



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**"DISEÑO DE UNA CIMENTACION
COMPENSADA CON PILOTES
DE FRICCION"**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A
J A I M E T O R R E S G A R C I A



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL

	Pág.
I.- INTRODUCCION	1
II.- CONSIDERACIONES SOBRE PILOTES DE FRICCION	5
III.- CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES	13
IV.- ANALISIS DE UNA CIMENTACION COMPENSADA CON PILOTES DE FRICCION	35
V.- EJEMPLO DE APLICACION	49
VI.- CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFIA	75

I.- INTRODUCCION

El Ingeniero de Cimentaciones durante su práctica profesional, tiene como meta principal planear, diseñar y construir "conexiones " entre las Obras Civiles y el Sistema tierra.

Tales " conexiones " deben cumplir en todo momento con dos condiciones básicas:

- a).- Que no se rompan.
- b).- Que no se deformen excesivamente.

Si las " conexiones " se realizan practicamente en la superficie del terreno, se acostumbra llamar " Cimentaciones Superficiales " por el contrario si los estratos superficiales no tienen suficiente calidad o bien son susceptibles de ser socavados por el agua, y es necesario apoyarse más abajo, se denominarán " Cimentaciones Profundas ".

No existe un criterio único para separar las Cimentaciones Superficiales ó Someras de las profundas. Sin embargo es aceptado generalmente que cuando la relación entre la -- profundidad y el ancho del cimiento es mayor de 4 se tienen cimientos profundos.

Es indudable que en la elección de la mejor alternativa de cimentación para una obra dada, juegan papeles importantes el tipo de estructuración, las dimensiones y el peso propio de la obra.

En ocasiones el mismo tipo de suelo puede ser aceptado o rechazado como apoyo dependiendo del tipo de Obra que de él se construya.

En la Ciudad de México, por ejemplo, es factible cimentar pequeñas estructuras sobre cimentaciones superficiales del tipo zapatas, de 1 a 2 metros de ancho diseñadas para una presión de trabajo 3.0 ton/m²; sin embargo al pretender emplear losas de cimentación apoyadas superficialmente en grandes extensiones, 50 X 100 metros, con presiones de trabajo iguales a 3.0 ton/m², se engendran asentamientos totales y diferenciales -- inadmisibles que causan daños a las estructuras.

Es conocido el hecho, de que la Ciudad de México, descansa sobre un subsuelo blando y compresible formado predominantemente por arcillas de origen volcánico con 600 % de contenido natural de agua y relación de vacíos de 7.0 en promedio.

La extracción del agua en el subsuelo para fines de abastecimiento urbano provoca enjuntamiento de los mantos compresibles y ello causa hundimientos de la superficie del terreno, que en algunos puntos han sido cercanos a 10 m.

Las arcillas blandas y compresibles del subsuelo de la Ciudad han provocado que edificios pesados como el Palacio de Bellas Artes se hundan y que otros, como el Palacio de Minería se ondulen.

Cuando se intenta soportar las estructuras mediante pilotes apoyados por punta; se empieza a observar el fenómeno inverso, debido al hundimiento general del Valle, ya que los edificios tienden a " Emerger ".

En uno y otro caso las construcciones vecinas a cuerpos que se hundan o emergen, se fracturan por efecto de asentamientos diferenciales y en muchos casos se tienen que demoler.

Esta situación prevaleciente en la Ciudad aguzó el ingenio de los constructores, para diseñar y construir cimentaciones que cumplan con el doble requisito de reducir a valores aceptables el hundimiento de las estructuras y evitar su emergimiento en relación al terreno vecino inmediato.

Es así como se desarrollan los pilotes de control, de punta, de fricción, mixtos, etc; algunos de los cuales han dado excelentes resultados.

Usualmente en la Ciudad de México los edificios mayores de 5 niveles deben diseñarse con cimientos profundos a base de cajón compensado o bien con pilotes, para evitar asentamientos.

Cuando el peso de la estructura incluyendo su cimentación es igual al peso del subsuelo desalojado, se dice que se trata de una cimentación totalmente compensada.

Si el peso del suelo desalojado es menor que el del edificio, se tiene una cimentación parcialmente compensada.

Cuando el peso del edificio es menor al peso del material desalojado, se dice que se trata de una cimentación sobre compensada.

En este trabajo se harán consideraciones sobre cimentaciones parcialmente compensadas.

Para su desarrollo, el trabajo ha sido dividido en las siguientes partes:

- Consideraciones sobre pilotes de fricción.
- Capacidad de carga de pilotes.
- Análisis de una cimentación compensada con pilotes de fricción.
- Ejemplo de aplicación.

