



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE CIMENTACIONES CON PILOTES
DE FRICCION EN ARCILLA BLANDA.

T E S I S

Que para obtener el Título de:
INGENIERO CIVIL
P r e s e n t a:

MARIO ANDRES OÑATE OCAÑA

México, D. F.

1983





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.

ANALISIS DE CIMENTACIONES CON PILOTES DE FRICCION EN ARCILLA BLANDA

I.	INTRODUCCION	1
II.	USO DE PILOTES DE FRICCION	2
III.	CRITERIOS DE CAPACIDAD DE CARGA	4
	III.1 CRITERIO USUAL	5
	III.2 CRITERIOS LOCALES	6
IV.	CRITERIOS DE ANALISIS DE ASENTAMIENTOS	12
	IV.1 CRITERIO DE PECK	13
	IV.2 CRITERIO DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL	14
V.	APLICACION PRACTICA	19
	V.1 DATOS DEL PROYECTO	19
	V.2 ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO	20
	V.3 SELECCION DEL TIPO DE CIMENTACION	33
	V.4 ANALISIS DE CAPACIDAD DE CARGA	35
	V.5 ANALISIS DE ASENTAMIENTOS	56
VI.	RESULTADOS	78
	VI.1 CAPACIDAD DE CARGA	79
	VI.2 ASENTAMIENTOS	79
VII.	CONCLUSIONES	80
VIII.	REFERENCIAS	83

I. INTRODUCCION

Se pretende exponer y comentar los criterios de análisis más comunmente aplicados en cimentaciones con pilotes de fricción, para ello se toma como muestra el caso real del estudio de la cimentación de un edificio en la zona del lago de la Ciudad de México.

En el trabajo se estima la capacidad de carga a partir de cinco criterios, comparando los resultados; para estimar los asentamientos se aplican dos criterios usuales y también se comparan los resultados. Desafortunadamente, no existen mediciones de asentamientos del edificio que permitan calificar esos criterios.

En virtud de la finalidad del trabajo, los datos del proyecto y del subsuelo, incluyendo la exploración de campo y análisis de laboratorio se presentan en forma resumida en el capítulo V.

II. USO DE PILOTES DE FRICCIÓN

Cuando los estratos superficiales de suelo no tienen la capacidad necesaria para soportar las cargas que le transmitirá la cimentación de una estructura, o cuando la capacidad es tal que puede soportar las cargas, pero con deformaciones que provoquen daños a la propia estructura, a las estructuras vecinas o a los servicios públicos, se recurre al uso de cimentaciones profundas.

Pueden utilizarse cajones para compensar parcial o totalmente el peso de la estructura; sin embargo, al encontrarse suelos muy compresibles y de baja resistencia al corte, en espesores grandes, se presentan problemas de diseño y construcción y se requiere un procedimiento constructivo rigurosamente planeado y controlado.

Como alternativa pueden utilizarse pilotes o pilas trabajando por punta, es decir, apoyados en estratos de gran capacidad de carga que subyacen a los estratos compresibles superficiales. Esta solución puede resultar

inadecuada al encontrarse estos estratos a una profundidad grande (>50 m), o cuando los estratos compresibles se encuentran sujetos a consolidación regional (como es el caso de la Ciudad de México), lo que provoca una disminución de la capacidad de carga por punta y un incremento en la carga que soportan los pilotes debido a la fricción negativa que se genera; además la estructura emergerá respecto al terreno circundante, provocando daños a construcciones vecinas y a los servicios públicos.

La mejor opción para cimentar estructuras en estas condiciones son los pilotes de fricción, ya que al consolidarse los estratos sujetos a hundimiento regional, la cimentación teóricamente sigue el movimiento del suelo. Aunque su uso está limitado por las deformaciones que producen las cargas de la estructura, en la Ciudad de México se ha visto que cuando la carga sobre los pilotes es mayor que 8 t/m^2 los asentamientos son grandes.

III. CRITERIOS DE CAPACIDAD DE CARGA

En la literatura pueden encontrarse varios criterios para el cálculo de la capacidad de carga de pilotes de fricción en arcilla.

Los criterios varían en dos aspectos principalmente: la determinación de la fricción que puede desarrollarse entre el suelo y el fuste y la distribución de dicha fricción a lo largo de los pilotes.

Para determinar la fricción que puede desarrollarse entre el suelo y el fuste del pilote, se proponen factores que en forma simplificada toman en cuenta la resistencia al esfuerzo cortante del suelo determinada en laboratorio. También suelen realizarse pruebas de carga para determinar directamente la fricción que puede desarrollar un pilote.

Como la resistencia al corte frecuentemente no es constante con la profundidad, sobre todo en suelos estratificados, la fricción unitaria media para una longitud de pilote fija se estima considerando para cada estrato

sus características individuales y tomando un promedio geométrico.

Es importante mencionar que cuando se realiza el estudio de Mecánica de Suelos para una estructura cuyas características, función o costo lo ameriten, será necesario realizar pruebas de carga para determinar en forma más rigurosa la capacidad de carga por fricción de un pilote.

Aunque recientemente algunos métodos tratan de considerar, en forma simple, efectos tales como la consolidación regional de la zona del lago de la Ciudad de México, la mayoría de los métodos sobresimplifican los factores que intervienen.

III.1 CRITERIO USUAL

El criterio usual consiste en suponer que la fricción unitaria (f_s) que puede desarrollarse entre pilote y suelo, es una función de la cohesión (C_a) de éste, es decir:

$$f_s = f(C_a)$$

En suelos cohesivos blandos, se acepta por experiencia que:

$$f_s = C_a$$

y que:

$$C_a = \frac{q_u}{2}$$

donde q_u es la resistencia a la compresión simple; entonces:

$$f_s = \frac{q_u}{2}$$

con un factor de seguridad F.S. = 2

$$\overline{f_s} = \frac{q_u}{4}$$

En general puede utilizarse el criterio de Tomlinson (Ref 1), que a partir de pruebas de carga y ensayos de laboratorio propone para suelos de diferente consistencia relativa, los siguientes valores para la adherencia última pilote-suelo. Este criterio parte de la resistencia a la compresión simple de muestras del suelo del sitio en estudio, toma en cuenta el material del que está hecho el pilote y supone que la fricción entre pilote y suelo es constante con el tiempo.

Material del pilote	Resistencia a la compresión no confinada (q_u , t/m^2)	Adherencia última pilote-suelo (t/m^2)
Concreto y Madera:	0.0 - 7.5	0.0 - 3.5
	7.5 - 15.0	3.5 - 5.0
	15.0 - 30.0	5.0 - 6.5
	más de 30.0	6.5
Acero:	0.0 - 7.5	0.0 - 3.5
	7.5 - 15.0	3.5 - 5.0
	15.0 - 30.0	5.0 - 6.0
	más de 30.0	6.0

Estos valores se aplican a cada uno de los estratos de suelo involucrado.

III.2. CRITERIOS LOCALES

CRITERIO PROPUESTO EN LA V REUNION DE LA S.M.M.S.

Para determinar la capacidad de carga de un pilote de fricción, en dicha Reunión se propusieron valores para la fricción unitaria suelo-pilote, obtenidos de experiencias en las arcillas de la Ciudad de México. Se ha

observado que los valores siguientes son independientes del tipo de pilote usado, o del material del que está hecho.

Para arcillas normalmente consolidadas:

$$f = 0.6 q_u$$

Para arcillas preconsolidadas:

$$f = 0.3 q_u$$

donde q_u es la resistencia no consolidada no drenada (compresión simple).

Se considera la fricción constante a lo largo del fuste, o puede dividirse la longitud del pilote en tramos, de acuerdo a las propiedades del sub suelo.

CRITERIO DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL.

En el citado reglamento se propone que la fricción unitaria que puede desarrollarse entre suelo y fuste es:

$$f = C$$

donde C es la cohesión reducida en el estrato; el valor de C se obtiene de:

$$C = \alpha C^*$$

$$\text{para: } q_u < 5 \text{ t/m}^2 \quad \alpha = 0.67$$

$$q_u > 5 \text{ t/m}^2 \quad \alpha = 1.0$$

donde C^* es la cohesión medida de la envolvente de los círculos de Mohr a la falla del suelo, en la prueba de resistencia que se considere más representativa del suelo in situ.

En el método se propone utilizar como capacidad de carga de diseño el menor

de los valores que resulta al analizar:

- La suma de la capacidad de carga de los pilotes individuales.
- La suma de la capacidad de carga de los diversos grupos de pilotes en los que puede subdividirse la cimentación.
- La capacidad de carga de la pila de geometría igual a la envolvente de todo el conjunto de pilotes.

CRITERIO DE ZEEVAERT

Zeevaert (Ref. 4), en su análisis de capacidad de carga para pilotes de fricción, considera que la fricción que puede desarrollarse a lo largo del fuste del pilote es variable con la profundidad y depende del esfuerzo horizontal efectivo existente a la profundidad dada. Este método fué desarrollado tomando en cuenta factores que otros métodos desprecian y trata de evaluar, utilizando hipótesis simplificadoras, el fenómeno físico que se presenta en la realidad; asimismo, se dan los lineamientos necesarios para usarlo en forma racional, presentando sus limitaciones de orden teórico.

En el cálculo puede considerarse la influencia de los pilotes que están cerca del pilote en estudio, o calcularse la capacidad de carga suponiendo que el pilote se encuentra aislado.

En este criterio se piensa en un material remodelado que circundará al pilote, pues durante la hinca se desplaza un volumen de suelo igual al del pilote hincado; durante el hincado se incrementan las presiones de poro, y la resistencia al corte del suelo disminuye hasta hacerse nula práctica-

mente, pero al filtrarse el agua hacia el suelo que rodea la zona afectada o hacia el pilote si éste es de madera o concreto, el suelo se consolida hacia el fuste, y con el tiempo recupera prácticamente su resistencia original.

El espesor de suelo remodelado durante la hincada es de $\sqrt{2} r_0$ a partir del eje del pilote (r_0 es el radio del pilote). La fricción lateral entre suelo y pilote puede ser mayor que la resistencia al corte del suelo remodelado; la mínima resistencia al corte se presenta a $1.1 r_0$ del eje del pilote; esto se demuestra durante pruebas de extracción de pilotes, cuando parte del suelo sale adherida al fuste, por lo que la superficie de falla debe considerarse a $1.1 r_0$ del eje y no en la interfase pilote-suelo.

Cuando se realiza una prueba de carga hasta la falla, se desarrolla íntegramente la fricción entre pilote y suelo, pero al trabajar el pilote a una capacidad afectada por un adecuado factor de seguridad, debe considerarse que en cada estrato se desarrolla una fricción de acuerdo con su rigidez.

El espaciamiento entre pilotes es un factor determinante en el diseño de grupos de pilotes, ya que de él depende el valor del área tributaria de cada uno.

Desarrollo teórico:

El esfuerzo cortante entre suelo y pilote en un elemento Δz a la profundidad Z es (fig 1):

$$S_{oi} = C'_i + K_{\phi i} \frac{\sigma_i + \sigma_{i-1}}{2} \quad \dots \quad (1)$$

El esfuerzo cortante último transferido a la masa de suelo es:

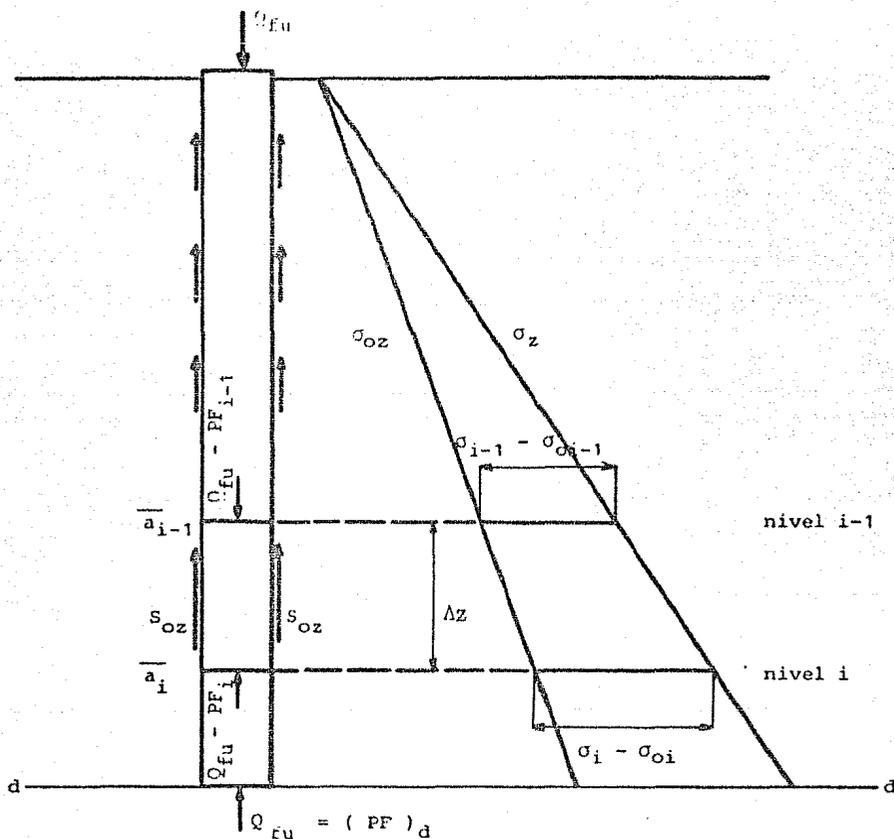


Fig 1.a Incremento de esfuerzo vertical debido a la fricción positiva.

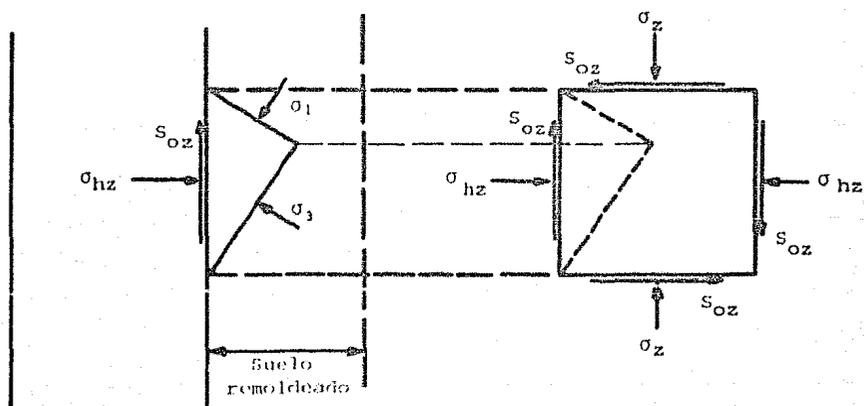


Fig 1.b Estado de esfuerzos entre suelo y pilote.

$$(\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i - (\sigma_{i-1} - \sigma_{oi-1}) \bar{a}_{i-1} = \bar{w} S_{oi} \Delta Z_i \quad . . . \quad (2)$$

y la interacción entre fricción positiva y esfuerzo vertical está dada por:

$$(PF)_{i-1} = (\sigma_{i-1} - \sigma_{oi-1}) \bar{a}_{i-1} \quad . . . \quad (3)$$

y:

$$(PF)_i = (\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i \quad . . . \quad (4)$$

Se determina el valor de σ_i , a partir de la profundidad $Z = 0$, donde

$(PF)_{i-1} = 0$, y $\sigma_{i-1} = \sigma_{oi}$ son conocidos.

Substituyendo las expresiones (1) y (3) en (2):

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

Conocido el valor de σ_i se determina $(PF)_i$, con ellos el siguiente valor de σ_{i+1} y $(PF)_{i+1}$, y así sucesivamente hasta la punta del pilote.

Debe tenerse en cuenta que la fricción positiva máxima que se desarrolla - entre el suelo y el fuste, o en la superficie de falla considerada, no puede ser mayor que la resistencia al corte del suelo, es decir existe un límite superior que para fines prácticos, deberá considerarse como:

$$(PF)_i (\max) = 0.3 q_{u_i}$$

donde: $(PF)_i$ es la fricción positiva en el tramo i

q_{u_i} es la resistencia a la compresión no confinada no drenada, en el tramo i (valor medio)

IV. CRITERIOS DE ANALISIS DE ASENTAMIENTOS

El diseño de cimentaciones sobre pilotes de fricción se rige por los aspectos de estabilidad y deformación del suelo, siendo en este caso particularmente importante el segundo aspecto mencionado; ya sean totales o diferenciales, siendo muy difícil realizar predicciones acertadas al respecto. Esta dificultad proviene de dos factores principalmente. El primero es de tipo numérico, pues resulta difícil estudiar el incremento de esfuerzos en el suelo mediante la integración numérica de la solución de Mindlin, que plantea el problema de una carga aplicada dentro de la masa de suelo. Comúnmente el cálculo se realiza a partir de la solución de Boussinesq, en la que el problema se plantea suponiendo que se aplica la carga en la superficie de la masa de suelo. El segundo factor es la interacción pilote-suelo que resulta compleja, por ser tan sensible a las relaciones esfuerzo-deformación-tiempo del suelo.

Los diseñadores coinciden en que no conviene utilizar la solución de Mindlin, ya que se utilizan hipótesis burdas al suponer una transferencia de carga entre pilotes y suelo. Por otra parte, deben tomarse en cuenta las deformaciones inducidas por factores independientes de las cargas de la cimentación, tales como las debidas a consolidación regional o al incremento de presiones de poro durante la hinca de los pilotes, rigidez de la subestructura y comportamiento del conjunto de pilotes. A continuación se describen los métodos más usuales para el análisis de asentamientos de estructuras apoyadas en pilotes de fricción. Debe tenerse en cuenta que no son métodos exactos, que con ellos puede estimarse el orden de magnitud de los asentamientos, y que comunmente los errores están del lado de la seguridad.

IV.1. CRITERIO DE PECK

El método más usado es el de Peck, que consiste en suponer que la carga total se transmite al suelo, a una profundidad igual a dos tercios de la longitud de los pilotes, como si se tratara de una pila. Para determinar la distribución de incremento de esfuerzos se considera la carga total uniformemente distribuida, a diferentes profundidades, sobre un área equivalente definida por líneas de pendiente $+ 2$, en dos direcciones a partir del tercio inferior de los pilotes. El estrato compresible se considera a partir del plano de aplicación de la carga (tercio inferior de los pilotes). Para el caso de la Ciudad de México, se ha observado que el asentamiento así calculado es mayor que el real. Este método no toma en cuenta el número o tipo de pilotes que forman la cimentación, la separación entre ellos o la forma y material de que están hechos.

La deformación del suelo se calcula, conocido el incremento de esfuerzo en el suelo que, evidentemente, se irá reduciendo con la profundidad, a partir de la teoría de la consolidación de Terzaghi.

Al utilizarse este método deben considerarse las dimensiones de zapatas y losa de cimentación con el propósito de visualizar los bulbos de presiones que originará la carga, y su efecto en el espesor y profundidad del estrato compresible. A este respecto se transcribe a continuación un párrafo de la ref. 1: "...la hinca de pilotes equivale al reemplazo del subsuelo por un material prácticamente incompresible, que se extiende desde el cabezal de los pilotes hasta una profundidad igual a dos tercios de la longitud de los mismos. Si esta profundidad es varias veces mayor que el ancho de las zapatas o cabezales y éstos están muy separados entre sí, el asentamiento de la fundación sobre pilotes será pequeño, por malo que sea el suelo. Pero, si por el contrario, dicha profundidad es mucho menor que el área cargada y esta área es grande, el asentamiento final puede resultar excesivo aún bajo carga muy moderada. Estas conclusiones han sido confirmadas repetidamente por la experiencia."

