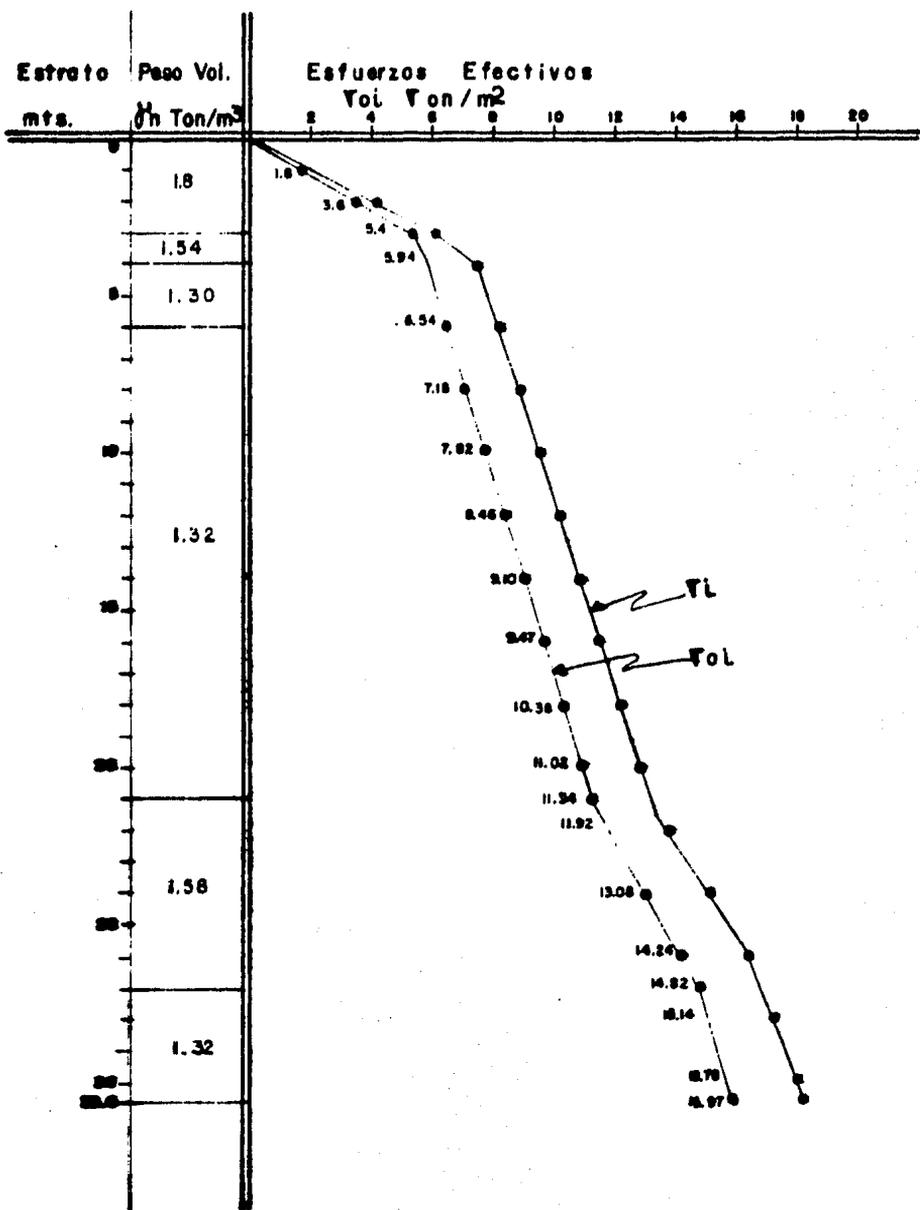


Fig. Y. 3.1 Diagrama de esfuerzo Vol y Tl

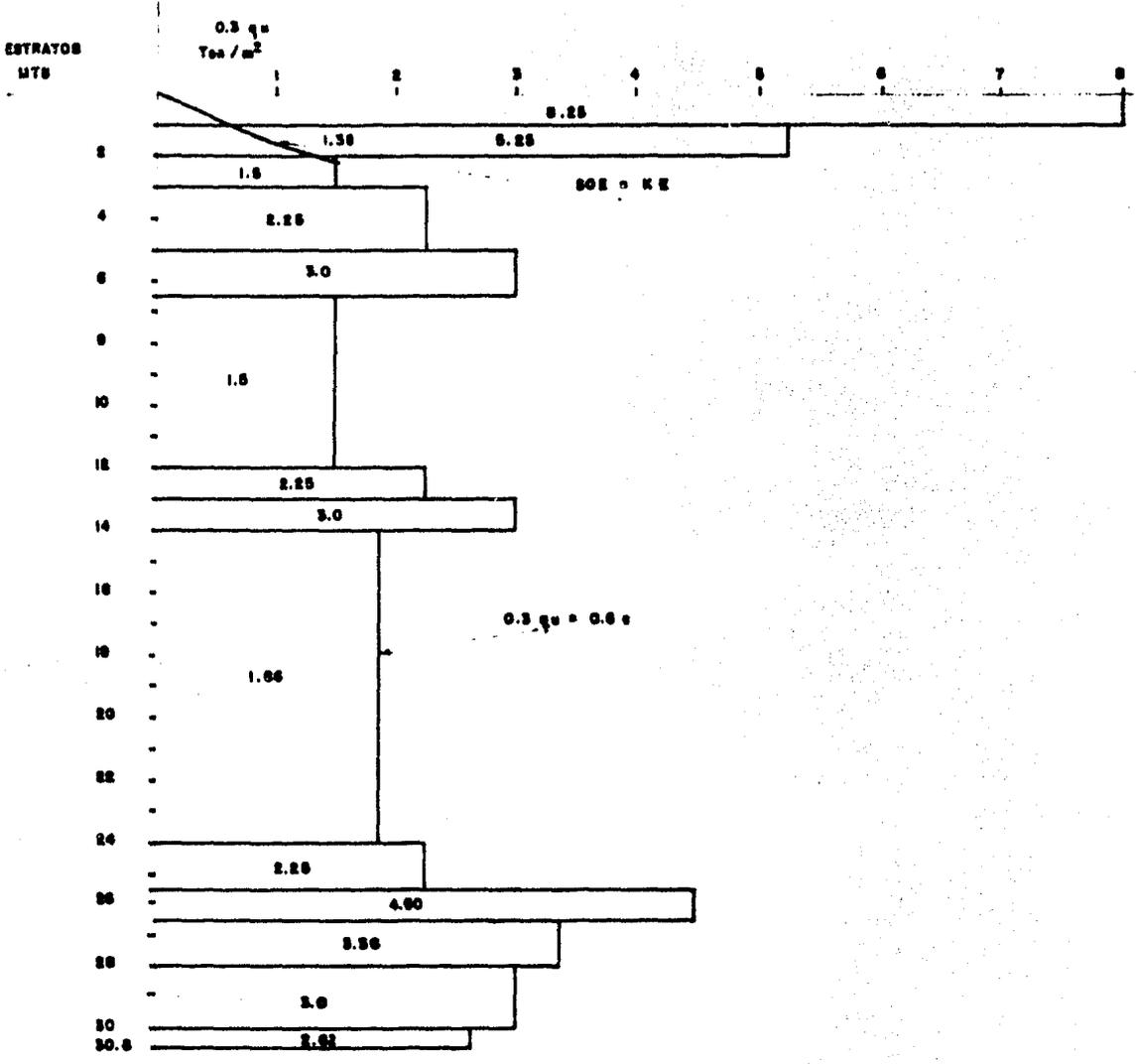


FIG. 3.2 Distribución de esfuerzos $Soz = 0.3 q_u = 0.6 c$ y $Soz = Kz$

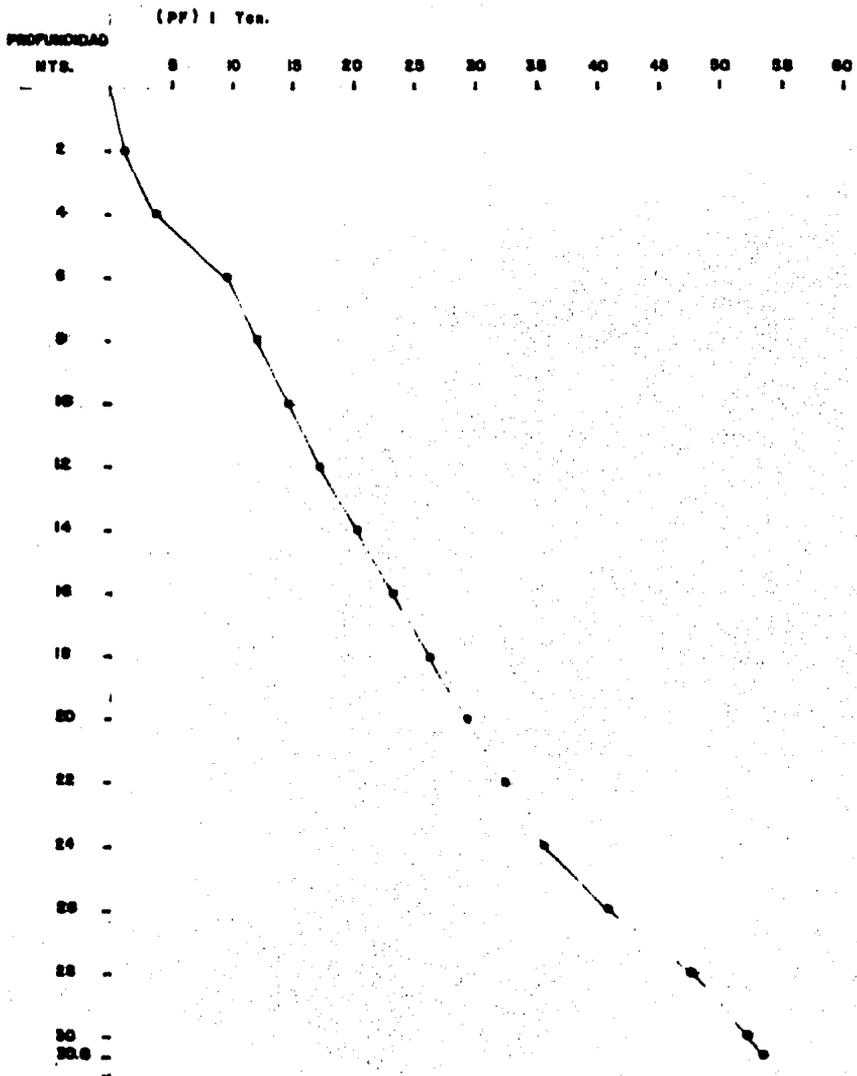


FIG. 3.3. Fricción positiva a lo largo del fuste del pilote (PF) i

CAPITULO VI

CONCLUSIONES:

En la tabla VI.1 se muestran las capacidades de carga obtenidos.

TABLA VI.1

Capacidades de carga en tons.

CASO	PRUEBA DE CARGA	METODO DE TOMLINSON	METODO DE ZEEVAERT
1	38.50	107.40	54.79
2	29.50	16.12	12.70
3	12.00	85.15	53.48

Como se puede apreciar las capacidades de carga obtenidas en las pruebas de carga para cada uno de los pilotos no guarda ninguna relación aceptable con las capacidades de carga calculadas por los dos métodos estudiados. El método de Tomlinson y el de Zeevaert, si guardan relación uno con respecto del otro, siendo el Método de Zeevaert más conservador con respecto al Método de Tomlinson en los 3 casos analizados.