La primera parte se refiere a algunos criterios importantes que se deben tomar en cuenta para el análisis y diseño de cimentaciones con pilotes de fricción.

La segunda parte sobre la evaluación de la capacidad de carga en las cimentaciones, incluye criterios de algunos autores, para la evaluación de ésta.

En la tercera parte se exponen aspectos importantes de la fricción Negativa y Positiva, así como, de Momentos de Volteo y Cortante.

En la última parte se presenta un ejemplo de aplicación, que toma en cuenta aspectos de los temas antes tratados para el análisis de cimentaciones parcialmente compensadas.

Los pilotes de fricción se utilizan cuando no se encuentra ningún estrato resistente en el que podrían apoyarse pilotes de punta, o cuando el sitio donde se instalarán se localiza en una zona que sufre asentamientos significativos por consolidación regional.

La solución combinada de compensación parcial y pilotes de fricción, tiene por objeto reducir asentamientos y evitar emergimiento del conjunto.

La compatibilidad de funcionamiento entre ambas soluciones de cimentación proviene de que los pilotes trabajan por fricción casi al límite o sea que siempre deslizan hacia abajo ligeramente permitiendo que el cajón parcialmente compensado funcione como tal, redistribuyendo las presiones en el subsuelo con miras a reducir asentamientos.

II.- CONSIDERACIONES SOBRE PILOTES DE FRICCIÓN.

2.1- INTRODUCCION.

Las cimentaciones profundas son utilizadas cuando las capas superficiales del subsuelo son incompetentes como terreno de cimentación. Trabajan transmitiendo -- las cargas de la estructura a estratos de suelo más resistente y menos compresibles o distribuyéndolas por fricción (a lo largo de elementos tales como pilas y pilotes) en espesores más o menos grandes de suelos blandos o sueltos. Este último caso se presenta cuando el estrato resistente es muy profundo o cuando los suelos blandos están sujetos a un proceso de consolidación.

En el análisis de cimentaciones profundas debe estudiarse razonablemente su comportamiento, ya que los desplazamientos pueden llegar a ser importantes y darse la situación de que la solución adoptada resulte inútil y a veces perjudicial. Por ejemplo, un edificio cimentado con pilotes de punta en un sitio afectado por hundimiento regional, como en la ciudad de México, y además colindando con cimentaciones superficiales. Otro ejemplo, también visto en la ciudad de México, lo es el empleo de pilotes de fricción cortos en suelos arcillosos de gran espesor, que pueden -- afectar un mayor volumen de suelo compresible que el involucrado por la losa o cajón que le transmite las cargas (fig. 2.1).

2.2.- ASENTAMIENTO DE UN GRUPO DE PILOTES.

El asentamiento de un grupo de pilotes tiene dos componentes:

- A).- La deformación elástica o acortamiento de los pilotes.
- B).- El hundimiento debido a la deformación de los estratos de suelos debajo de la punta de los pilotes.

El asentamiento del grupo generalmente es mayor que el de un pilote aislado sometido a la misma carga que cualquiera de los del grupo, excepto cuando los pilotes se apoyan en roca o en un estrato potente de suelo de muy baja compresibilidad. Esto puede demostrarse a partir del volumen del suelo compresible afectado por la sollicitación impuesta en uno y otro caso, lo que se ilustra en la fig. 2.2.

En el análisis de asentamientos se considera que el grupo de pilotes es una gran pila de mismas dimensiones en planta que la envolvente del conjunto y de la misma longitud que la profundidad de la punta respecto a la superficie del terreno adyacente al edificio.

Para el cálculo de la deformación elástica o acortamiento de los pilotes se aplica la teoría de la elasticidad. En cambio para el desplazamiento de la punta del grupo de pilotes no existe un método único, sino criterios aislados que el ingeniero debe elegir y aplicar conforme a las condiciones particulares del caso en estudio.

Las principales dificultades en este cálculo son la determinación de la carga transmitida por los pilotes del grupo, su distribución a lo largo del fuste, la distribución de esfuerzos bajo la punta y la determinación de las propiedades de los suelos del estrato compresible.