IV.2 CRITERIO DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL

En el reglamento de construcciones para el D.F. (Ref. 3) se propone un método para calcular las deformaciones inducidas en el suelo por un conjunto de pilotes. Este método se basa en dos hipótesis:

- 1a. La densidad de pilotes es suficientemente grande y uniforme en toda el área de cimentación para que pueda considerarse que el sistema de cargas impuesto al suelo por la punta de los pilotes

y cada diferencial de longitud del conjunto es equivalente a una carga de la misma magnitud total, distribuida uniformemente, a la profundidad correspondiente, en el área del conjunto.

2a. Se considera que la deformación inducida en el suelo es predominantemente vertical, debida al incremento de esfuerzos en esa dirección.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Se considera como zona compresible la comprendida entre el nivel neutro y la máxima profundidad a la que existen suelos compresibles. (Se conoce como nivel neutro aquel a partir del cual existe fricción positiva por penetración del pilote).

La profundidad del nivel neutro se obtiene al satisfacer la siguiente igualdad:

$$Q = C_p + F_{nnpp}^+$$

donde: Q es la carga total tomada por la cabeza de los pilotes.

C_p es la capacidad de carga por punta de los pilotes.

F_{nnpp}^+ es la fricción positiva que puede desarrollarse entre el nivel neutro y la punta de los pilotes.

Debe considerarse en el segundo factor el valor mínimo de los obtenidos al considerar:

Pilotes individuales

Grupos de pilotes

El conjunto de pilotes

$$C_p = N\{C (N'c) Fr + P_v\}A_p$$

donde: N Es el número de pilotes
 C Cohesión a nivel de la punta de los pilotes
 N'c Factor de capacidad de carga
 Pv Presión vertical
 Ap Area de los pilotes

$$F_{npp}^+ = N \bar{C} p l_e$$

donde: N Es el número de pilotes
 \bar{C} Es la cohesión reducida en el estrato
 p Es el perímetro del pilote
 l_e Es la longitud efectiva del pilote, en donde se desarrolla fricción positiva y es igual al tramo comprendido entre el nivel neutro y la punta del pilote.

Se determinan los incrementos de esfuerzo vertical en varios puntos; se divide el estrato compresible en tramos y se considera aplicada al nivel medio de cada tramo i una presión uniforme P_i , en toda el área piloteada:

$$P_i = \frac{F_i^+}{A} I$$

donde: F_i^+ Es la fricción positiva que puede desarrollarse en el tramo i
 I Coeficiente de la tabla 1
 A Area del conjunto

Al nivel de la punta de los pilotes, se aplica una presión uniforme P_p :

$$P_p = \frac{C_p}{A} I$$

donde: C_p Es la capacidad de carga por punta.

Se calculan los incrementos de esfuerzo vertical abajo del nivel de aplicación de cada carga mediante la solución de Boussinesq.

Tabla 1 Valores de I

z/r	I
0	1.00
1	0.70
2	0.56
3	0.54
∞	0.50

Donde: Z Profundidad del plano de aplicación de la carga medida desde la superficie.

$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ Radio equivalente del área cargada.

TABLA 2 Presión vertical σ_z bajo la esquina de un rectángulo axb cargado uniformemente con intensidad q (valores de σ_z/q para valores de $m=a/z$ y $n=b/z$) (ref 2)

m/n	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	∞	
0.1	0.004 7	0.009 2	0.013 2	0.016 8	0.019 8	0.022 2	0.024 2	0.025 8	0.027 0	0.027 9	0.029 1	0.030 1	0.030 6	0.030 9	0.031 1	0.031 4	0.031 5	0.031 6	0.031 6	0.031 6	0.031 6	0.031 6	0.031 6	0.031 6
0.2	0.009 2	0.017 5	0.025 9	0.032 8	0.038 7	0.043 5	0.047 4	0.050 4	0.052 8	0.054 7	0.057 1	0.058 9	0.059 9	0.060 6	0.061 0	0.061 6	0.061 8	0.061 9	0.062 0	0.062 0	0.062 0	0.062 0	0.062 0	0.062 0
0.3	0.013 2	0.023 9	0.037 4	0.047 4	0.055 9	0.062 9	0.068 6	0.073 1	0.076 6	0.079 4	0.083 2	0.085 6	0.087 1	0.088 0	0.088 7	0.089 5	0.089 8	0.090 1	0.090 1	0.090 2	0.090 2	0.090 2	0.090 2	0.090 2
0.4	0.016 8	0.031 8	0.047 4	0.060 2	0.071 1	0.080 1	0.087 3	0.093 1	0.097 7	0.101 3	0.106 1	0.109 4	0.112 6	0.115 4	0.117 6	0.119 4	0.120 8	0.121 5	0.121 8	0.121 8	0.121 8	0.121 8	0.121 8	0.121 8
0.5	0.019 8	0.038 7	0.055 9	0.071 1	0.084 0	0.094 7	0.103 4	0.110 4	0.115 8	0.120 2	0.126 3	0.130 0	0.132 4	0.134 0	0.135 0	0.136 3	0.136 8	0.137 2	0.137 4	0.137 4	0.137 4	0.137 4	0.137 4	0.137 4
0.6	0.022 2	0.043 5	0.062 9	0.082 0	0.094 7	0.106 9	0.116 8	0.124 7	0.131 1	0.136 1	0.143 1	0.147 5	0.150 3	0.152 1	0.153 3	0.154 8	0.155 5	0.156 0	0.156 1	0.156 2	0.156 2	0.156 2	0.156 2	0.156 2
0.7	0.024 2	0.047 4	0.068 6	0.087 3	0.103 4	0.116 8	0.127 7	0.136 5	0.143 6	0.149 1	0.157 0	0.162 0	0.165 2	0.167 2	0.168 6	0.170 4	0.171 1	0.171 7	0.171 9	0.171 9	0.172 0	0.172 0	0.172 0	0.172 0
0.8	0.025 8	0.050 4	0.073 1	0.093 1	0.110 4	0.124 7	0.136 5	0.146 1	0.153 7	0.159 8	0.168 4	0.173 9	0.177 4	0.179 7	0.181 2	0.183 2	0.184 1	0.184 7	0.184 9	0.185 0	0.185 0	0.185 0	0.185 0	0.185 0
0.9	0.027 0	0.052 8	0.076 8	0.097 7	0.115 8	0.131 1	0.143 6	0.153 7	0.161 9	0.168 4	0.177 7	0.183 6	0.187 4	0.189 9	0.191 5	0.193 8	0.194 7	0.195 4	0.195 6	0.195 7	0.195 7	0.195 7	0.195 7	0.195 7
1.0	0.027 9	0.054 7	0.079 4	0.101 3	0.120 2	0.136 1	0.149 1	0.159 8	0.168 4	0.175 2	0.183 1	0.191 4	0.195 5	0.198 1	0.199 9	0.202 4	0.203 4	0.204 2	0.204 4	0.204 4	0.204 4	0.204 4	0.204 4	0.204 4
1.2	0.029 3	0.057 3	0.083 2	0.106 3	0.126 3	0.143 1	0.157 0	0.168 4	0.177 7	0.185 1	0.193 8	0.202 8	0.207 3	0.210 3	0.211 1	0.211 8	0.212 6	0.213 0	0.213 3	0.213 3	0.213 3	0.213 3	0.213 3	0.213 3
1.4	0.030 1	0.058 9	0.085 4	0.109 4	0.130 0	0.147 5	0.162 0	0.173 9	0.183 6	0.191 4	0.202 8	0.210 2	0.215 1	0.218 4	0.220 6	0.223 6	0.225 0	0.226 0	0.226 3	0.226 3	0.226 3	0.226 3	0.226 3	0.226 3
1.6	0.030 6	0.059 9	0.087 1	0.111 4	0.132 4	0.150 3	0.165 2	0.177 4	0.187 4	0.195 5	0.207 3	0.215 1	0.220 3	0.223 7	0.226 1	0.229 4	0.230 9	0.231 0	0.231 4	0.231 4	0.231 4	0.231 4	0.231 4	0.231 4
1.8	0.030 9	0.060 6	0.088 0	0.112 6	0.134 0	0.153 1	0.168 2	0.179 7	0.189 9	0.198 9	0.210 3	0.218 4	0.223 7	0.227 4	0.229 9	0.233 3	0.235 0	0.236 0	0.236 4	0.236 4	0.236 4	0.236 4	0.236 4	0.236 4
2	0.031 1	0.061 0	0.088 7	0.113 4	0.135 0	0.153 3	0.168 6	0.181 2	0.191 5	0.199 9	0.212 4	0.220 6	0.226 1	0.229 9	0.233 5	0.236 1	0.237 8	0.239 1	0.239 5	0.239 7	0.239 8	0.239 8	0.239 8	0.239 8
2.5	0.031 4	0.061 6	0.089 5	0.114 5	0.136 3	0.154 8	0.170 4	0.183 2	0.193 8	0.202 4	0.215 1	0.223 6	0.229 4	0.233 3	0.236 2	0.240 4	0.242 0	0.243 4	0.243 9	0.244 1	0.244 1	0.244 1	0.244 1	0.244 1
3	0.031 5	0.061 8	0.089 8	0.115 0	0.136 8	0.155 5	0.161 1	0.184 1	0.194 7	0.203 4	0.216 3	0.223 0	0.229 9	0.233 0	0.237 8	0.242 0	0.243 9	0.245 5	0.246 1	0.246 3	0.246 3	0.246 3	0.246 3	0.246 3
4	0.031 6	0.061 9	0.090 1	0.115 3	0.137 2	0.156 0	0.171 7	0.184 7	0.195 4	0.204 2	0.217 2	0.226 0	0.232 0	0.236 0	0.239 1	0.243 4	0.245 5	0.247 3	0.247 9	0.248 2	0.248 2	0.248 2	0.248 2	0.248 2
5	0.031 6	0.062 0	0.090 1	0.115 4	0.137 4	0.156 1	0.171 9	0.184 9	0.195 6	0.204 4	0.217 5	0.226 3	0.232 4	0.236 4	0.239 5	0.243 9	0.246 1	0.247 5	0.248 6	0.248 9	0.249 1	0.249 1	0.249 1	0.249 1
6	0.031 6	0.062 0	0.090 2	0.115 4	0.137 4	0.156 2	0.171 9	0.185 0	0.195 7	0.204 5	0.217 6	0.226 4	0.232 5	0.236 5	0.239 7	0.244 1	0.246 3	0.247 8	0.248 9	0.249 2	0.249 2	0.249 2	0.249 2	0.249 2
8	0.031 6	0.062 0	0.090 2	0.115 4	0.137 4	0.156 2	0.172 0	0.185 0	0.195 7	0.204 6	0.217 7	0.226 5	0.232 6	0.236 6	0.239 8	0.244 3	0.246 5	0.248 4	0.249 1	0.249 4	0.249 4	0.249 4	0.249 4	0.249 4
10	0.031 6	0.062 0	0.090 2	0.115 4	0.137 5	0.156 2	0.172 0	0.185 0	0.195 8	0.204 6	0.217 7	0.226 5	0.232 6	0.236 6	0.239 9	0.244 3	0.246 5	0.248 4	0.249 1	0.249 5	0.249 5	0.249 5	0.249 5	0.249 5
∞	0.031 6	0.062 0	0.090 2	0.115 4	0.137 5	0.156 2	0.172 0	0.185 0	0.195 8	0.204 6	0.217 7	0.226 6	0.232 6	0.236 6	0.239 9	0.244 3	0.246 5	0.248 5	0.249 2	0.249 5	0.249 5	0.249 5	0.249 5	0.249 5

Tabla 1 Valores de I

Z/z	I
0	1.00
1	0.70
2	0.56
3	0.54
∞	0.50

Donde: Z Profundidad del plano de aplicación de la carga medida desde la superficie.

$r = \frac{A}{\pi}$ Radio equivalente del área cargada.

TABLA 2 Presión vertical σ_z bajo la esquina de un rectángulo $a \times b$ cargado uniformemente con intensidad q (valores de σ_z/q para valores de $m=a/z$ y $n=b/z$) (ref 2)

m/n	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	∞	
0.1	0.0047	0.0092	0.0132	0.0168	0.0198	0.0222	0.0242	0.0258	0.0270	0.0279	0.0291	0.0301	0.0306	0.0309	0.0311	0.0314	0.0315	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316
0.2	0.0092	0.0179	0.0259	0.0328	0.0387	0.0435	0.0474	0.0504	0.0528	0.0547	0.0571	0.0586	0.0599	0.0606	0.0610	0.0616	0.0618	0.0619	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620
0.3	0.0132	0.0259	0.0374	0.0474	0.0559	0.0629	0.0686	0.0731	0.0766	0.0794	0.0812	0.0826	0.0837	0.0846	0.0851	0.0855	0.0858	0.0860	0.0861	0.0862	0.0862	0.0862	0.0862	0.0862
0.4	0.0168	0.0328	0.0474	0.0602	0.0711	0.0801	0.0873	0.0931	0.0977	0.1013	0.1041	0.1061	0.1074	0.1084	0.1091	0.1095	0.1098	0.1099	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100
0.5	0.0198	0.0387	0.0559	0.0711	0.0840	0.0947	0.1034	0.1104	0.1158	0.1202	0.1236	0.1261	0.1279	0.1290	0.1298	0.1303	0.1306	0.1307	0.1308	0.1308	0.1308	0.1308	0.1308	0.1308
0.6	0.0222	0.0435	0.0629	0.0801	0.0947	0.1069	0.1168	0.1247	0.1311	0.1361	0.1401	0.1431	0.1452	0.1468	0.1478	0.1484	0.1487	0.1489	0.1490	0.1490	0.1490	0.1490	0.1490	0.1490
0.7	0.0242	0.0474	0.0686	0.0873	0.1034	0.1168	0.1277	0.1365	0.1436	0.1491	0.1530	0.1561	0.1584	0.1600	0.1612	0.1620	0.1625	0.1628	0.1629	0.1629	0.1629	0.1629	0.1629	0.1629
0.8	0.0258	0.0504	0.0731	0.0931	0.1104	0.1247	0.1365	0.1461	0.1537	0.1598	0.1644	0.1684	0.1719	0.1746	0.1764	0.1774	0.1780	0.1782	0.1783	0.1783	0.1783	0.1783	0.1783	0.1783
0.9	0.0270	0.0528	0.0766	0.0977	0.1158	0.1311	0.1436	0.1537	0.1619	0.1684	0.1737	0.1786	0.1824	0.1854	0.1876	0.1891	0.1898	0.1901	0.1902	0.1902	0.1902	0.1902	0.1902	0.1902
1.0	0.0279	0.0547	0.0794	0.1013	0.1202	0.1361	0.1491	0.1598	0.1684	0.1752	0.1811	0.1851	0.1881	0.1904	0.1921	0.1931	0.1937	0.1940	0.1941	0.1941	0.1941	0.1941	0.1941	0.1941
1.2	0.0291	0.0571	0.0812	0.1034	0.1263	0.1431	0.1570	0.1684	0.1777	0.1851	0.1911	0.1951	0.1981	0.2002	0.2018	0.2028	0.2034	0.2037	0.2038	0.2038	0.2038	0.2038	0.2038	0.2038
1.4	0.0301	0.0589	0.0837	0.1059	0.1300	0.1473	0.1620	0.1733	0.1836	0.1914	0.2021	0.2102	0.2151	0.2184	0.2206	0.2231	0.2250	0.2260	0.2263	0.2264	0.2264	0.2264	0.2264	0.2264
1.6	0.0306	0.0599	0.0871	0.1114	0.1324	0.1503	0.1652	0.1774	0.1874	0.1953	0.2073	0.2151	0.2203	0.2237	0.2261	0.2279	0.2290	0.2293	0.2294	0.2294	0.2294	0.2294	0.2294	0.2294
1.8	0.0309	0.0606	0.0880	0.1126	0.1340	0.1521	0.1672	0.1797	0.1899	0.1981	0.2101	0.2184	0.2237	0.2274	0.2299	0.2313	0.2320	0.2321	0.2321	0.2321	0.2321	0.2321	0.2321	0.2321
2.0	0.0311	0.0610	0.0887	0.1134	0.1350	0.1533	0.1684	0.1812	0.1915	0.1999	0.2124	0.2206	0.2261	0.2299	0.2315	0.2324	0.2328	0.2329	0.2329	0.2329	0.2329	0.2329	0.2329	0.2329
2.5	0.0314	0.0616	0.0895	0.1145	0.1363	0.1548	0.1704	0.1832	0.1938	0.2024	0.2151	0.2236	0.2294	0.2333	0.2362	0.2380	0.2389	0.2390	0.2390	0.2390	0.2390	0.2390	0.2390	0.2390
3.0	0.0315	0.0618	0.0898	0.1150	0.1368	0.1555	0.1711	0.1841	0.1947	0.2034	0.2161	0.2248	0.2309	0.2350	0.2378	0.2396	0.2405	0.2406	0.2406	0.2406	0.2406	0.2406	0.2406	0.2406
4.0	0.0316	0.0619	0.0901	0.1153	0.1372	0.1560	0.1717	0.1847	0.1954	0.2042	0.2172	0.2260	0.2324	0.2368	0.2397	0.2415	0.2424	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425
5.0	0.0316	0.0620	0.0901	0.1154	0.1374	0.1561	0.1719	0.1849	0.1956	0.2044	0.2175	0.2263	0.2328	0.2374	0.2399	0.2417	0.2426	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427
6.0	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1374	0.1562	0.1719	0.1850	0.1957	0.2045	0.2176	0.2264	0.2329	0.2376	0.2401	0.2419	0.2428	0.2428	0.2428	0.2428	0.2428	0.2428	0.2428	0.2428
8.0	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1374	0.1562	0.1720	0.1850	0.1957	0.2046	0.2177	0.2265	0.2330	0.2378	0.2399	0.2417	0.2426	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427
10.0	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1375	0.1562	0.1720	0.1850	0.1958	0.2046	0.2177	0.2265	0.2330	0.2378	0.2399	0.2417	0.2426	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427
∞	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1375	0.1562	0.1720	0.1850	0.1958	0.2046	0.2177	0.2265	0.2330	0.2378	0.2399	0.2417	0.2426	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427	0.2427

Se consideran aplicadas en cada tramo considerado descargas uniformes de valor d_i :

$$d_i = \frac{F_i^+}{A} (1 - I)$$

y una descarga de valor d_p al nivel de la punta de los pilotes:

$$d_p = \frac{C_p}{A} (1 - I)$$

Estas descargas resultan de sentido contrario a las cargas primeramente obtenidas. En la siguiente fase de cálculo se determinan los cambios de esfuerzo vertical en los puntos arriba de los niveles de aplicación de d_i y d_p mediante la solución de Boussinesq.