En cada una de las pruebas de carga existen procedimientos diferentes para obtener la capacidad de carga de los pilotes, los cuales deben ser tomados en cuenta en el cálculo de la capacidad de carga de trabajo.

En el caso 1 la extracción de la camisa fue hecha inmediatamente después de terminar el hincado del pilote, -- por lo que se considera que la capacidad de carga es baja, -- ya que no tuvo tiempo el suelo de recobrar sus propiedades originales, y la adherencia entre pilote y suelo no se alcanzó a desarrollar completamente.

Para el caso 2 se hincó un pilote de madera de sección variable, considerando la capacidad por punta despreciable. Para el cálculo teórico se empleo en promedio de la sección del pilote lo cual podría ser una limitante en la comparación. Ya que se cree que un pilote de sección variable desarrolla mayor capacidad de carga, que uno de sección constante.

En el caso 3 no tiene limitantes dignas de mencionar.

Existen en el caso 1 y 2 algunos aspectos necesarios de considerar, pero aún así los cálculos teóricos andan muy distantes de las pruebas de carga que aún con sus limitantes son más confiables que los dos métodos teóricos estudiados.

El método de Tomlinson es un método empírico muy -- utilizado en la práctica y el método de Zeevaert es un método poco usado por su complejidad, pero con bases teóricas muy acertadas, sin embargo se recomienda utilizar pruebas de carga para el cálculo de pilotes a fricción positiva.

BIBLIOGRAFIA

- TOMLINSON M.J. *The Adhesion of Piles of Driven in Clay Soil.*
Memoria del IV Congreso Internacional de Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Londres, 1957.
- ZEEVAERT LEONARDO. *Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions, Second Edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 1983.*
- INSTITUTO MEXICANO DE COMERCIO EXTERIOR.
Pruebas de carga 1, 2 y 3. Preparada por SOLUM, S.A. Agosto 1974.
- SIDE O. HUTCHINSON N. LANDRA A.
"Short and Long Term Test Loading of a friction pile in clay"
Proc. 5th INT. Conf. on Soil Mech and Found. Ing. Paris 1961.
- RAUL M. MARZAL Y MARCOS MAZARI
El subsuelo de la Ciudad de México
Facultad de Ingeniería, UNAM, 1959.
- JUAREZ BADILLO Y RICO RODRIGUEZ.
Mecánica de Suelos Tomo II Segunda Edición
Limusa 1982.