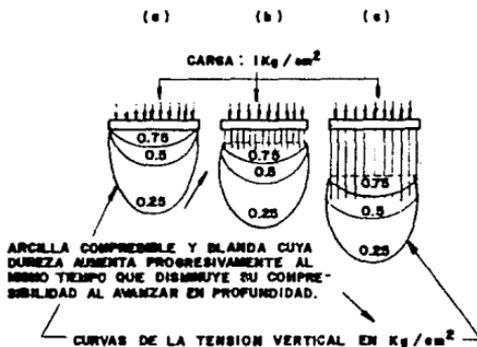


FIG. 2.1 COMPARACION DE LA DISTRIBUCION DE ESFUERZOS VERTICALES ENTRE (a) UNA PLACA SUPERFICIAL, (b) UNA PLACA CON PILOTES CORTOS, (c) UNA PLACA CON PILOTES LARGOS.

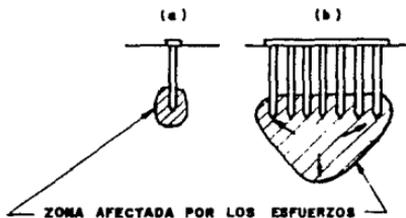


FIG. 2.2 COMPARACION DE LAS ZONAS SOMETIDAS A ESFUERZOS BAJO UN PILOTE UNICO Y BAJO UN GRUPO DE PILOTES. (a) PILOTE UNICO, (b) GRUPO DE PILOTES.

2.3.- PILOTES DE FRICCIÓN EN ARCILLA.

Todos los métodos suponen que un grupo de pilotes de fricción en arcilla blanda se comporta como una gran pila que transmite la carga de los pilotes a través de un plano paralelo a la base del conjunto. La principal diferencia entre los diversos métodos esta en la profundidad de dicho plano y el criterio para el cálculo de la distribución de esfuerzos impuestos. Asimismo, hay diferencias en la elección del espesor compresible.

El criterio más utilizado es el de Peck, que supone la carga aplicada en el tercio inferior de los pilotes (fig. 2.3) y una distribución lineal con pendientes 1:2 (horizontal a vertical). El estrato compresible se extiende a partir del mismo plano de aplicación de la carga. El asentamiento así calculado generalmente es mayor que el real. Sowers y Sowers recomienda corregir el método considerando que el espesor compresible se extiende a partir de la punta de los pilotes. En todo caso, se aplica la teoría de consolidación unidimensional de Terzaghi.

En otros métodos la distribución de esfuerzos se calcula con Boussinesq, a partir del mismo plano (en el tercio inferior de los pilotes). Otros consideran la carga aplicada en el cabezal de los pilotes y distribuida según líneas con pendiente 1:2 ó 1:4 (horizontal a vertical), como se muestra en las figs. 2.4 y 2.5.

De lo expuesto en el párrafo anterior se deduce que el problema no está resuelto y que el criterio lo debe elegir el ingeniero de acuerdo a su experiencia y conocimientos del suelo del sitio en estudio.

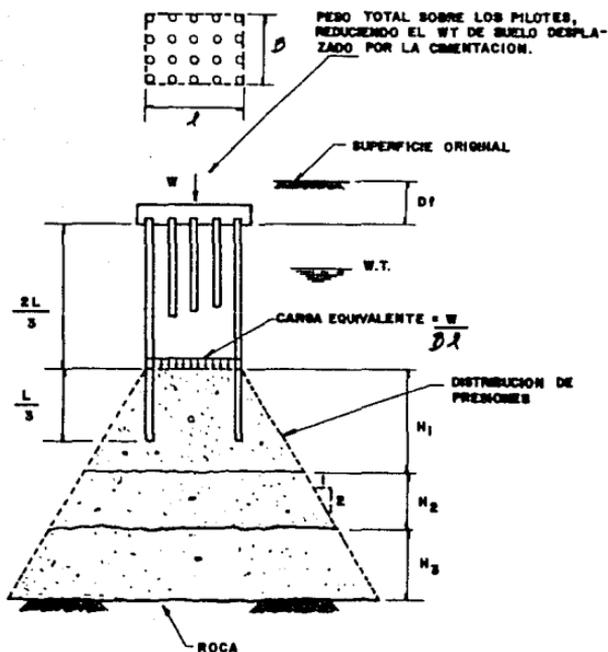


FIG. 2.3 DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN UNA CIMENTACION
 DE PILOTES DE FRICCION EN ARCILLA BLANDA.