El cálculo de los incrementos netos de esfuerzo vertical, resulta de la suma algebraica de incrementos y decrementos debidos a las cargas de los distintos tramos en que se dividió la longitud de los pilotes y a la carga por punta

Finalmente se determinan los asentamientos bajo cualquier punto de la cimentación sumando las deformaciones verticales del suelo producidas por los incrementos de esfuerzo, previamente calculados a lo largo de la vertical del punto de interés. Dicha suma de deformaciones se hace dentro de la zona que se considera compresible.

V. APLICACION PRACTICA

Con la finalidad de establecer una comparación racional de los métodos aquí expuestos, a continuación se hace un análisis práctico de un problema real, en donde el objetivo final será el establecimiento de un criterio que nos permita la selección de uno de ellos para un problema dado.

V.1. DATOS DEL PROYECTO

Se proyecta construir un edificio en la zona céntrica de la Ciudad de México, dentro de la zona de alta compresibilidad, que está sujeta a hundimiento regional del orden de 7 cm/año. De la historia de hundimientos con que se cuenta, puede observarse que estos tienden a disminuir; sin embargo, su influencia sigue siendo importante en el lugar.

El edificio consta de un sótano, planta baja y siete niveles, el predio se localiza en las calles de Abraham González y Morelos, Colonia Juárez.

Tiene un área de 452 m^2 , con forma de trapecio irregular: el edificio ocupará totalmente el área del predio. Las dimensiones del predio se aprecian en la fig. 2

Estructuralmente el edificio se resolverá con columnas, trabes y losas de concreto. En la fig. 2 se muestra la distribución en planta de las columnas y las descargas a nivel de sótano.

El sótano se utilizará como estacionamiento y la profundidad de desplante de la losa del sótano será de 2.4 m con respecto al nivel de banqueta; las trabes de cimentación se desplantarán a 1.3 m bajo la losa de cimentación.

V.2. ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO

Para determinar las propiedades del subsuelo se realizó un sondeo de tipo mixto, combinando la prueba de penetración estándar con muestreo inalterado de suelos finos con tubo de pared delgada (Shelby).

Se clasificaron las muestras recuperadas de acuerdo al SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), determinándose su contenido de agua, límites de consistencia de Atterberg y peso volumétrico. La estratigrafía del subsuelo se muestra en la fig. 3 y es típica de la zona del lago de la ciudad; está compuesta por: hasta 3.8 m de profundidad se encuentra el manto superficial, constituido hasta 1.8 m por rellenos y restos de cimentaciones, y 2.0 m de suelos arcillosos, limosos y arenosos, compactados por desecación. Apartir de 3.8 m de profundidad se

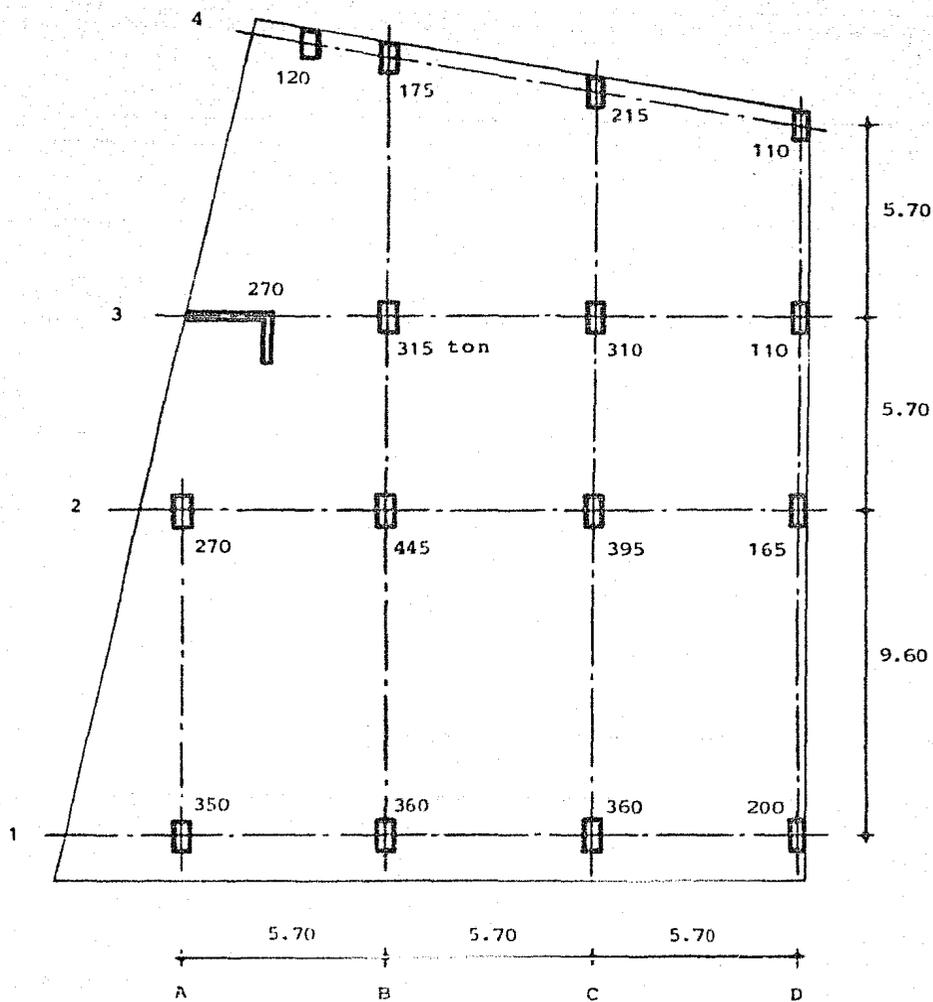
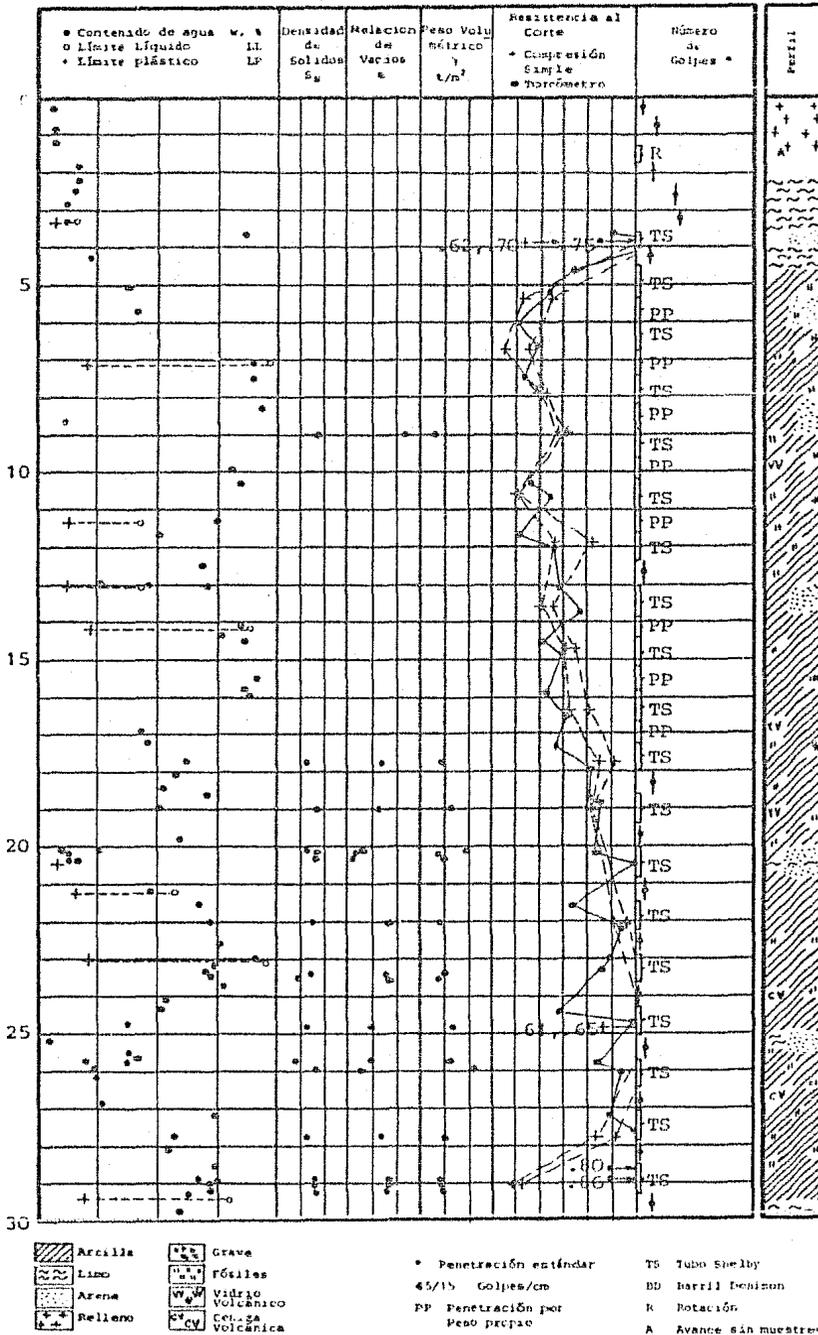


Fig 2 Area del predio y descargas de columnas a nivel de sotano



Clasificación y descripción.

Manto superficial constituido por rellenos y estratos de suelos limosos, arenosos y arcillosos.

Formación arcillosa superior, constituida por estratos de suelos arcillosos suaves intercalados por lentes de arena fina, limo y vidrio volcánico.

Fig 3 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo

Profundidad (m)	Muestra	Método	Unidad de Suelo	Relación de Masas	Peso Volúmico	Resistencia al Corte	Número de Golpes	Perfil
0							50/20	
							50/20	
							50/22	
							50/22	
							50/12	
							1	
35								

Clasificación y descripción

Primera capa dura formada por depósitos de suelos limo-arenosos.

- Penetración estándar
- 45/15 Colpoon/cm
- PR Penetración por Peso propio
- TS Tubo Shelby
- DD Barcil Denison
- R Rotación
- A Avance sin muestreo

Fig 3 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo (Cont)

encuentra la formación arcillosa superior, constituida por estratos de arcillas suaves, intercaladas por lentes de arena fina y capas de limo y vidrio volcánico. En la fig. 3 puede observarse que en este estrato la resistencia a la penetración estándar es prácticamente nula, la herramienta penetra por peso propio y el contenido de agua en la arcilla es del orden de 250 a 300 %. A 30 m de profundidad se encontró la primera capa dura, constituida por depósitos de suelos limo-arenosos muy compactos, el contenido de agua es bajo, del orden del 40 %, y la resistencia a la penetración estándar es de 50 golpes para penetrar 20 cm. El sondeo se llevó hasta una profundidad de 34.20 m.

Con las muestras inalteradas que se recuperaron, se realizaron pruebas de consolidación, para determinar las características esfuerzo-deformación del suelo a diferentes profundidades. Las curvas de compresibilidad se muestran en las fig. 4 a 7. Asimismo, se determinó la resistencia al corte del suelo, a partir de pruebas de compresión no confinada (compresión simple).

El nivel freático se localizó a 1.8 m de profundidad. Aprovechando la perforación realizada durante el sondeo, se instaló una estación piezométrica, para conocer la variación de las presiones de poro del suelo; se instalaron tres piezómetros de tipo Casagrande a 12.5, 20.3 y 30.7 m de profundidad. Las lecturas de dichos piezómetros se encuentran en la tabla 3; a partir de las lecturas, se calculó la distribución de esfuerzos efectivos en la masa de suelo, fig. 8.

Además en la fig. 3 puede observarse que la resistencia al corte del suelo aumenta con la profundidad.

Sondeo	Prof (m)	S_g	W_i (%)	e_i	G_i (%)
SM-1	18.80	2.41	178	4.32	99

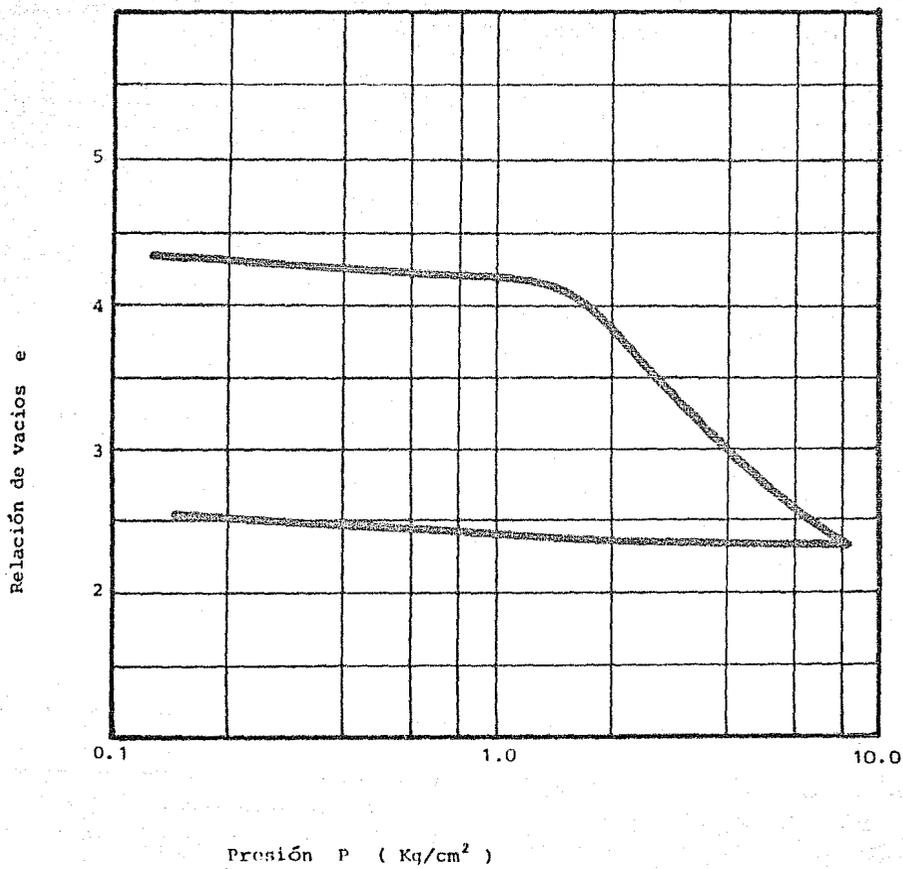


Fig 4. Curva de compresibilidad.

Sondeo	Prof (m)	S_s	W_i (%)	e_i	G_i (%)
SM-1	23.24	2.27	297	6.759	100

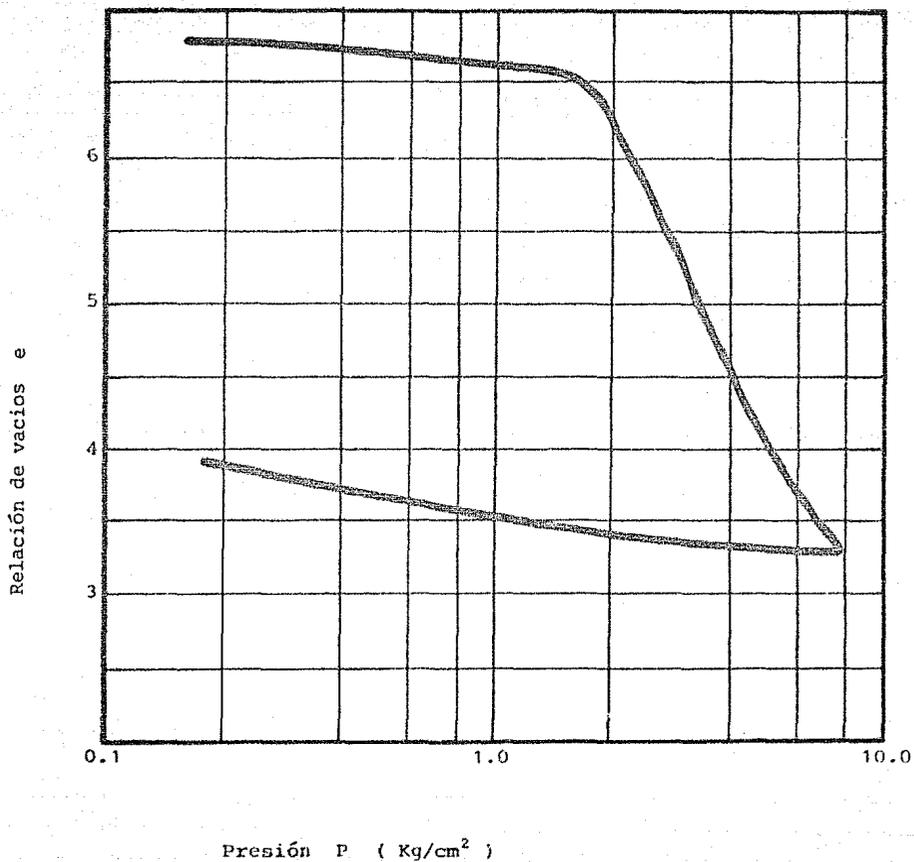


Fig 5 Curva de compresibilidad.

Sondeo	Prof (m)	S_s	W_i (%)	e_i	G_i (%)
SM-1	25.64	2.26	169	3.818	100

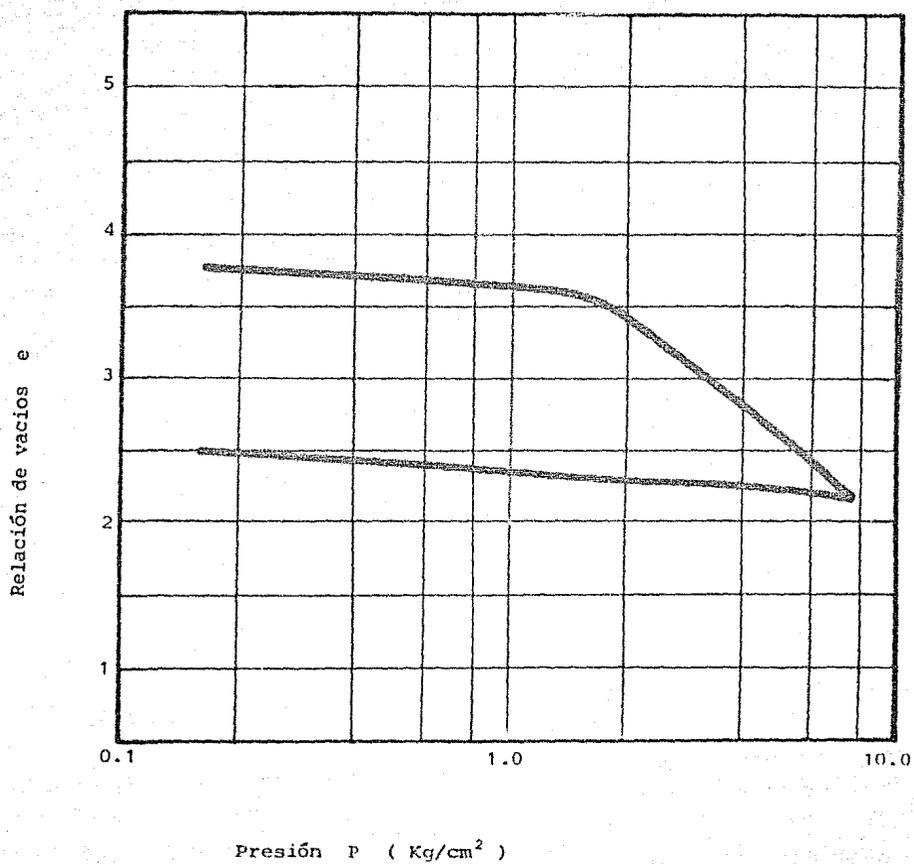


Fig 6 Curva de compresibilidad.