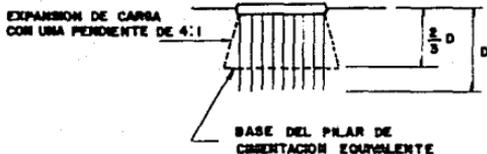


FIG. 2.4

ASENTAMIENTOS EN CIMENTACIONES

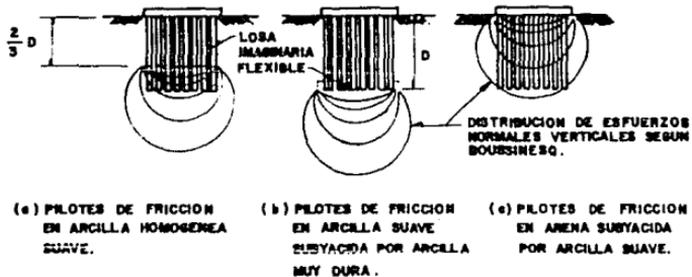


FIG. 2.5

En el estudio de este tipo de cimentaciones debe tenerse presente que la longitud de los pilotes y la separación relativa entre éstos contribuyen apreciablemente a disminuir la magnitud de los asentamientos.

Si la profundidad de los pilotes es varias veces mayor que el ancho de las zapatas o cabezales y estos tienen una separación adecuada entre sí, el asentamiento de la cimentación sobre pilotes será pequeño, por malo que sea el suelo. Por el contrario, si la profundidad es mucho menor que el área cargada y ésta área es grande el asentamiento final puede resultar excesivo aún bajo cargas moderadas.

Los pilotes de fricción pueden ser usados en depósitos profundos de suelo compresible, para soportar losas pesadas de cimentación, ayudan a reducir asentamientos totales; los pilotes de fricción muestran particularmente eficiencia cuando la resistencia al esfuerzo cortante del suelo se incrementa con la profundidad y decrece su compresibilidad.

Los cálculos de los pilotes de fricción se simplifican, determinado el esfuerzo cortante último y la interacción entre el fuste del pilote y el suelo. Las cimentaciones con pilotes de fricción son analizadas bajo condiciones de equilibrio estático en conjunción con la estructura de cimentación y el sistema de carga.

El estado de esfuerzos inducido en la masa del suelo, debido a la acción del grupo de pilotes de fricción puede ser tratado, por la vía del principio de la superposición, en conjunción con otro cambio de esfuerzos, en condiciones tomadas en la superficie del suelo, debido a la aplicación de diferentes tipos de carga.

Los pilotes de fricción producen una doble acción en la masa del suelo; primero, restringen la deformación del suelo, reduciendo la compresibilidad; segundo, -- los pilotes transmiten los esfuerzos a estratos de suelo de baja compresibilidad. Estas dos acciones implican una sensible reducción de los asentamientos, cuando la cimentación es sujeta a cargas muy altas. La capacidad de carga de la cimentación -- se mejora cuando la carga se transfiere a depósitos de suelo de buena calidad; o -- sea, en aquel que tiene buena resistencia al corte y baja deformabilidad.

El uso de pilotes de fricción, hincados en depósitos de suelo compresible, -- ocasiona que el suelo que se encuentra entre los pilotes sufra una compresión menor, debido a la presencia de los mismos, en favor de la reducción de los asentamientos de la cimentación.

El grupo de pilotes de fricción, que soportan un edificio, en depósitos de -- suelo compresible; las descargas de dicha edificación, deberán de ser distribuidas uniformemente para no sobrecargar la masa de suelo.

La distancia entre pilote y pilote es igualmente importante. Los pilotes no -- deben ser hincados muy cercanos uno del otro, o al mismo tiempo debido a que se reduce la resistencia al corte del suelo y se incrementa la compresibilidad del mismo.

En el hincado de un pilote, el espaciamiento mínimo razonable es de 2 ó 3 diá metros medidos centro a centro entre pilotes.

La presión hidrostática puede causar problemas en el hincado de pilotes adyacentes, los cuales pueden emerger de la superficie del suelo; no obstante, este problema se resuelve por medio de un programa de hincado alternativo.

III.- CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES.

RESUMEN TEORICO Y ASPECTOS FUNDAMENTALES DE CAPACIDAD DE CARGA.

3.1.- INTRODUCCION.

La capacidad de carga es la capacidad del suelo para soportar una carga sin que se produzcan fallas dentro de su masa.

Cuando se aplica una carga sobre un área limitada de la superficie del suelo (ejem, pruebas de placas), la superficie sufre un asentamiento.

La relación existente entre la carga y el asentamiento del suelo puede representarse por una curva carga-asentamiento (fig. 3.1).

Si el suelo es bastante compacto, la curva carga-asentamiento es similar a la curva 1 de la figura y la intersección de la tangente vertical a la curva, con el eje de las abscisas dará la capacidad de carga q_d del suelo en cuestión. Un caso diferente es cuando se trata de un suelo en estado suelto; la curva carga-asentamiento será la correspondiente a la curva 2 de la figura, en esta situación la capacidad de carga del suelo suelto (q_d) no está bien definida, un valor aproximado será el correspondiente al punto donde la curva se hace muy inclinada. Si la falla del suelo se manifiesta como en la curva 1 se llamará falla general; si falla como en la curva 2 será falla local.

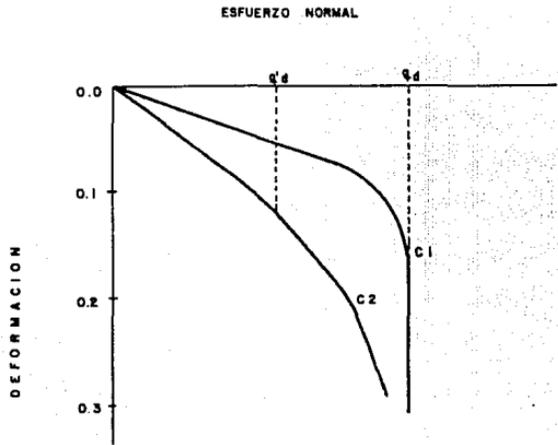


FIG. 3.1 CURVAS DE ESFUERZO DEFORMACION TIPICAS PARA MECANISMO DE FALLA GENERAL (1) Y LOCAL (2), SEGUN TERZAGHI

3.2- TEORIAS DE FALLA

Para poder cuantificar la capacidad de carga de los suelos se propusieron diferentes mecanismos de falla idealizados, tales como la solución de Prandtl, la solución de Hill, la teoría de Terzaghi, etc. El modelo de falla que ha encontrado mayor aceptación en la ingeniería de cimentaciones es el propuesto por el maestro Terzaghi, mostrado en la figura 3.2.

3.3.- TEORIA DE TERZAGHI

Los suelos reales poseen peso y en mayor de los casos exhiben tanto cohesión como fricción interna.

Cuando se excede la capacidad de carga de una zapata, el suelo falla a lo largo de una superficie de rotura similar a la señalada por f_1 de la figura 3.2.

En estos métodos aproximados se supone que la capacidad de carga se obtiene en general por la suma de 3 componentes, que se calculan en forma separada y que representan, respectivamente, las contribuciones de:

- 1.- La cohesión y la fricción de un material sin peso que no lleva sobrecarga.
- 2.- La fricción de un material sin peso que soporta una sobrecarga q aplicada en la superficie.
- 3.- La fricción de un material con peso que no soporta sobrecarga.

Así pues, la capacidad de carga última de un suelo resulta ser:

$$q_d = cN_c + \bar{P}d N_q + \frac{1}{2} \int_0^B \gamma N_\gamma \quad \text{-----} \quad 3.1$$

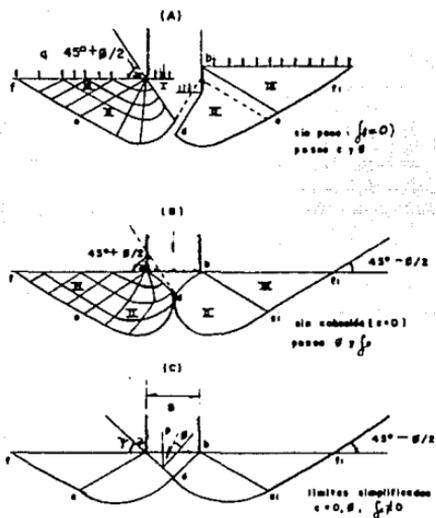


FIG. 3.2 PLANOS DE FALLA DEL SUELO EN UN CIMIENTO POCO PROFUNDO

donde:

N_c y N_q son los factores de capacidad de carga relativos a la cohesión y a la sobrecarga, respectivamente. Se obtienen a partir del ángulo de fricción interna ϕ en la figura 3.3.

N_γ - factor de capacidad de carga que considera la influencia del peso del suelo obtenido también en la figura 3.3.

c - cohesión del suelo

$\overline{P_d}$ - corresponde a la presión efectiva a nivel de desplante del cimiento a un lado del mismo ($\int Df$).

γ - peso específico bajo el nivel de desplante.

B - ancho del cimiento

En la introducción de este capítulo se hizo la observación de que puede darse dos situaciones de falla, cuando el suelo se encuentra en estado compacto y cuando el suelo está en estado suelto; en la mecánica de suelos estas fallas se denominan General y Local, respectivamente.