Sondeo	Prof (m)	S_s	w_i (%)	e_i	G_i (%)
SM-1	28.87	2.31	289	6.600	100

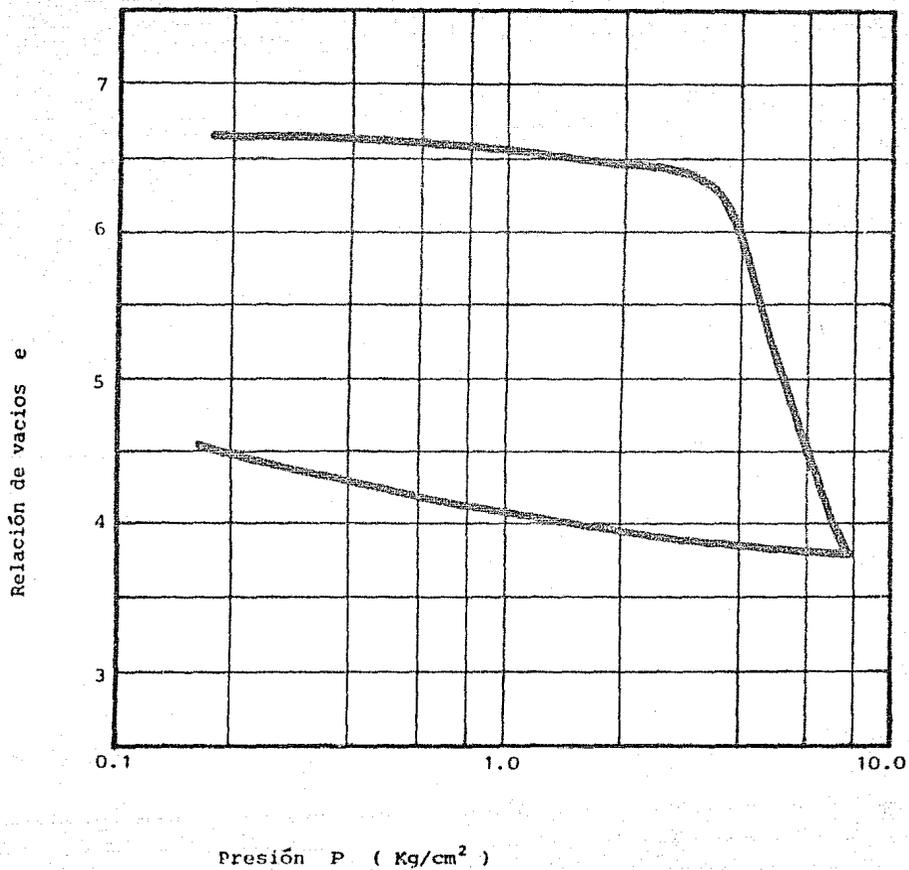
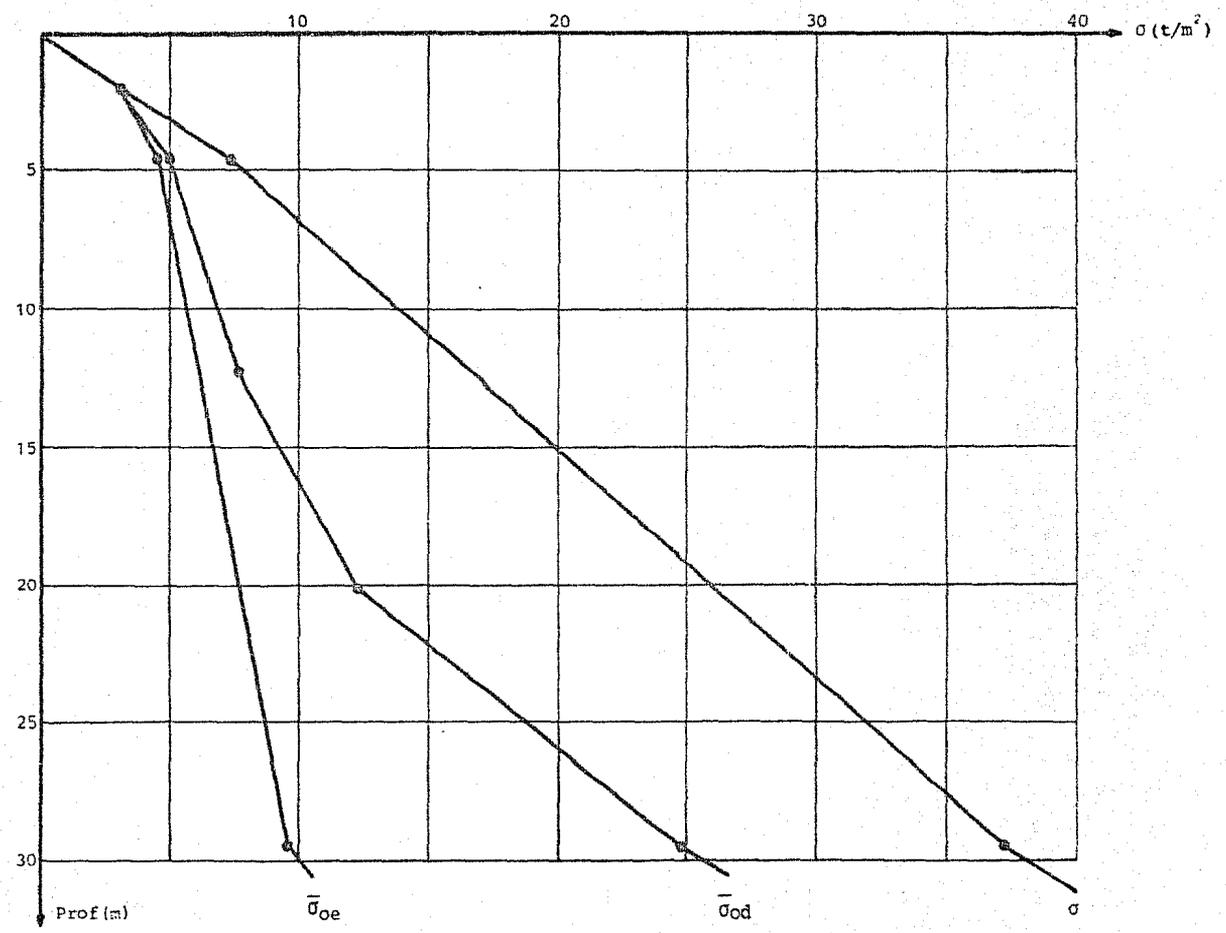


Fig 7 Curva de compresibilidad.

Tabla 3 Profundidad del nivel del agua en piezómetros

Fecha	Tubo perforado (Prof. 1.5 m)	Piezómetro 1 (Prof. 12.5 m)	Piezómetro 2 (Prof. 20.3 m)	Piezómetro 3 (Prof. 30.7 m)
20-X	Instalación			Instalación
21-X	1.73		Instalación	13.56
22-X	1.73	Instalación	5.75	14.83
23-X	1.70	12.77	17.11	14.43
24-X	1.70	2.68	6.38	14.0
26-X	1.70	3.15	6.47	15.34
28-X	1.74	3.26	6.48	16.10
3-XI	1.78	3.36	6.48	18.06
7-XI	1.82	3.36	6.50	18.10

Fig 8 Distribución de esfuerzos en la masa de suelo.



Las propiedades del subsuelo obtenidas de la exploración de campo y análisis de laboratorio se resumen a continuación:

Prof. (m)	γ (t/m ³)
0 - 4.6	1.6
4.6 - 29.6	1.2
29.6 - 34.3	1.8

Piezómetros:

$z = 12.5$ m	$\mu = 12.5 - 3.36 = 9.14$ t/m ²
$z = 20.3$ m	$\mu = 20.3 - 6.48 = 13.82$ t/m ²
$z = 30.7$ m	$\mu = 30.7 - 18.06 = 12.64$ t/m ²

$$\text{A } 34.3 \text{ m} \quad \mu = (30.7) + (34.3 - 30.7) \times 1 = 16.24 \text{ t/m}^2$$

Distribución de esfuerzos en la masa de suelo:

Prof. (m)	σ (t/m ²)	μ_d (t/m ²)	$\bar{\sigma}_d$ (t/m ²)	μ_e (t/m ²)	$\bar{\sigma}_e$ (t/m ²)
0	0	0	0	0	0
1.8	2.88	0	2.88	0	2.88
4.6	7.36	2.39	4.97	2.8	4.56
12.5	16.84	9.14	7.70	10.70	6.14
20.3	26.20	13.82	12.38	18.50	7.70
29.6	37.36	12.76	24.60	27.80	9.56
30.7	39.34	12.64	26.70	28.90	10.44
34.3	45.82	16.24	29.58	32.50	13.32

Resistencia al corte del suelo:

- Profundidad: 3.8 - 11.0 m

En torcómetro:

$$0.75+0.35+0.25+0.125+0.20+0.15+0.20+0.175+0.25 = 2.45 \text{ Kg/cm}^2$$

el valor promedio es: $\frac{2.45}{9} = 0.275 \text{ Kg/cm}^2$

En compresión simple:

$$0.2+0.125+0.225+0.3+0.125 = 0.975 \text{ Kg/cm}^2$$

el valor promedio es: $\frac{0.975}{5} = 0.195 \text{ Kg/cm}^2$

- Profundidad: 11.0 - 17.0 m

En torcómetro:

$$0.125+0.275+0.3+0.375+0.2+0.3+0.225+0.325 = 2.125 \text{ Kg/cm}^2$$

el valor promedio es: $\frac{2.125}{8} = 0.266 \text{ Kg/cm}^2$

En compresión simple:

$$0.35+0.225+0.325+0.375 = 1.275 \text{ Kg/cm}^2$$

el valor promedio es: $\frac{1.275}{4} = 0.319 \text{ Kg/cm}^2$

- Profundidad: 17.0 - 26.5 m

En torcómetro:

$$0.275+0.425+0.425+0.45+0.425+0.6+0.35+0.55+0.5+0.45+0.3+0.6+0.45+0.55 = 6.35 \text{ Kg/cm}^2$$

el valor promedio es: $\frac{6.35}{14} = 0.454 \text{ Kg/cm}^2$

En compresión simple:

$$0.475+0.425+0.525+0.65 = 2.075 \text{ Kg/cm}^2$$

el valor promedio es: $\frac{2.075}{4} = 0.519 \text{ Kg/cm}^2$

V.3. SELECCION DEL TIPO DE CIMENTACION

Para la eleccion del tipo de cimentacion más apropiado para la estructura tomada como ejemplo, se presentan las siguientes alternativas, tomando en cuenta los tres principales factores que determinan la eficiencia de una cimentacion.

- 1) La cimentacion debera ser segura contra falla por resistencia al corte del suelo.
- 2) Debera comportarse en forma satisfactoria en condiciones de servicio, las deformaciones que se produzcan en el suelo deberan ser menores que un valor que se establece de acuerdo con la estructura misma, tomando en cuenta su rigidez, estructura y destino, así como con la disposicion de las construcciones vecinas.
- 3) Debera estar localizada en forma apropiada, no expuesta a factores externos que puedan afectarla.

El primer factor se evalúa a través de fórmulas que no obstante que simplifican el problema, tanto al evaluar las propiedades mecánicas del suelo como al suponer la transferencia de carga de los elementos estructurales de la cimentacion al suelo, con el uso de un adecuado factor de seguridad permiten al ingeniero de cimentaciones realizar estimaciones que, de acuerdo a la experiencia en el lugar o con suelos similares, se consideran aceptables.

El segundo factor implica evaluar las deformaciones que sufrirá la cimentación, sean asentamientos o emersiones, este problema se trata aún en forma más simplista que el primero, por lo que deberá tratarse en forma racional, no solo aplicando criterios o fórmulas aproximadas o semiempíricas.

El tercer factor no puede evaluarse en forma analítica, por lo que debe aplicarse el criterio ingenieril, basado en la experiencia.

La capacidad de carga de una cimentación de tipo superficial (zapatas o losa) presentaría problemas tanto de capacidad de carga como de deformaciones, por lo que la cimentación se comportaría en forma inadecuada.

El uso de un cajón para cimentar la estructura mediante una compensación total exigiría una excavación profunda; debido a la baja resistencia al corte del suelo, requeriría un procedimiento constructivo complicado y mucho tiempo para realizarse, por lo que esta solución resulta antieconómica.

El uso de una cimentación profunda a base de pilotes trabajando por punta, apoyados en la primera capa dura, localizada a 30 m de profundidad, no obstante tener una capacidad de carga considerable, provocaría que la estructura emergiera con respecto al terreno circundante, producto del hundimiento regional, dañando a estructuras vecinas, por otra parte los pilotes se sobrecargan por el colgamiento del suelo, lo que reduce la capacidad de carga.

La mejor solución para cimentar estructuras con cargas medianas o grandes por unidad de área en suelos compresibles de gran espesor, o para suelos compresibles de espesor moderado sujetos a un proceso generalizado de consolidación son los pilotes de fricción.

V.4 ANALISIS DE CAPACIDAD DE CARGA

V.4.a APLICACION DEL CRITERIO USUAL

Propiedades del subsuelo:

Estrato	\bar{s}	q_u	K	Ca	Hi	Ca Hi
3.8 - 11.0	2.0	4.0	0.5	2.0	7.2	14.4
11.0 - 17.0	3.2	6.4	0.5	3.2	6.0	19.2
17.0 - 26.5	5.2	10.4	0.5	5.2	9.5	49.4
					<u>22.7</u>	<u>83.0</u>

La fricción media es:

$$f_s = \frac{\sum Ca Hi}{\sum Hi}$$

$$f_s = \frac{83.0}{22.7}$$

$$f_s = 3.66 \text{ t/m}^2$$

Con un factor de seguridad: F.S. = 2

$$\bar{f}_s = \frac{3.66 \text{ t/m}^2}{F.S.}$$

$$\bar{f}_s = \frac{3.66 \text{ t/m}^2}{2}$$

$$\bar{f}_s = 1.83 \text{ t/m}^2$$

V.4.b CRITERIO DE TOMLINSON

Propiedades del subsuelo:

Estrato	\bar{s}	qu	fs	Hi	fs Hi
3.8 - 11.0	2.0	4.0	1.87	7.20	13.46
11.0 - 17.0	3.2	6.4	2.99	6.0	17.94
17.0 - 26.5	5.2	10.4	4.08	9.50	38.76
				<u>22.7</u>	<u>70.16</u>

La fricción media es:

$$f_s = \frac{\sum f_s H_i}{\sum H_i}$$

$$f_s = \frac{70.16}{22.7}$$

$$f_s = 3.09 \text{ t/m}^2$$

Con un factor de seguridad: F.S. = 2

$$\overline{f_s} = \frac{3.09 \text{ t/m}^2}{\text{F.S.}}$$

$$\overline{f_s} = \frac{3.09 \text{ t/m}^2}{2}$$

$$\overline{f_s} = 1.55 \text{ t/m}^2$$

La capacidad de carga por fricción lateral es:

$$Q_f = A_l \overline{f_s}$$

$$Q_f = (22.8 \text{ m}) p (1.55 \text{ t/m}^2)$$

$$Q_f = 35.34 \text{ t/m} (p)$$

donde: p es el perímetro del pilote

Para pilotes de diferentes dimensiones tenemos que:

Pilotes cuadrados:

l_0 (m)	Q_f (ton)	N
0.35	49.5	70
0.40	56.5	61
0.45	63.3	54
0.50	70.7	49
0.55	77.7	44
0.60	84.8	41

Pilotes triangulares:

l_0 (m)	Q_f (ton)	N
0.40	42.4	81.2
0.45	47.7	72.7
0.50	53	65
0.55	58.3	59.0
0.60	63.3	54

Pilotes tipo H de 35 X 40 ($p = 1.5$ m)

$$Q_f = 53 \text{ ton}$$

El número de pilotes requerido es:

$$N = 65 \text{ pilotes}$$

V.4.c. CRITERIO PROPUESTO EN LA V REUNION NACIONAL DE LA S.M.M.S.

Propiedades del subsuelo:

Estrato	\bar{s}	qu	K	f	Hi	f Hi
3.8 - 11.0	2.0	4.0	0.6	2.4	7.2	17.3
11.0 - 17.0	3.2	6.4	0.6	3.8	6.0	22.8
17.0 - 26.5	5.2	10.4	0.3	3.1	9.5	29.5
					<u>22.7</u>	<u>69.6</u>

La fricción media es:

$$f = \frac{\sum f \text{ Hi}}{\sum \text{ Hi}}$$

$$f = \frac{69.6}{22.7}$$

$$f = 3.1 \text{ t/m}^2$$

Con un factor de seguridad: F.S. = 2

$$\bar{f} = \frac{3.1 \text{ t/m}^2}{\text{F.S.}}$$

$$\bar{f} = \frac{3.1 \text{ t/m}^2}{2}$$

$$\bar{f} = 1.55 \text{ t/m}^2$$

En este caso la fricción que puede desarrollarse entre suelo y pilote es igual a la calculada con el método propuesto por Tomlinson, no obstante los resultados parciales difieren.