La fórmula 3.1 es para cuando se presenta en el suelo las condiciones para la falla general; la falla local está dada por la fórmula:

$$q_d = \frac{2}{3} c N_c + \overline{P_d} N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \quad 3.2$$

Faja cargada, ancho B

Carga por unidad de área de zapata

Rotura por corte general $q_{1g} = c + \gamma \cdot Df + \gamma' \cdot 1.3 \cdot B \cdot N_c$

Rotura por corte local $q_{1l} = \frac{1}{2} c + \gamma \cdot Df + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_c$

Zapata cuadrada, ancho B

Carga unitaria $q_{1s} = 1.2 \cdot c + \gamma \cdot Df + \gamma' \cdot 1.2 \cdot B \cdot N_c$



base rugosa

peso unitario de suelo γ

Resistencia unitaria al corte $S = c + \gamma' \cdot Df$

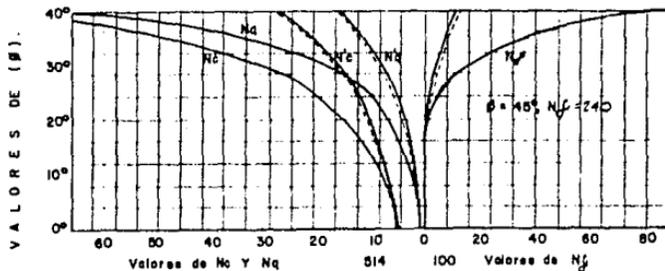


FIG 3.3 RELACION DEL ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (β) CON LOS COEFICIENTES DE CAPACIDAD DE CARGA.

Tanto la fórmula (3.1) como la (3.2) están referidas únicamente a zapata conti-
nuas; para zatapas cuadradas y circular las modificaciones a las fórmulas son:

$$\text{Zapata cuadrada } qd = 1.3 cNc + \overline{Pd} Nq + 0.4 \sqrt{B} Nq \text{ ----- } 3.3$$

$$\text{Zapata circular } qd = 1.3 cNc + \overline{Pd} Nq + 0.6 R Nq \text{ ----- } 3.4$$

donde:

R- radio de la zapata

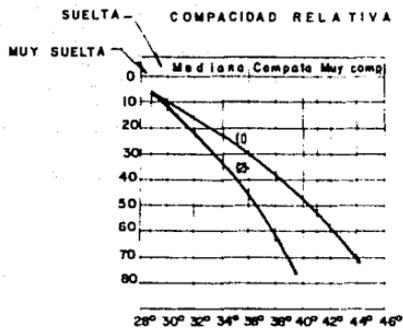
En la práctica, en ocasiones, se estima el ángulo de fricción interna a partir del -
número de golpes de la prueba de penetración estándar.

En la figura 3.4 se presenta una correlación de este tipo.

3.4- TEORIA DE SKEMPTON.

Terzaghi en su teoría aplicada a suelos puramente cohesivos no toma en cuenta para
fijar N_c la profundidad de desplante del cimiento en el estrato de apoyo D , Skempton
propone utilizar una fórmula para suelos cohesivos completamente análogo a la de ---
Terzaghi, pero donde el parámetro N_c depende de la relación existente entre la base-
del cimiento (B) y la profundidad de incrustación (D) .

En la fig. 3.6 aparecen los valores obtenidos por Skempton para N_c , en el caso de --
cimientos largos y de cimientos cuadrados o circulares.



ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (°)

1)- Selección para arenas de grano anguloso ó redondeado de mediano a grueso.

2)- Selección para arenas finas y arenas limosas.

FIG. 3.4 CORRELACION ENTRE EL NUMERO DE GOLPES (P.P.E.)
Y EL ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA DE LAS
ARENAS (JUAREZ - RICO VOL. I 1963)

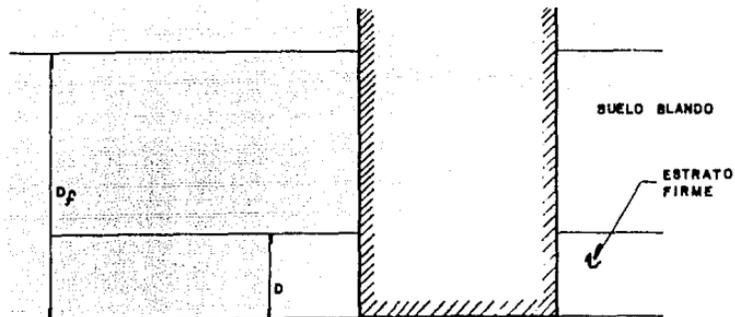


FIG. 3.5 DISTINCION ENTRE LA PROFUNDIDAD DE DESPLANTE (D_f)
Y LA PROFUNDIDAD DE INCRUSTACION (D).

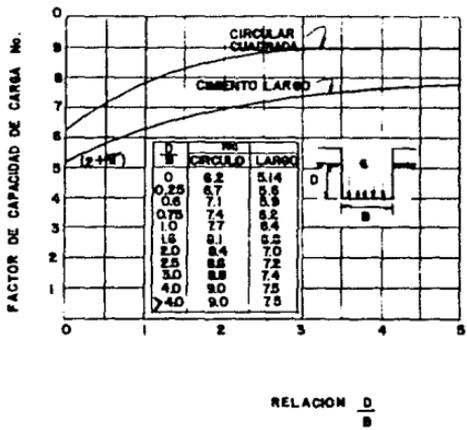


FIG. 3.6 VALORES DE N_0 SEGUN SKEMPTON PARA SUELOS PURAMENTE COHESIVOS.

3.5- TEORIA DE ZEEVAERT.

Esta teoría sirve en general, para resolver la capacidad de carga por punta de los pilotes en un suelo cohesivo-friccionante.

La expresión general dada por Zeevaert es:

$$Q_p = \alpha_1 A \left[c N_c + \bar{P} \bar{D} N \right] (Cr + 0.1) \text{ ----- } 3.5$$

donde:

α_1 - coeficiente igual a 1 en cimiento continuo

α_1 - coeficiente igual a 1.2 en cimiento cuadrado o circular

A - área de la sección transversal del pilote

c - cohesión

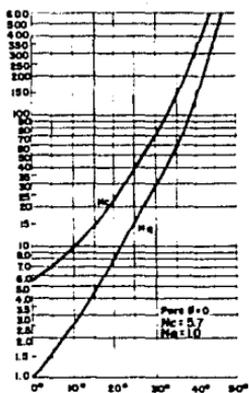
\bar{P} - presión efectiva a nivel de desplante del cimiento

Cr - compacidad relativa (suelo denso 0.9, suelo mediamente denso 0.6, suelo suelto 0.3)

Nc y Nq - factores de capacidad de carga obtenidos a partir del ángulo de fricción interna de la figura 3.7

Nota: Es de mucha conveniencia utilizar el criterio de Zeevaert cuando el pilote está incrustado en la capa dura.

V A L O R E S D E N_c , N_q .



V A L O R E S D E (β).

FIG.37 FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA PARA CIMIENTOS PROFUNDOS (ZEEVAERT, 1973).

3.6- CIMENTACIONES SUPERFICIALES.

Cuando la profundidad de los cimientos no es mayor que un par de veces el ancho del cimiento, se dice en la ingeniería práctica que se trata de cimentación superficial.

Los tipos más frecuentes de cimentaciones son las zapatas aisladas, las zapatas corridas y las losas de cimentación.

Una zapata aislada es un agrandamiento de una columna para reducir la presión sobre el suelo a la máxima admisible.

Estas zapatas son cuadradas o circulares.

En muchas ocasiones las zapatas aisladas soportan más de una columna; generalmente se contruyen de concreto reforzado.

Una zapata corrida es un elemento análogo a los anteriores, con la diferencia de que la longitud supera en mucho al ancho.

Soportan varias columnas o muros y pueden ser de concreto reforzado o mampostería.

La zapata corrida es una forma evolucionada de la zapata aislada, en el caso de que el suelo ofrezca una resistencia baja, que obliga a una mayor área de repartición de carga.

Losa de cimentación. Cuando la resistencia del terreno sea muy baja o las cargas sean muy altas, las áreas requeridas para apoyo de la cimentación deben aumentarse, llegándose al empleo de verdaderas losas de cimentación, construidas también de concreto reforzado, las que pueden llegar a ocupar toda la superficie construida.

Cuando el área de cimentación requerida es del 50 % o más del área total del suelo de apoyo de la estructura, resulta conveniente este tipo de solución.