La capacidad de carga por fricción lateral de un pilote es:

$$Q_f = A_l \bar{f}$$

donde: A_l es el área lateral del pilote (Longitud x perímetro)

\bar{f} es la fricción entre suelo y pilote

$$Q_f = (22.8 \text{ m}) p (1.55 \text{ t/m}^2)$$

$$Q_f = 35.34 \text{ t/m} (p)$$

donde: p es el perímetro del pilote

Longitud de los pilotes:

La losa de cimentación se desplantará a 2.4 m. Las trabes tienen un peralte de 1.3 m. Los pilotes se hincarán hasta alcanzar una profundidad de 26.5 m (Colchón compresible de 3.5 m).

$$l_{\text{pilote}} = 26.5 - 2.4 - 1.3$$

$$l_{\text{pilote}} = 22.8 \text{ m}$$

Pilotes cuadrados: ($p = 4 l_0$)

l_0 (m)	Q_f (ton)	N
0.35	49.5	70
0.40	56.5	61
0.45	63.6	54
0.50	70.7	49
0.55	77.7	44
0.60	84.8	41

Pilotes triangulares: ($p = 3 l_0$)

l_0 (m)	Q_f (ton)	N
0.40	42.4	81
0.45	47.7	72
0.50	53.0	65
0.55	58.3	59
0.60	63.6	54
0.65	68.9	50

Pilotes tipo H de 35 X 40 ($p = 1.5 \text{ m}$)

$$Q_f = 53 \text{ ton}$$

$$N = 65 \text{ pilotes}$$

El peso total de la estructura es:

$$W = 4170 \text{ ton}$$

Peso de la cimentación:

$$\text{Losa de } 0.20 \text{ m de espesor: } 0.20 \text{ m (} 452 \text{ m}^2 \text{) } 2.4 \text{ t/m}^3 = 217 \text{ ton}$$

Trabes de 1.3 m x 0.35 m:

$$\frac{23.1 + 26.6}{2} = 24.85 \quad 24.85 \times 4.5 = 111.8 \text{ m}$$

$$\frac{20.0 + 15.8}{2} = 18.35 \quad 18.35 \times 4.0 = 73.4 \text{ m}$$

185.2 m

$$1.3 \text{ m (} 0.35 \text{ m) } 185.2 \text{ m (} 2.4 \text{ t/m}^3 \text{) } = 202 \text{ ton}$$

Pilotes (se supone se requerirán 65 pilotes de 0.4 m x 0.4 m)

$$0.4 \text{ m (} 0.4 \text{ m) } 22.8 \text{ m (} 2.4 \text{ t/m}^3 \text{) } = 8.8 \text{ ton}$$

$$65 (8.8 \text{ ton) } = 572 \text{ ton}$$

Descarga por excavación:

$$Df = 2.4 \text{ m}$$

$$\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$$

$$\omega_d = 2.4 \text{ m (} 1.6 \text{ t/m}^3 \text{)}$$

$$\omega_d = 3.8 \text{ t/m}^2$$

$$W_d = 3.8 \text{ t/m}^2 (452 \text{ m}^2 \text{)}$$

$$W_d = 1718 \text{ ton}$$

$$W = 4170 + 217 + 202 + 572 - 1718$$

$$W = 3443 \text{ ton}$$

$$\omega = \frac{W}{A}$$

$$\omega = \frac{3443 \text{ ton}}{452 \text{ m}^2}$$

$$\omega = 7.62 \text{ ton/m}^2$$

Capacidad de carga de un conjunto de pilotes:

La capacidad de carga de un conjunto de pilotes es igual a la capacidad de carga de una pila de geometría igual a la envolvente del conjunto de pilotes, cuya base se considera en la punta de los pilotes.

La capacidad de carga es:

$$Q_g = Q_p + Q_f$$

Donde: Q_p es la capacidad de carga por punta

Q_f es la capacidad de carga por fricción

Capacidad de carga por punta:

$$q_{up} = C N_{cs}$$

el valor de N_{cs} depende de la relación D/B

$$\frac{D}{B} = \frac{26.5 \text{ m}}{18.2 \text{ m}}$$

$$\frac{D}{B} = 1.45$$

Las dimensiones medias del terreno son:

$$\bar{B} = 18.2 \text{ m}$$

$$\bar{L} = 24.85 \text{ m}$$

De la fig 9 (fig 8 de las normas, ref 3)

$$N_{cs} = 6.704 \text{ (para cimiento largo)}$$

Para un cimiento rectangular:

$$N_{cs}(\text{rect}) = (1 + 0.2 B/L) N_{cs}(\text{largo})$$

$$N_{cs}(\text{rect}) = (1 + 0.2 \{ 18.2/24.85 \}) 6.704$$

$$N_{cs}(\text{rect}) = 7.7$$

$$q_{up} = C N_{cs}(\text{rect})$$

$$q_{up} = 5 \text{ t/m}^2 \text{ (7.7)}$$

$$q_{up} = 38.5 \text{ t/m}^2$$

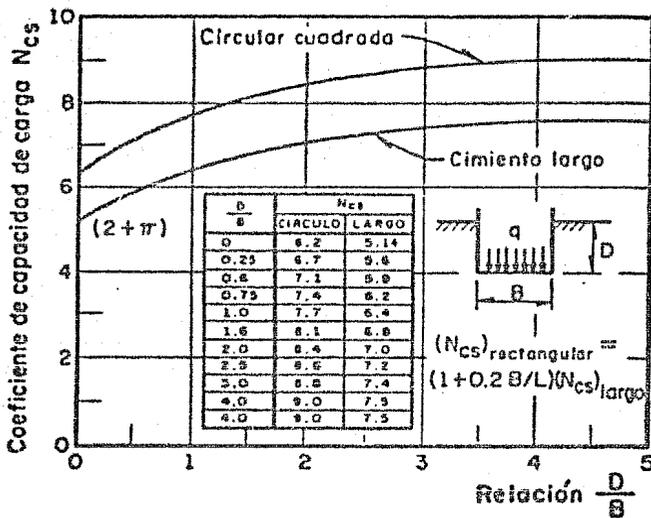


Fig 9 Coeficiente de capacidad de carga Ncs

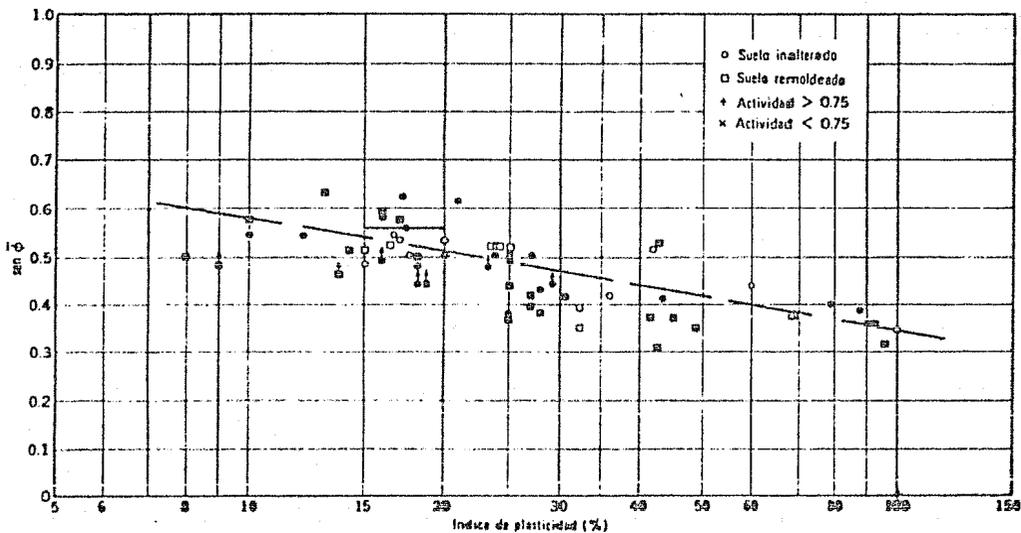


Fig 10 Relación entre índice de plasticidad y $\sin \phi$

La fricción a la falla entre suelo y cimiento es:

$$Ca_{\text{(falla)}} = Ca \text{ F.S.}$$

$$\text{F.S.} = 2.0$$

$$Ca_{\text{(falla)}} = 1.55 \text{ t/m}^2 \quad (2.0)$$

$$Ca_{\text{(falla)}} = 3.1 \text{ t/m}^2$$

Capacidad de carga última:

$$Qg = Qp + Qf$$

$$Qg = q_{up} A + Df (2B + 2L) fs$$

donde fs es la fricción cimiento-suelo

$$Qg = 38.5 (18.2 \times 24.85) + 26.5 (2) (18.2 + 24.85) 3.1$$

$$Qg = 17412 + 7073$$

$$Qg = 24485 \text{ ton}$$

Debe cumplirse la condición:

$$N Qa < \frac{Qg}{\text{F.S.}}$$

Con: F.S. = 3

donde: N es el número de pilotes

Qa es la capacidad de carga de trabajo de un pilote

Qg es la capacidad de carga última del conjunto de pilotes

A. Con pilotes tipo H de 35 x 40 (se requieren 65 pilotes)

$$N Qa = 65 (53 \text{ ton})$$

$$N Qa = 3445 \text{ ton}$$

$$\frac{Qg}{\text{F.S.}} = \frac{24485}{3}$$

$$\frac{Qg}{\text{F.S.}} = 8161 \text{ ton}$$

$$N Qa < \frac{Qg}{\text{F.S.}}$$

→ No habrá falla del grupo

B. Con pilotes triangulares de 0.45 m de lado (se requieren 72 pilotes)

$$N_{Qa} = 72 \text{ (47.7 ton)}$$

$$N_{Qa} = 3434.4 \text{ ton}$$

$$N_{Qa} \ll \frac{Q_g}{F.S.} \quad \rightarrow \text{No habrá falla del grupo}$$

C. Con pilotes cuadrados de 0.40 m de lado (se requieren 61 pilotes)

$$N_{Qa} = 61 \text{ (56.5 ton)}$$

$$N_{Qa} = 3446 \text{ ton}$$

$$N_{Qa} \ll \frac{Q_g}{F.S.} \quad \rightarrow \text{No habrá falla del grupo}$$

La carga total es: $W = 3443 \text{ ton}$

La capacidad de carga del grupo es: $Q_g = 24485 \text{ ton}$

El factor de seguridad contra la falla por grupo es:

$$F.S. = \frac{Q_g}{W}$$

$$F.S. = \frac{24485}{3443}$$

$$F.S. = 7.1$$

El factor de seguridad contra la falla del grupo es mucho mayor que 3:

$$F.S. \ll 3$$

V.4.d CRITERIO DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL

Estados límite de falla:

Debe cumplirse la condición: $\Sigma Q F_c < R$

Donde: $\Sigma Q F_c$ es la carga total de la estructura afectada por su factor de carga correspondiente.

R es la capacidad de carga total de la cimentación.

Pilotes individuales:

La capacidad de carga de los pilotes es: $R = C_f + C_1$

Donde: C_f es la capacidad de carga por fricción

C_1 es la capacidad de carga de la losa en contacto con el suelo

$$C_f = N A_l f Fr$$

Donde: N es el número de pilotes

A_l es el área lateral del pilote

f es la fricción unitaria suelo-pilote

Fr factor de reducción ($Fr = 0.7$)

$$C_1 = C Ncs AL Fr + pv AL$$

Donde: C es la cohesión reducida a nivel de desplante de la losa

Ncs coeficiente de capacidad de carga (fig 9)

AL es el área de la losa descontando el área de todos los pilotes.

Fr factor de reducción

pv presión vertical actuante a la profundidad de desplante ($pv = \gamma D_f$)

Propiedades del subsuelo:

Estrato	C*	qu	α	C	H	C H
3.8 - 11.0	2.0	4.0	0.67	1.34	7.2	9.65
11.0 - 17.0	3.2	6.4	1.0	3.20	6.0	19.20
17.0 - 26.5	5.2	10.4	1.0	5.2	9.5	49.40
					<u>22.7</u>	<u>78.25</u>

La fricción media es:

$$f = \frac{\sum C H}{\sum H}$$

$$f = \frac{78.25}{22.7}$$

$$f = 3.45 \text{ t/m}^2$$

Capacidad de carga por fricción:

Se utilizarán 65 pilotes tipo H de 35 X 40 la longitud de los pilotes es de 22.8 m, el perímetro es de 1.5 m, tienen un área de 0.0646 m².

$$C_f = N A_l f Fr$$

$$C_f = 65 (1.5 \text{ m}) 22.8 \text{ m} (3.45 \text{ t/m}^2) 0.70$$

$$C_f = 5368 \text{ ton}$$

Capacidad de carga de la losa:

La cohesión a nivel de desplante de la losa es: $C = 1.34 \text{ t/m}^2$.

El coeficiente de capacidad de carga N_{cs} depende de la relación D/B:

$$\frac{D}{B} = \frac{2.4 \text{ m}}{18.2 \text{ m}}$$

$$\frac{D}{B} = 0.132$$

Interpolando (fig 8 de las normas): $N_{cs}(\text{largo}) = 5.38$

El valor de $N_{cs}(\text{rect})$ se obtiene de:

$$N_{cs}(\text{rect}) = (1 + 0.2 B/L) N_{cs}(\text{largo})$$

$$Ncs_{(rect)} = (1 + 0.2 \{ 18.2/24.85 \}) 5.38$$

$$Ncs_{(rect)} = 6.17$$

El área de la losa, descontando el área de los pilotes es:

$$AL = 452 \text{ m}^2 - 65 (0.0646 \text{ m}^2)$$

$$AL = 447.8 \text{ m}^2$$

La profundidad de desplante de la losa es de 2.4 m, el peso volumétrico del material es $\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$

$$C_1 = 1.34 \text{ t/m}^2 (6.17) 447.8 \text{ m}^2 (0.7) + 2.4 \text{ m} (1.6 \text{ t/m}^3) 447.8 \text{ m}^2$$

$$C_1 = 4311 \text{ ton}$$

La capacidad de carga del conjunto de pilotes individuales es:

$$R = C_f + C_1$$

$$R = 5368 + 4311$$

$$R = 9679 \text{ ton}$$

El peso total de la estructura es:

$$W = (4170 + 217 + 202 + 572) 1.4 = 1718$$

$$W = 5507 \text{ ton}$$

Donde: $F_c = 1.4$

Vemos que: $\Sigma Q F_c = 5507 \text{ ton} < R = 9679 \text{ ton}$

Revisión de la pila de geometría igual a la envolvente del conjunto:

$$R = (C Ncs Fr + p_v) AP$$

Donde: C es la cohesión reducida a nivel de la punta de los pilotes.

AP es el área del conjunto

Ncs factor de capacidad de carga

El valor de N_{cs} depende de la relación D/B :

$$\frac{D}{B} = \frac{26.5}{18.2}$$

$$\frac{D}{B} = 1.46$$

Interpolando (fig 9): $N_{cs}(\text{largo}) = 6.704$

$$N_{cs}(\text{rect}) = (1 + 0.2 B/L) N_{cs}(\text{largo})$$

$$N_{cs}(\text{rect}) = (1 + 0.2 \{ 18.2/24.85 \}) 6.704$$

$$N_{cs}(\text{rect}) = 7.69$$

La capacidad de carga de la pila es:

$$R = \{ (5.2 \text{ t/m}^2) 7.69 (0.7) + 33.4 \text{ t/m}^2 \} 452 \text{ m}^2$$

$$R = 27749 \text{ ton}$$

Entonces: $\Sigma Q F_c = 5507 \text{ ton} < R = 27749 \text{ ton}$

Por otra parte vemos que rige la condición de pilotes individuales, ya que:

$$R_{(\text{pilotes individuales})} < R_{(\text{pila equivalente})}$$

V.4.e CRITERIO DE ZEEVAERT

De la fig 10 tenemos que: $\bar{\phi} = 22^\circ$

$$\text{Entonces: } N\phi_r = \frac{1 + \text{sen}^2 \phi}{1 - \text{sen}^2 \phi}$$

$$N\phi_r = \frac{1 + \text{sen}^2 22^\circ}{1 - \text{sen}^2 22^\circ}$$

$$N\phi_r = 1.326$$

$$K\phi = \frac{\tan \phi_r}{N\phi_r}$$

$$K\phi = \frac{\tan 22^\circ}{1.326}$$

$$K\phi = 0.305$$

$$\begin{aligned}
 m &= 1/2 \bar{\omega} K\phi \\
 m &= 1/2 (1.76) 0.305 \\
 m &= 0.268
 \end{aligned}$$

Por otra parte tenemos que:

$$\bar{A}_i = \frac{\bar{a}_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta Z_i}$$

$$\bar{B}_i = \frac{m_i \Delta Z_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta Z_i}$$

$$\bar{C}_i = \frac{1}{\bar{a}_i - m_i \Delta Z_i}$$

El cálculo paso a paso de la fricción que puede desarrollarse entre suelo y fuste se presenta en las siguientes hojas.

CRITERIO DE ZEEVAERT

PILOTE AISLADO

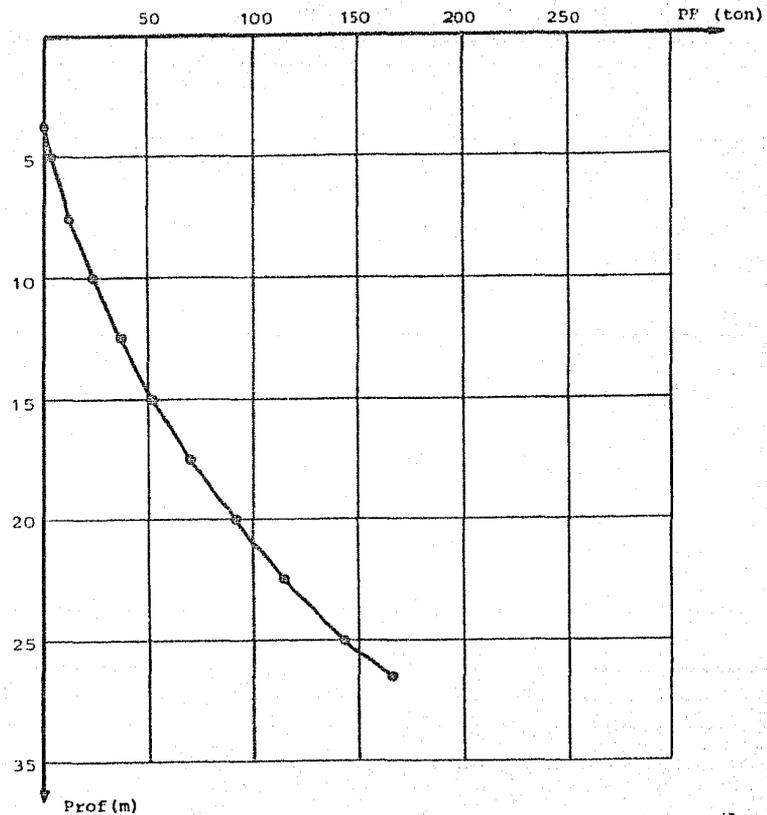
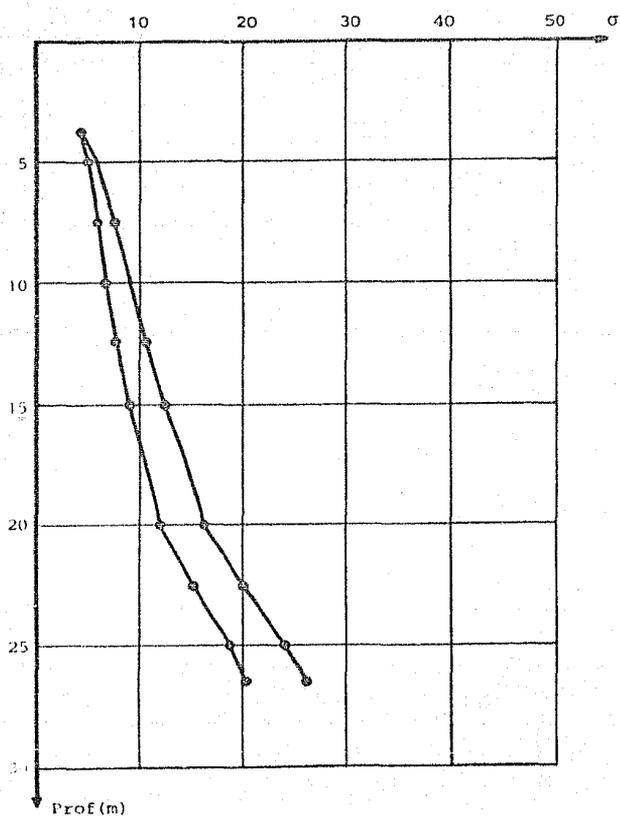
Pilotes cuadrados (b = 0.40 m)
 Perímetro $\bar{w} = 1.1 (0.40 \times 4)$
 $\bar{w} = 1.76 \text{ m}$
 Area $A_p = (0.40)^2$
 $A_p = 0.16 \text{ m}^2$
 Radio equivalente $r = \sqrt{A/\pi}$
 $r = \sqrt{0.16/\pi}$
 $r = 0.23 \text{ m}$

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

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

Prof	Z	Z/r	Izk	Izc	\bar{a}_{ez}	ΔZ	σ_{oi}	A_i	B_i	C_i	σ_i	PF
3.7	0.0						4.3				4.3	0.0
5.0	1.3	5.65	1.9	1.7	4.42	1.3	5.1	1.086	0.086	0.246	5.91	3.57
7.5	3.8	16.52	8.0	5.0	7.87	2.5	6.0	1.093	0.093	0.139	7.60	12.62
10.0	6.3	27.39	15.5	9.0	10.15	2.5	6.8	1.071	0.071	0.105	9.15	23.83
12.5	8.8	38.26	22.0	12.0	13.26	2.5	7.7	1.053	0.053	0.079	10.48	36.81
15.0	11.3	49.13	30.0	17.0	15.44	2.5	9.2	1.045	0.045	0.068	12.59	52.32
17.5	13.8	60.00	38.0	20.0	17.83	2.5	10.6	1.039	0.039	0.058	14.54	70.23
20.0	16.3	70.87	43.0	24.0	21.55	2.5	12.1	1.032	0.032	0.048	16.32	91.02
22.5	18.8	81.74	50.0	28.0	24.34	2.5	15.3	1.028	0.028	0.042	20.01	114.60
25.0	21.3	92.61	59.0	30.5	26.28	2.5	18.6	1.026	0.026	0.039	24.07	143.84
26.5	22.8	99.13	62.0	34.0	28.45	1.5	20.6	1.014	0.014	0.036	26.40	165.11

Fig 11 Capacidad de carga por fricción de un pilote aislado.



CRITERIO DE ZEEVAERT

GRUPO DE PILOTES

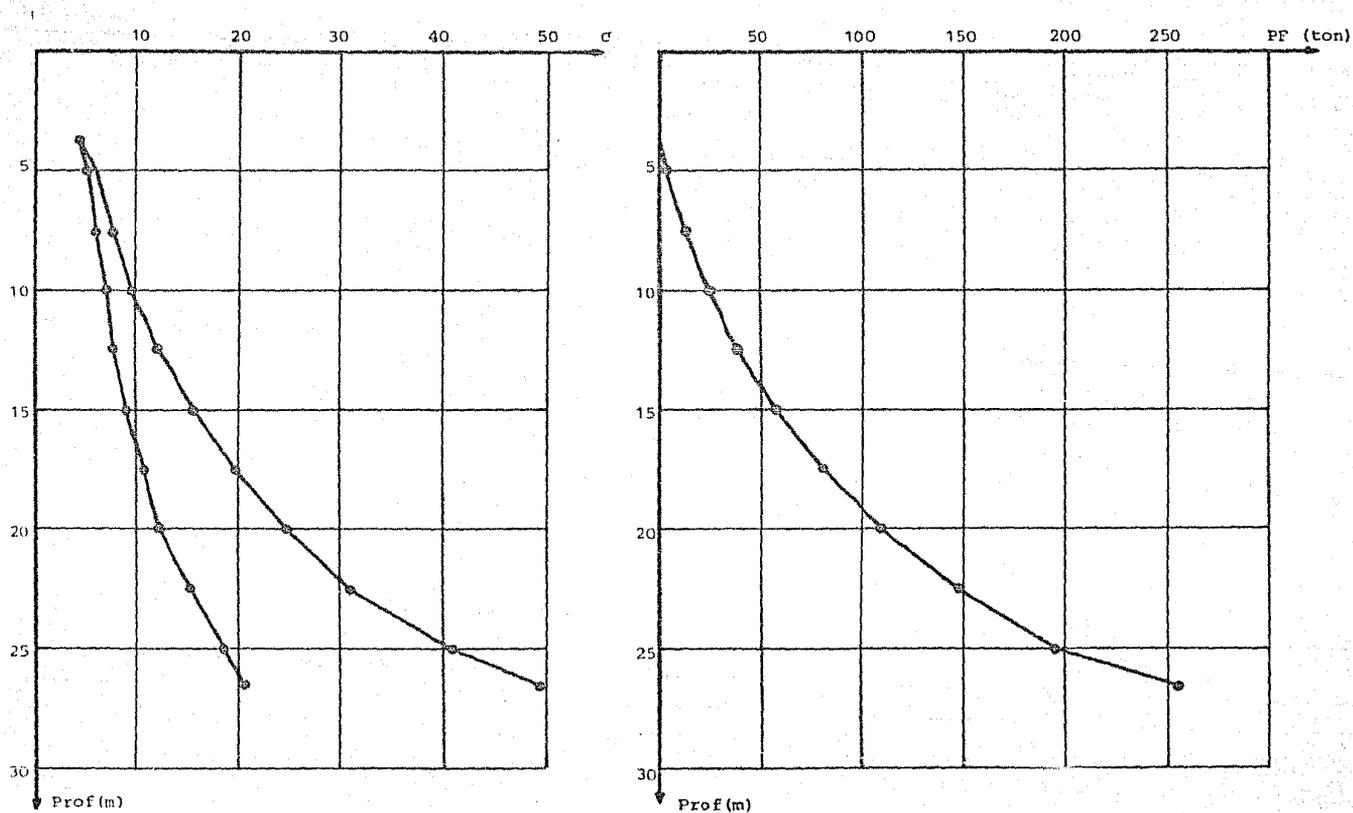
Pilotes cuadrados (b = 0.40 m)
 Perímetro $\frac{W}{W} = 1.1 (0.40 \times 4)$
 $\frac{W}{W} = 1.76 \text{ m}$
 Area $A_p = (0.40)^2$
 $A_p = 0.16 \text{ m}^2$
 Radio Equivalente $r = \frac{\sqrt{A/T}}{\pi}$
 $r = \frac{\sqrt{0.16/\pi}}{\pi}$
 $r = 0.23 \text{ m}$

Se supone que se requerirán 50 pilotes.

Separación $s = \frac{\sqrt{A/n}}{\pi}$
 $s = \frac{\sqrt{452/50}}{\pi}$
 $s = 3.007 \text{ m}$

Prof	Z	Z/r	I _{zk}	I _{zc}	\bar{a}_{ez}	ΔZ	σ_{oi}	A _i	B _i	C _i	σ_i	PF
3.7	0.0						4.3				4.3	0.0
5.0	1.3	5.63	1.9	1.7	4.42	1.3	5.1	1.086	0.086	0.246	5.91	3.57
7.5	3.8	16.52	8.0	5.0	7.87	2.5	6.0	1.093	0.093	0.139	7.60	12.62
10.0	6.3	27.39	8.0	5.0	8.84	2.5	6.8	1.082	0.082	0.122	9.52	24.05
12.5	8.8	38.26	8.0	5.0	8.84	2.5	7.7	1.082	0.082	0.122	12.05	38.42
15.0	11.3	49.13	8.0	5.0	8.84	2.5	9.2	1.082	0.082	0.122	15.63	56.84
17.5	13.8	60.0	8.0	5.0	8.84	2.5	10.6	1.082	0.082	0.122	19.69	80.31
20.0	16.3	70.87	8.0	5.0	8.84	2.5	12.1	1.082	0.082	0.122	24.50	109.65
22.5	18.8	81.74	8.0	5.0	8.84	2.5	15.3	1.082	0.082	0.122	31.94	147.10
25.0	21.3	92.61	8.0	5.0	8.84	2.5	18.6	1.082	0.082	0.122	40.69	195.29
26.5	22.8	99.13	8.0	5.0	8.84	1.5	20.6	1.082	0.082	0.122	49.45	255.09

Fig 12 Capacidad de carga por fricción de un pilote formando parte de un grupo.

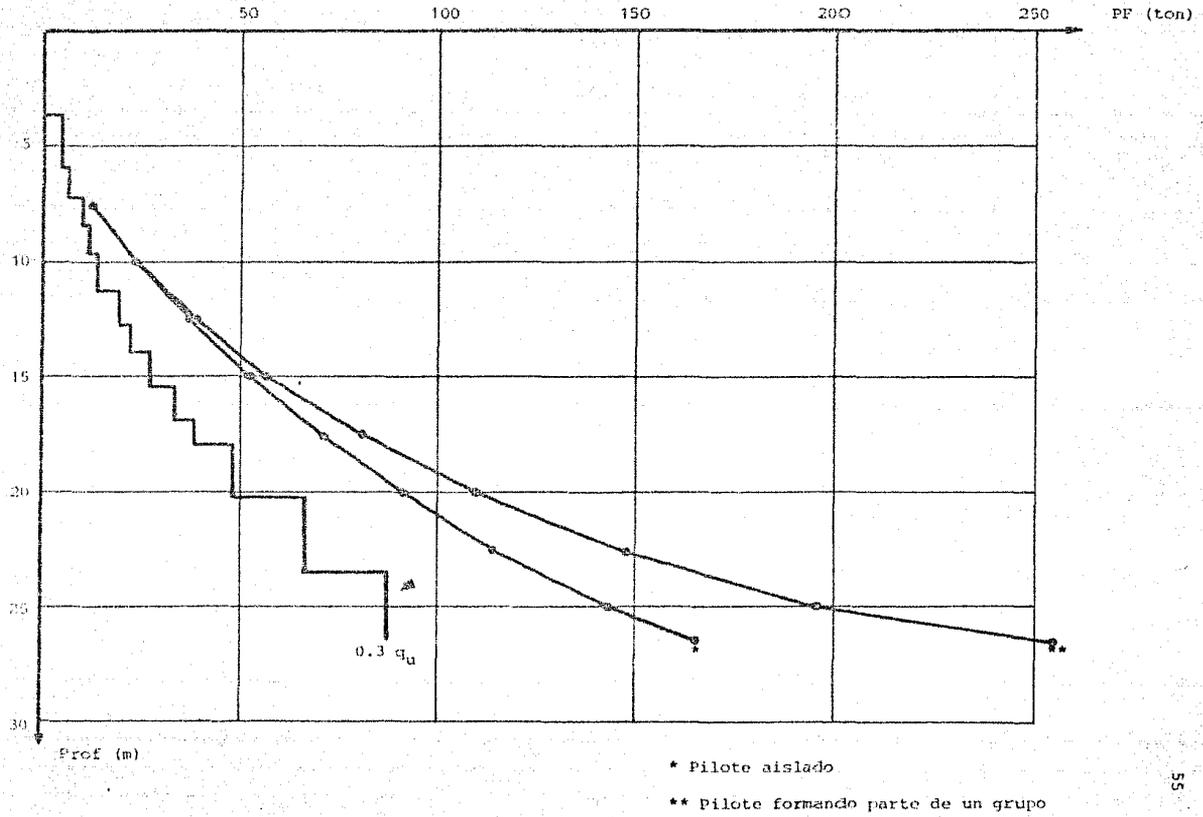


CRITERIO DE ZEEVAERT

Valor límite de la fricción que puede desarrollarse entre suelo y pilote.

Prof (m)	Resistencia al corte (Kg/cm ²)	Compresión no confinada (Kg/cm ²)	0.3 qu (Kg/cm ²)	Esp (m)	PF (ton)	PF (ton) (Acumulada)
0.0						
1.0						
2.0						
3.0						
4.0						
5.0						
6.0	0.200	0.40	0.120	2.30	4.858	4.858
7.0	0.125	0.25	0.075	1.25	1.650	6.508
8.0	0.225	0.45	0.135	1.25	2.970	9.478
9.0	0.300	0.60	0.180	1.25	3.960	13.438
10.0	0.125	0.25	0.075	1.50	1.980	15.418
12.0	0.350	0.70	0.210	1.50	5.540	20.958
13.0	0.225	0.50	0.150	1.25	3.300	24.258
14.0	0.325	0.65	0.195	1.50	5.148	29.406
15.0						
16.0						
17.0	0.375	0.75	0.225	1.50	5.940	35.346
18.0	0.475	0.95	0.285	1.00	5.016	40.362
19.0	0.425	0.85	0.255	2.25	10.098	50.460
20.0						
21.0						
22.0	0.525	1.05	0.315	3.25	18.018	68.478
23.0						
24.0						
25.0	0.65	1.30	0.390	3.0	20.592	89.070
26.0						
27.0						
28.0						
29.0						
30.0						

Fig 13 Valor límite de la fricción que pueda generarse entre un pilote y el suelo ($0.3 q_u$)



V.5 ANALISIS DE ASENTAMIENTOS

V.5.a CRITERIO DE PECK

Este método considera como estrato compresible el que se encuentra a partir del tercio inferior de los pilotes:

$$l = 22.8 \text{ m}$$

l es la longitud de los pilotes.

$$\frac{l}{3} = \frac{22.8 \text{ m}}{3}$$

$$\frac{l}{3} = 7.6 \text{ m}$$

La carga que soporta la cimentación se considera aplicada a partir del tercio inferior de los pilotes y se aplica sobre el área que definen líneas con pendiente ± 2 en ambas direcciones.

La carga considerada para el análisis es:

$$\omega_a = 0.85 \omega$$

$$\omega_a = 0.85 (7.62 \text{ t/m}^2)$$

$$\omega_a = 6.5 \text{ t/m}^2$$

El área en la que se considera se aplican las cargas se define como:

$$A_z = B_z \cdot H_z$$

donde: A_z es el área sobre la que se aplica la carga a la profundidad Z

B_z es el ancho del área cargada a la profundidad Z

H_z es el largo del área cargada a la profundidad Z

Los valores de B_z y H_z se definen:

$$B_z = B + Z$$

$$B_z = 18.2 + Z$$

$$H_z = H + Z$$

$$H_z = 24.85 + Z$$

donde:

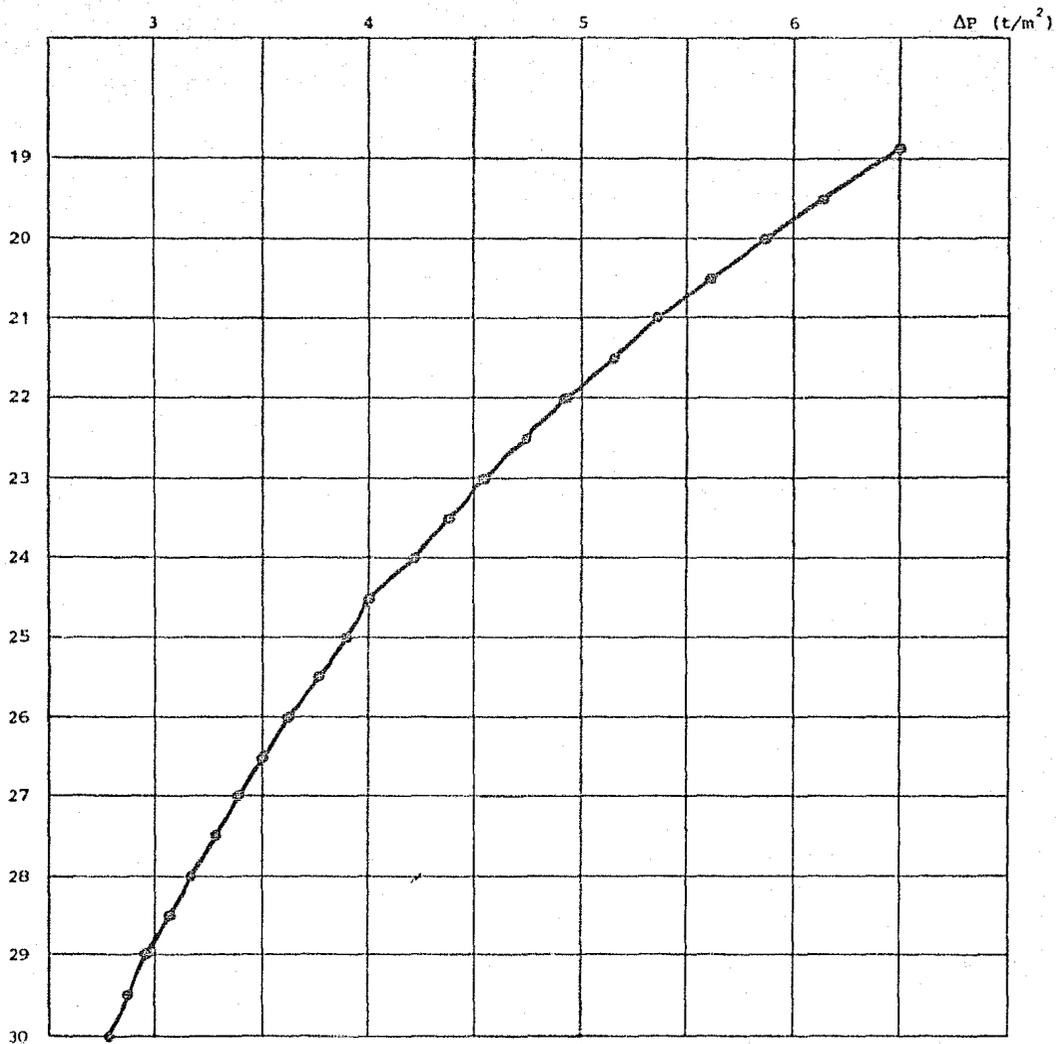
B es el ancho del predio

H es la longitud del predio

Z es la profundidad a la que se desea calcular el incremento de esfuerzo debido a la carga sobre los pi lotes

Prof (m)	Z_i (m)	D_i (m)	H_i (m)	A_z (m ²)	ΔP_z
18.9	0.0	18.2	24.85	452.00	6.50
19.5	0.6	18.8	25.45	478.46	6.14
20.0	1.1	19.3	25.95	500.84	5.87
20.5	1.6	19.8	26.45	523.71	5.61
21.0	2.1	20.3	26.95	547.09	5.37
21.5	2.6	20.8	27.45	570.96	5.15
22.0	3.1	21.3	27.95	595.34	4.94
22.5	3.6	21.8	28.45	620.21	4.74
23.0	4.1	22.3	28.95	645.59	4.55
23.5	4.6	22.8	29.45	671.46	4.38
24.0	5.1	23.3	29.95	697.84	4.21
24.5	5.6	23.8	30.45	724.71	4.05
25.0	6.1	24.3	30.95	752.09	3.91
25.5	6.6	24.8	31.45	779.96	3.77
26.0	7.1	25.3	31.95	808.34	3.63
26.5	7.6	25.8	32.45	837.21	3.51
27.0	8.1	26.3	32.95	866.59	3.39
27.5	8.6	26.8	33.45	896.46	3.28
28.0	9.1	27.3	33.95	926.84	3.17
28.5	9.6	27.8	34.45	957.71	3.07
29.0	10.1	28.3	34.95	989.09	2.97
29.5	10.6	28.8	35.45	1020.96	2.88
30.0	11.1	29.3	35.95	1053.34	2.79

Fig 15 Criterio de Peck. Incremento de esfuerzos verticales.



ESTRATO	PROFUNDIDAD (m)	\bar{z} (m)	h (cm)	σ_{od}	ΔP	e_o	e_f	Δe	ΔH (cm)
1	18.90-21.02	19.96	212	12.05	5.88	4.16	3.95	0.21	8.63
2	21.02-24.44	22.73	342	15.65	4.65	6.57	6.23	0.34	15.36
3	24.44-27.25	25.85	281	19.80	3.66	3.45	3.30	0.15	9.47
4	27.25-30.0	28.63	275	23.40	3.02	6.46	6.43	0.03	1.11
									34.60

Para una cimentación rígida:

$$\Delta H_r = \frac{2}{3} \Delta H$$

$$\Delta H_r = \frac{2}{3} \times (34.60 \text{ cm})$$

$$\Delta H_r = 23 \text{ cm}$$

El asentamiento máximo será de 23 cm

V.5.b CRITERIO DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL D.F.

De las propiedades del subsuelo (V.4.d) tenemos que la fricción suelo-pilote promedio para la longitud de pilote fijada es:

$$f = 3.45 \text{ t/m}^2$$

- Peso de la estructura $W = 4170 \text{ ton}$

- Peso de la cimentación $W_c = 991 \text{ ton}$

- Descarga por excavación $W_d = 1718 \text{ ton}$

Peso total: $W_t = 4170 + 991 + 1718$

$$W_t = 3443 \text{ ton}$$

La descarga por unidad de área es de:

$$w = \frac{W}{A}$$

$$w = \frac{3443 \text{ ton}}{452 \text{ m}^2}$$

$$w = 7.62 \text{ t/m}^2$$

Cálculo de asentamientos; se utilizará un factor de carga: $F_c = 1.0$

Pilotes cuadrados: se requieren 61 pilotes (de 0.40 X 0.40 m)

La posición del eje neutro está definida por la siguiente condición:

$$Q = C_p + F_{npp}^+$$

Donde: C_p es la capacidad de carga por punta de los pilotes

$$C_p = N (C N^c Fr + p_v) A_p$$

$$C_p = 61 (3.45 \{ 9 \} 1.0 + 33.6) 0.16$$

$$C_p = 629.2 \text{ ton}$$

$$Q = 3443 \text{ ton}$$

$$F_{nnpp}^+ = Q - C_p$$

$$F_{nnpp}^+ = 3443 - 629.2$$

$$F_{nnpp}^+ = 2813.8 \text{ ton}$$

Por otra parte:

$$F_{nnpp}^+ = l_e C_p N$$

$$l_e = \frac{F_{nnpp}^+}{C_p N}$$

$$l_e = \frac{2813.8 \text{ ton}}{3.45 (0.16) 61}$$

$$l_e = 8.41 \text{ m}$$

El nivel neutro se localiza a una profundidad:

$$n_n = D_f - l_e$$

$$n_n = 26.5 - 8.41$$

$$n_n = 18.1 \text{ m}$$

Pilotes tipo H (de 35 X 40) se requieren 65 pilotes; la posición del eje neutro está definida por la condición:

$$Q = C_p + F_{nnpp}^+$$

$$C_p = N (C N' c Fr + p v) A_p$$

$$C_p = 65 (3.45 \{ 9 \} 1.0 + 33.6) 0.0646$$

$$C_p = 270.7 \text{ ton}$$

$$F_{nnpp}^+ = Q - C_p$$

$$F_{nnpp}^+ = 3443 - 270.7$$

$$F_{nnpp}^+ = 3172.3 \text{ ton}$$

Por otra parte:

$$F_{nnpp} = l_e C p N$$

$$l_e = \frac{F_{nnpp}^+}{C p N}$$

$$l_e = \frac{3172.3}{3.43 (1.5) 65}$$

$$l_e = 9.5 \text{ m}$$

La profundidad del eje neutro es:

$$nn = Df - l_e$$

$$nn = 26.5 - 9.5$$

$$nn = 17.0 \text{ m}$$

Con estas bases, se procede a calcular los asentamientos en cuatro puntos del área, tanto para pilotes cuadrados como de sección "H".

CALCULO DE PRESIONES

PILOTES CUADRADOS

Tramo	Prof	Zm	Long	fa	F ⁺ i	F ⁺ i/A	Z/r	I	P(+)	1-I	d(-)
1	18.10-21.02	19.56	2.92	5.0	1425.0	3.15	1.630	0.612	1.93	0.390	1.23
2	21.02-24.44	22.73	3.42	5.0	1669.0	3.69	1.894	0.575	2.12	0.430	1.59
3	24.44-26.50	25.47	2.06	5.0	1005.3	2.22	2.123	0.558	1.24	0.442	0.98
						9.06			5.29		3.80
Punta	26.50					1.392	2.208	0.556	0.774	0.444	0.618
						10.452			6.064		4.418

PILOTES TRIANGULARES

Tramo	Prof	Zm	Long	fa	F ⁺ i	F ⁺ i/A	Z/r	I	P(+)	1-I	d(-)
1	17.40-21.02	19.21	3.62	5.0	1759.3	3.89	1.601	0.616	2.40	0.384	1.49
2	21.02-24.44	22.73	3.42	5.0	1662.1	3.68	1.894	0.575	2.12	0.425	1.56
3	24.44-26.50	25.47	2.06	5.0	1001.2	2.22	2.123	0.558	1.24	0.442	0.98
						9.79			5.76		4.03
Punta	26.50					0.901	2.208	0.556	0.501	0.444	0.40
						10.691			6.261		4.43

PILOTES TIPO H

Tramo	Prof	Zm	Long	fa	F ⁺ i	F ⁺ i/A	Z/r	I	P(+)	1-I	d(-)
1	17.00-21.02	19.01	4.02	5.0	1959.8	4.34	1.584	0.618	2.68	0.382	1.66
2	21.02-24.44	22.73	3.42	5.0	1667.3	3.69	1.894	0.575	2.12	0.425	1.568
3	24.44-26.50	25.47	2.06	5.0	1004.3	2.22	2.123	0.558	1.24	0.442	0.98
						10.25			6.04		4.208
Punta	26.50					0.599	2.208	0.556	0.333	0.444	0.266
						10.849			6.373		4.474

PILOTES CUADRADOS

INCREMENTO DE ESFUERZOS

CENTRO X = 9.10 m
Y = 12.42 m

Tramo	Zm	Carga	Z	Z'	X/Z'	Y/Z'	Iz	ΔPz
1	19.56	-1.23	18.1	1.46	6.23	8.51	0.24945	-1.227
			20.0	0.44	20.68	28.23	0.24980	1.928
		1.93	22.0	2.44	3.73	5.09	0.24744	1.910
			24.0	4.44	2.05	2.80	0.23758	1.834
		26.0	6.44	1.41	1.93	0.22010	1.699	
		28.0	8.44	1.08	1.47	0.19745	1.524	
		30.0	10.44	0.87	1.19	0.17446	1.347	
2	22.73	-1.59	18.1	4.63	1.97	2.68	0.23635	-1.503
			20.0	2.73	3.33	4.55	0.24642	-1.567
		2.12	22.0	0.73	12.47	17.01	0.24980	-1.589
			24.0	1.27	7.47	9.78	0.24964	2.117
		26.0	3.27	2.78	3.80	0.24427	2.071	
		28.0	5.27	1.73	2.36	0.23099	1.959	
		30.0	7.27	1.25	1.71	0.21094	1.789	
3	25.47	-0.98	18.1	7.37	1.23	1.69	0.20984	-0.823
			20.0	5.47	1.66	2.27	0.22904	-0.898
		1.24	22.0	3.47	2.62	3.58	0.24330	-0.954
			24.0	1.47	6.19	8.45	0.24944	-0.978
		26.0	0.53	17.17	23.43	0.24980	1.239	
		28.0	2.53	3.60	4.91	0.24713	1.226	
		30.0	4.53	2.01	2.74	0.23705	1.176	
Punta	26.50	-0.618	18.1	8.40	1.08	1.48	0.19784	-0.489
			20.0	6.50	1.40	1.91	0.21961	-0.543
		0.774	22.0	4.50	2.02	2.76	0.23720	-0.586
			24.0	2.50	3.64	4.97	0.24723	-0.611
		26.0	0.50	18.20	24.84	0.24980	-0.618	
		28.0	1.50	6.07	8.28	0.24942	0.772	
		30.0	3.50	2.60	3.55	0.24317	0.753	

PILOTES CUADRADOS

INCREMENTO DE ESFUERZOS

EXTREMO X = 9.1 m
Y = 24.85 m

Tramo	Zm	Carga	Z	Z'	X/Z'	Y/Z'	Iz	ΔPz	
1	19.56	-1.23	18.1	1.46	6.23	17.02	0.24952	-0.614	
			20.0	0.44	20.68	56.48	0.24980	0.964	
		1.93	22.0	2.44	3.73	10.18	0.24789	0.957	
			24.0	4.44	2.05	5.60	0.24006	0.927	
			26.0	6.44	1.41	3.86	0.22625	0.873	
			28.0	8.44	1.08	2.94	0.20843	0.805	
			30.0	10.44	0.87	2.38	0.19009	0.734	
2	22.73	-1.59	18.1	4.63	1.97	5.37	0.23912	-0.760	
			20.0	2.73	3.33	9.10	0.24713	-0.786	
			22.0	0.73	12.47	34.04	0.24980	-0.794	
		2.12	24.0	1.27	7.17	19.57	0.24962	1.058	
			26.0	3.27	2.78	7.60	0.24549	1.041	
			28.0	5.27	1.73	4.72	0.23489	0.996	
			30.0	7.27	1.25	3.42	0.21886	0.928	
3	25.47	-0.98	18.1	7.37	1.23	3.37	0.21794	-0.427	
			20.0	5.47	1.66	4.54	0.23342	-0.457	
			22.0	3.47	2.62	7.16	0.24474	-0.480	
			24.0	1.47	6.19	16.90	0.24952	-0.489	
		1.24	26.0	0.53	17.17	46.89	0.24980	0.620	
			28.0	2.53	3.60	9.82	0.24764	0.614	
			30.0	4.53	2.01	5.49	0.23969	0.594	
Punta	26.50	-0.618	18.1	8.40	1.08	2.96	0.20847	-0.258	
			20.0	6.50	1.40	3.82	0.22582	-0.279	
			22.0	4.50	2.02	5.52	0.23978	-0.296	
			24.0	2.50	3.64	9.94	0.24772	-0.306	
			26.0	0.50	18.20	49.70	0.24980	-0.309	
			0.774	28.0	1.50	6.07	16.57	0.24951	0.386
				30.0	3.50	2.60	7.10	0.24465	0.379

PILOTES CUADRADOS

INCREMENTO DE ESFUERZOS

EXTREMO

X = 18.20 m

Y = 12.42 m

Tramo	Zm	Carga	Z	Z'	X/Z'	Y/Z'	Iz	ΔPz
1	19.56	-1.23	18.1	1.46	12.47	8.51	0.24973	-0.614
			20.0	0.44	41.36	28.23	0.24980	0.964
		1.93	22.0	2.44	7.46	5.09	0.24907	0.961
			24.0	4.44	4.10	2.80	0.24472	0.945
			26.0	6.44	2.83	1.93	0.23624	0.912
			28.0	8.44	2.16	1.47	0.22352	0.863
			30.0	10.44	1.74	1.19	0.20879	0.806
2	22.73	-1.59	18.1	4.63	3.93	2.68	0.24405	-0.776
			20.0	2.73	6.67	4.55	0.24865	-0.791
		2.12	22.0	0.73	24.93	17.01	0.24980	-0.794
			24.0	1.27	14.33	9.78	0.24979	1.059
			26.0	3.27	5.57	3.80	0.24770	1.050
			28.0	5.27	3.45	2.36	0.24144	1.024
			30.0	7.27	2.50	1.71	0.23155	0.982
3	25.47	-0.98	18.1	7.37	2.47	1.69	0.23095	-0.453
			20.0	5.47	3.33	2.27	0.24052	-0.471
		1.24	22.0	3.47	5.24	3.58	0.24721	-0.485
			24.0	1.47	12.38	8.45	0.24972	-0.489
			26.0	0.53	34.34	23.43	0.24980	0.620
			28.0	2.53	7.19	4.91	0.24896	0.617
			30.0	4.53	4.02	2.74	0.24442	0.606
Punta	26.50	-0.618	18.1	8.40	2.17	1.48	0.22386	-0.277
			20.0	6.50	2.80	1.91	0.23586	-0.292
		0.744	22.0	4.50	4.04	2.76	0.24451	-0.302
			24.0	2.50	7.28	4.97	0.24901	-0.308
			26.0	0.50	36.40	24.84	0.24980	-0.309
			28.0	1.50	12.13	8.28	0.24971	0.387
			30.0	3.50	5.20	3.55	0.24714	0.383

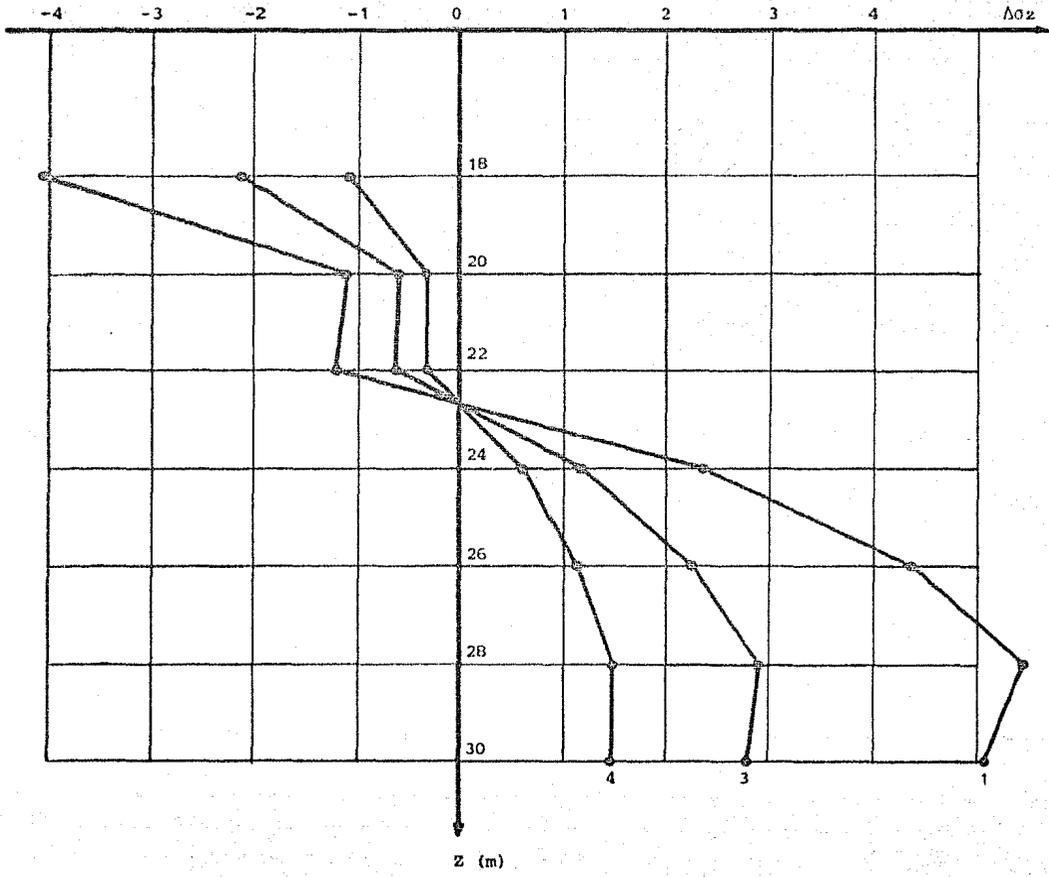
PILOTES CUADRADOS

INCREMENTOS DE ESFUERZOS

ESQUINA X = 18.20 m
Y = 24.85 m

Tramo	Zm	Carga	Z	Z'	X/Z'	Y/Z'	Iz	ΔPz
1	19.56	-1.23	18.1	1.46	12.47	17.02	0.24980	-0.307
			20.0	0.44	41.36	56.48	0.24980	0.482
		1.93	22.0	2.44	7.46	10.18	0.24965	0.482
			24.0	4.44	4.10	5.60	0.24815	0.479
			26.0	6.44	2.83	3.86	0.24457	0.472
			28.0	8.44	2.16	2.94	0.23896	0.461
			30.0	10.44	1.74	2.38	0.23132	0.446
2	22.73	-1.59	18.1	4.63	3.93	5.37	0.24788	-0.394
			20.0	2.73	6.67	9.10	0.24952	-0.397
			22.0	0.73	24.93	34.04	0.24980	-0.397
		2.12	24.0	1.27	14.33	19.57	0.24980	0.530
			26.0	3.27	5.57	7.60	0.24923	0.528
			28.0	5.27	3.45	4.72	0.24674	0.523
			30.0	7.27	2.50	3.42	0.24259	0.514
3	25.47	-0.98	18.1	7.37	2.47	3.37	0.24226	-0.237
			20.0	5.47	3.33	4.54	0.24642	-0.241
			22.0	3.47	5.24	7.16	0.24909	-0.244
		1.24	24.0	1.47	12.38	16.90	0.24980	-0.245
			26.0	0.53	34.34	46.89	0.24980	0.310
			28.0	2.53	7.19	9.82	0.24961	0.310
			30.0	4.53	4.02	5.49	0.24806	0.308
Punta	26.5	-0.618	18.1	8.40	2.17	2.96	0.23910	-0.148
			20.0	6.50	2.80	3.82	0.24439	-0.151
			22.0	4.50	4.04	5.52	0.24808	-0.153
		0.774	24.0	2.50	7.28	9.94	0.24963	-0.154
			26.0	0.50	36.40	49.70	0.24980	-0.154
			28.0	1.50	12.13	16.57	0.24980	0.193
			30.0	3.50	5.20	7.10	0.24907	0.193

Fig 16 Criterio del R.C. para el D.F. Distribución de incremento de esfuerzo vertical, pilotes cuadrados. Análisis de asentamientos.



CALCULO DE ASENTAMIENTOS

PILOTES CUADRADOS

Punto	Z (m)	H (m)	P_o (t/m^2)	ΔP (t/m^2)	P (t/m^2)	e	$1+e_o$	H (cm)
1	18.80	2.92	11.40	-2.80	8.60	0.02	5.18	-1.13
	23.24	3.42	16.20	0.90	17.10	0.03	7.54	1.36
	25.64	2.81	19.45	4.00	23.45	0.18	4.48	11.29
	28.87	2.75	23.80	5.25	29.05	0.06	7.47	<u>2.21</u>
								13.73
2	18.80	2.92	11.40	-1.35	10.05	0.01	5.18	-0.56
	23.24	3.42	16.20	0.45	16.65	0.01	7.54	0.45
	25.64	2.81	19.45	2.05	21.50	0.13	4.48	8.15
	28.87	2.75	23.80	2.74	26.54	0.04	7.47	<u>1.74</u>
								9.51
3	18.80	2.92	11.40	-1.50	9.90	0.02	5.18	-1.13
	23.24	3.42	16.20	0.45	16.65	0.01	7.54	0.45
	25.64	2.81	19.45	2.15	21.60	0.14	4.48	8.78
	28.87	2.75	23.80	2.81	26.61	0.04	7.47	<u>1.47</u>
								9.57
4	18.8	2.92	11.40	-0.75	10.65	0.01	5.18	-0.56
	23.24	3.42	16.20	0.25	16.45	0.01	7.54	0.45
	25.64	2.81	19.45	1.10	20.55	0.07	4.48	4.39
	28.87	2.75	23.80	1.47	25.27	0.02	7.47	<u>0.74</u>
								5.02

$$H = \frac{\Delta e}{1 + e_o} H$$

ASENTAMIENTO TOTAL MAXIMO = 13.73 cm

ASENTAMIENTO DIFERENCIAL = 8.71 cm

PILOTES TIPO H

INCREMENTO DE ESFUERZOS

CENTRO X = 9.10 m
Y = 12.42 m

Tramo	Zm	Carga	Z	Z'	X/Z'	Y/Z'	Iz	ΔPz
1	19.01	-1.66	17.0	2.01	4.53	6.18	0.24859	-1.651
			20.0	0.99	9.19	12.55	0.24976	2.677
		2.68	22.0	2.99	3.04	4.15	0.24566	2.633
			24.0	4.99	1.82	2.49	0.23353	2.503
			26.0	6.99	1.30	1.78	0.21404	2.294
			28.0	8.99	1.01	1.38	0.19134	2.051
			30.0	10.99	0.83	1.13	0.16811	1.802
2	22.73	-1.57	17.0	5.73	1.59	2.17	0.22694	-1.425
			20.0	2.73	3.33	4.55	0.24642	-1.548
		2.12	22.0	0.73	12.47	17.01	0.24980	-1.569
			24.0	1.27	7.17	9.78	0.24961	2.117
			26.0	3.27	2.78	3.80	0.24427	2.071
			28.0	5.27	1.73	2.36	0.23099	1.959
			30.0	7.27	1.25	1.71	0.21094	1.789
3	25.47	-0.98	17.0	8.47	1.07	1.47	0.19687	-0.772
			20.0	5.47	1.66	2.27	0.22904	-0.898
		1.24	22.0	3.47	2.62	3.58	0.24330	-0.954
			24.0	1.47	6.19	8.45	0.24944	-0.978
			26.0	0.53	17.17	23.45	0.24980	1.239
			28.0	2.53	3.60	4.91	0.24713	1.226
			30.0	4.53	2.01	2.74	0.23705	1.176
Punta	26.5	-0.266	17.0	9.50	0.96	1.31	0.18552	-0.197
			20.0	6.50	1.40	1.91	0.21961	-0.234
		0.333	22.0	4.50	2.02	2.76	0.23720	-0.252
			24.0	2.50	3.64	4.97	0.24723	-0.263
			26.0	0.50	18.20	24.84	0.24980	-0.266
			28.0	1.50	6.07	8.28	0.24942	0.332
			30.0	3.50	2.60	3.55	0.24317	0.324

PILOTES TIPO H

INCREMENTO DE ESFUERZOS

EXTREMO X = 9.10 m
Y = 24.85 m

Tramo	Zm	Carga	Z	Z'	X/Z'	Y/Z'	Iz	ΔPz
1	19.01	-1.66	17.0	2.01	4.53	12.36	0.24903	-0.827
			20.0	0.99	9.19	25.10	0.24976	1.339
		2.68	22.0	2.99	3.04	8.31	0.24658	1.322
			24.0	4.99	1.82	4.98	0.23670	1.269
			26.0	6.99	1.30	3.56	0.22118	1.186
			28.0	8.99	1.01	2.76	0.20356	1.091
			30.0	10.99	0.83	2.26	0.18538	0.994
2	22.73	-1.57	17.0	5.73	1.59	4.34	0.23183	-0.728
			20.0	2.73	3.33	9.10	0.24713	-0.776
		2.12	22.0	0.73	12.47	34.04	0.24980	-0.784
			24.0	1.27	7.17	19.57	0.24962	1.058
			26.0	3.27	2.78	7.60	0.24549	1.041
			28.0	5.27	1.73	4.72	0.23489	0.996
			30.0	7.27	1.25	3.42	0.21886	0.928
3	25.47	-0.98	17.0	8.47	1.07	2.93	0.20777	-0.407
			20.0	5.47	1.66	4.54	0.23342	-0.457
		1.24	22.0	3.47	2.62	7.16	0.24474	-0.480
			24.0	1.47	6.19	16.90	0.24952	-0.489
			26.0	0.53	17.17	46.89	0.24980	0.620
			28.0	2.53	3.60	9.82	0.24764	0.614
			30.0	4.53	2.01	5.49	0.23969	0.594
Punta	26.5	-0.266	17.0	9.50	0.96	2.62	0.19919	-0.106
			20.0	6.50	1.40	3.82	0.22582	-0.120
		0.333	22.0	4.50	2.02	5.52	0.23978	-0.128
			24.0	2.50	3.64	9.94	0.24772	-0.132
			26.0	0.50	18.20	49.70	0.24980	-0.133
			28.0	1.50	6.07	16.57	0.24951	0.166
			30.0	3.50	2.60	7.10	0.24465	0.163

PILOTES TIPO H

INCREMENTO DE ESFUERZOS

EXTREMO X = 18.20 m
Y = 12.42 m

Tramo	Zm	Carga	Z	Z'	X/Z'	Y/Z'	Iz	ΔPz
1	19.01	-1.66	17.0	2.01	9.05	6.18	0.24947	-0.828
			20.0	0.99	18.38	12.55	0.24980	1.339
		2.68	22.0	2.99	6.09	4.15	0.24831	1.331
			24.0	4.99	3.65	2.49	0.24283	1.302
		26.0	6.99	2.60	1.78	0.23325	1.250	
		28.0	8.99	2.02	1.38	0.21990	1.179	
		30.0	10.99	1.66	1.13	0.20403	1.094	
		2	22.73	-1.57	17.0	5.73	3.18	2.17
20.0	2.73				6.67	4.55	0.24865	-0.781
2.12	22.0			0.73	24.93	17.01	0.24980	-0.784
	24.0			1.27	14.33	9.78	0.24979	1.059
26.0	3.27			5.57	3.80	0.24770	1.050	
28.0	5.27			3.45	2.36	0.24093	1.022	
30.0	7.27			2.50	1.71	0.23155	0.982	
3	25.47			-0.98	17.0	8.47	2.15	1.47
		20.0	5.47		3.33	2.27	0.24052	-0.471
		1.24	22.0	3.47	5.24	3.58	0.24721	-0.485
			24.0	1.47	12.38	8.45	0.24972	-0.489
		26.0	0.53	34.34	23.43	0.24980	0.620	
		28.0	2.53	7.19	4.91	0.24896	0.617	
		30.0	4.53	4.02	2.74	0.24442	0.606	
		Punta	26.5	-0.266	17.0	9.50	1.92	1.31
20.0	6.50				2.80	1.91	0.23586	-0.125
0.333	22.0			4.50	4.04	2.76	0.24451	-0.130
	24.0			2.50	7.28	4.97	0.24901	-0.132
26.0	0.50			36.40	24.84	0.24980	-0.133	
28.0	1.50			12.13	8.28	0.24971	0.166	
30.0	3.50			5.20	3.55	0.24714	0.165	

PILOTES TIPO H

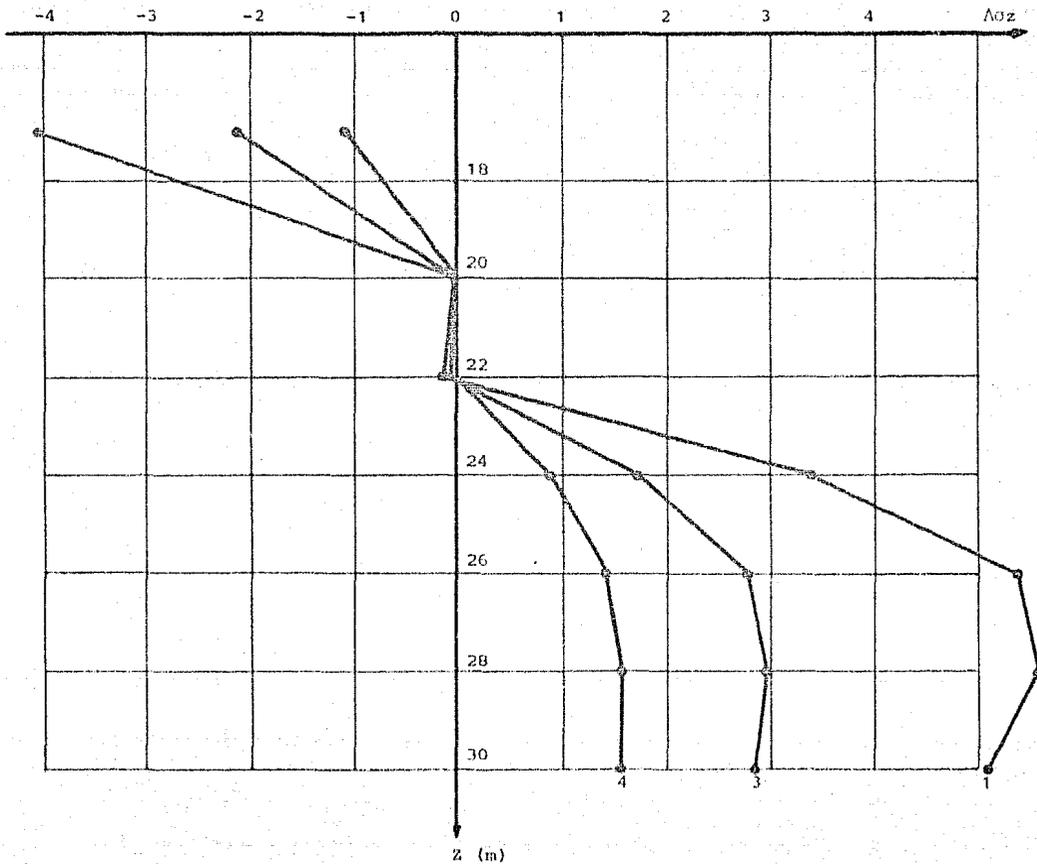
INCREMENTO DE ESFUERZOS

ESQUINA

X = 18.20 m
Y = 24.85 m

Tramo	Zm	Carga	Z	Z'	X/Z'	Y/Z'	Iz	ΔPz
1	19.01	-1.66 2.68	17.0	2.01	9.05	12.36	0.24975	-0.415
			20.0	0.99	18.38	25.10	0.24980	0.669
			22.0	2.99	6.09	8.31	0.24943	0.668
			24.0	4.99	3.65	4.98	0.24726	0.663
			26.0	6.99	2.60	3.56	0.24319	0.652
			28.0	8.99	2.02	2.76	0.23720	0.636
			30.0	10.99	1.66	2.26	0.22897	0.614
2	22.73	-1.57 2.12	17.0	5.73	3.18	4.34	0.24603	-0.386
			20.0	2.73	6.67	9.10	0.24952	-0.392
			22.0	0.73	24.93	34.04	0.24980	-0.392
			24.0	1.27	14.33	19.57	0.24980	0.530
			26.0	3.27	5.57	7.60	0.24923	0.528
			28.0	5.27	3.45	4.72	0.24674	0.523
			30.0	7.27	2.50	3.42	0.24259	0.514
3	25.47	-0.98 1.24	17.0	8.47	2.15	2.93	0.23884	-0.234
			20.0	5.47	3.33	4.54	0.24642	-0.241
			22.0	3.47	5.24	7.16	0.24909	-0.244
			24.0	1.47	12.38	16.90	0.24980	-0.245
			26.0	0.53	34.34	46.89	0.24980	0.310
			28.0	2.53	7.19	9.82	0.24961	0.310
			30.0	4.53	4.02	5.49	0.24806	0.308
Punta	26.5	-0.266 0.333	17.0	9.50	1.92	2.62	0.23543	-0.063
			20.0	6.50	2.80	3.82	0.24439	-0.065
			22.0	4.50	4.04	5.52	0.24808	-0.066
			24.0	2.50	7.28	9.94	0.24963	-0.066
			26.0	0.50	36.40	49.70	0.24980	-0.066
			28.0	1.50	12.13	16.57	0.24980	0.083
			30.0	3.50	5.20	7.10	0.24907	0.083

Fig 17 Criterio del R.C. para el D.F. Distribución de incremento de esfuerzo vertical, pilotes tipo H. Análisis de asentamientos.



CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

PILOTES TIPO H

Punto	Z (m)	H (m)	P_o (t/m ²)	ΔP (t/m ²)	P (t/m ²)	e	$1+e_o$	H (cm)
1	18.80	4.02	11.40	-1.70	9.70	0.02	5.18	-1.13
	23.24	3.42	16.20	2.00	18.20	0.12	7.54	5.44
	25.64	2.81	19.45	4.93	24.38	0.22	4.48	13.80
	28.87	2.75	23.80	5.30	29.10	0.06	7.47	2.21
								<u>20.32</u>
2	18.80	4.02	11.40	-0.85	10.55	0.01	5.18	-0.56
	23.24	3.42	16.20	1.00	17.20	0.04	7.54	1.81
	25.64	2.81	19.45	2.50	21.95	0.14	4.48	8.78
	28.87	2.75	32.80	2.74	26.54	0.03	7.47	1.10
								<u>11.13</u>
3	18.80	4.02	11.40	-0.86	10.54	0.01	5.18	-0.56
	23.24	3.42	16.20	1.15	17.35	0.04	7.54	1.81
	25.64	2.81	19.45	2.55	22.00	0.14	4.48	8.78
	28.87	2.75	23.80	2.80	26.60	0.04	7.47	1.47
								<u>11.50</u>
4	18.80	4.02	11.40	-0.45	10.95	0.01	5.18	-0.56
	23.24	3.42	16.20	0.55	16.75	0.01	7.54	0.45
	25.64	2.81	19.45	1.30	20.75	0.08	4.48	5.02
	28.87	2.75	23.80	1.55	25.35	0.02	7.47	0.74
								<u>5.65</u>

$$H = \frac{\Delta e}{1 + e_o} H$$

ASENTAMIENTO TOTAL MAXIMO = 20.32 cm

ASENTAMIENTO DIFERENCIAL = 14.67 cm

VI. RESULTADOS

A continuación se presentan en forma resumida los resultados obtenidos tanto en el análisis de capacidad de carga como el de asentamientos, asimismo se indican las características de la cimentación que se consideraron al efectuar el análisis, de esta forma pueden compararse facilmente.

Se observa que los valores obtenidos en el análisis de capacidad de carga resultan consistentes, el factor de seguridad utilizado fue el mismo al aplicar todos los criterios.

Los resultados obtenidos en el análisis de asentamientos presentan mayores diferencia, estas se comentan en el capítulo VII.

VI.1 CAPACIDAD DE CARGA

Criterio	Fricción Unitaria (t/m ²)	Tipo de Pilote	Capacidad de Carga (ton)	Número de Pilotes
Usual	1.83	Triangular (45)	56.3	61
		Cuadrado (40)	66.7	52
		Tipo H (35x40)	62.5	55
Tomlinson	1.55	Triangular (45)	47.7	72
		Cuadrado (40)	56.5	61
		Tipo H (35x40)	53.0	65
Va. RSMMS	1.55	Triangular (45)	47.7	72
		Cuadrado (40)	56.5	61
		Tipo H (35x40)	53.0	65
R.C. D.F.	3.45*	Cuadrado (40)	88.0	63
		Tipo H (35x40)	82.0	67
Zeevaert	f(z)**	Cuadrado (40)	89.0	56

VI.2 ASENTAMIENTOS

Criterio	Tipo de Pilote	Máximo (cm)	Diferencial (cm)
Peck	Cualquiera	23.0	- -
R.C. D.F.	Cuadrados (40)	13.73	8.71
	Tipo H (35x40)	20.32	14.67

* Fricción unitaria a la falla.

** Variable con la profundidad.

VII. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se observa que puede utilizarse en forma - confiable cualquiera de los métodos aquí expuestos para estimar la capacidad de carga, sin embargo puede recomendarse el criterio de Zeevaert, que no obstante es relativamente más complicado que los otros, permite analizar en forma racional el fenómeno que se desarrolla. Para cálculos previos, pueden utilizarse en forma confiable los otros criterios.

Para el análisis de asentamientos, con el criterio de Peck, dependiendo de las características del subsuelo, pueden obtenerse resultados conservadores, el asentamiento que resulta es mayor que el real para el caso de la ciudad de México (Zona del Lago), pero su uso podría resultar arriesgado en condiciones diferentes.

El criterio del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal analiza de manera más rigurosa los factores que intervienen, este crite-

rio resulta el más adecuado para estimar los asentamientos.

La integración de la solución de Mindlin sería el método más exacto para la determinación del incremento de esfuerzos, pero su uso resulta muy engorroso, por otra parte se pierde exactitud al utilizar hipótesis simplificadoras al suponer la transferencia de carga pilote-suelo.

Cuando la importancia de una obra lo amerite, deberán realizarse pruebas de carga, para determinar en forma precisa la capacidad de carga por fricción de los pilotes, en obras pequeñas, no conviene realizarlas, ya que su costo es alto y se requiere de tiempo para realizarlas, los pilotes deben permanecer después de la hinca al menos un mes sin que se les aplique carga, para que se disipe el incremento en las presiones de poro generadas durante la hinca y el suelo recupere su resistencia original.

Debe tenerse en cuenta que la exactitud en el cálculo de la capacidad de carga y asentamientos de pilas y pilotes, así como el comportamiento de grupos de pilotes, depende del resultado obtenido de la investigación de la estratigrafía, las condiciones hidráulicas y las propiedades mecánicas del subsuelo.

Para que una cimentación se comporte en forma adecuada, no solo deberá realizarse un buen diseño, sino también deberá planearse en forma cuidadosa el procedimiento constructivo.

Se procurará efectuar nivelaciones periódicas durante la vida útil de la obra, para conocer el desarrollo de los asentamientos a lo largo del tiempo.

La investigación en esta rama de la Ingeniería Civil, deberá realizar

estudios que permitan evaluar factores tales como: la influencia del hundimiento regional, la transferencia de carga pilote-suelo, el comportamiento de grupos de pilotes, la influencia de la rigidez de la subestructura en el desarrollo de los asentamientos, la generación de fricción negativa y su magnitud.

VIII. REFERENCIAS

1. Terzaghi, K., Peck, R. B., "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica" (1975)
2. Reséndiz, D., Springall, G., Rodríguez, J., Esquivel, R., "Información reciente sobre las características del subsuelo y la práctica de la Ingeniería de Cimentaciones en la Ciudad de México" V^a Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México 1970.
3. "Diseño y construcción de Cimentaciones. Normas técnicas complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal" Publicación 405, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. (1977)
4. Zeevaert, L., "Foundation Engineering for difficult subsoil conditions" Van Nostrand Reinhold (1973)
5. Peck, R. B., Hanson, W. E., Thornburn, T. H., "Foundation Engineering" J. Wiley, New York (1974)

6. Reséndiz, D., Auvinet, G., "Analysis of pile foundations in consolidating soil" Publicación E7, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. (1973)
7. Leon, J. L., Reséndiz, D., "Cálculo de asentamientos de cimentaciones sobre pilotes de fricción" Publicación 420, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. (1977)