- CAPACIDAD DE CARGA EN ARENAS Y GRAVAS

La capacidad de carga en estos suelos depende casi exclusivamente del ángulo de fricción interna, que ésta reflejado en los factores N_q y N_{ϕ} ; estos valores aumentan a medida que la compacidad se hace más grande, por lo que se puede concluir que la capacidad de carga es función directa de la compacidad relativa en los suelos gruesos. La teoría de Terzaghi, en estos suelos, es recomendable para todo clase de cimentaciones superficiales, pudiéndose aplicar con gran confiabilidad hasta una profundidad de desplante no mayor del doble de la base del cimiento. La capacidad de carga admisible (q_a) es igual a la capacidad (q_d) dividida por un factor de seguridad mayor que 1 en el denominador.

- CAPACIDAD DE CARGA EN SUELOS ARCILLOSOS.

En este caso la capacidad de carga última depende esencialmente de la cohesión (c) del material y de la presión efectiva valuada en el nivel de desplante del cimiento. La teoría más recomendable en estos suelos es la de Skempton, que se vio en este capítulo y que nos dice que:

$$q_d = cN_c + \bar{P}_d \text{-----} 3.6$$

donde el valor de N_c depende de la relación existente entre la profundidad de incrustación (D) y el ancho (B) del cimiento (fig. 3.5).

Se hace la aclaración que el factor de seguridad (F.S.) afecte únicamente al primer miembro de la fórmula (3.6), debido a que, prácticamente, se comete un error pequeño en la estimación de \bar{P}_d .

$$q_a = \frac{cN_c}{F.S.} + \bar{P}_d \text{-----} 3.7$$

3.7.- CIMENTACIONES PROFUNDAS.

TIPOS:

1.- Pilotes.--Son barras largas de sección cuadrada o circular cuyo diámetro varia de 30 a 60 cm y cuya función es transmitir la carga de las superestructuras a estratos de suelo más resistentes.

Normalmente se fabrican de concreto o acero.

2.- Pilas.-- Muy similares a los pilotes, aunque más cortas y con un diámetro que varía de 1 a 2 m.

3.- Cilindros.-- Pilas huecas con un diámetro mayor a 3 metros.

La cimentación profunda de más uso en la actualidad son los pilotes.

Los pilotes de madera, primeramente usados (a principios del siglo XX), tienen la desventaja, al igual que los de acero, de que se corroen con facilidad en presencia del agua, razón por la cual se le debe poner un buen impermeabilizante.

3.8.- CAPACIDAD DE CARGA DE UN PILOTE.

Con el objeto de poder visualizar con mayor claridad las fuerzas actuantes que intervienen en un pilote se propone el siguiente diagrama de cuerpo libre (fig. 3.8).

De la figura 3.8

Wp - peso propio del pilote

P - peso sobre el pilote

fs - fricción lateral

As - área lateral del pilote

Ph - presión lateral del suelo

At - área transversal del pilote

Qp - capacidad de carga en la punta del pilote

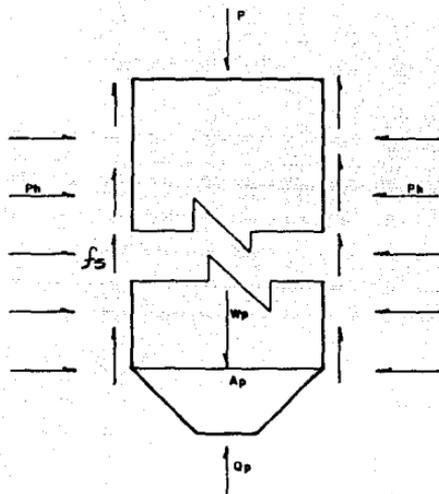


FIG. 3.8 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE UN PILOTE.

- CAPACIDAD DE CARGA POR PUNTA.

La expresión general para valuar la capacidad de carga en la punta de un pilote es:

$$q_d = (cN_c + \overline{Pd} N_q) (Cr + 0.1) \text{ ----- } 3.8$$

donde: Cr es la compacidad relativa que toma en cuenta el efecto de falla general.

La expresión para un pilote de sección transversal cuadrada o circular es:

$$q_d = 1.2 (cN_c + \overline{Pd} N_q) (Cr + 0.1) \text{ ----- } 3.9$$

Cuando el pilote queda directamente apoyado en la superficie del estrato resistente y a los lados del mismo se tienen suelos blandos se utiliza el criterio de Terzaghi, donde Nc y Nq son calculados como si se tratara de un cimiento superficial.

Cuando el pilote esta incrustado en el estrato resistente se utilizará el criterio de Zeevaert.

La capacidad de carga por punta del pilote (Qp) se calcula al multiplicar qd por el área de la sección transversal At:

$$Q_p = q_d A_t = 1.2 (cN_c + \overline{Pd} N_q) (Cr + 0.1) A_t \text{ ----- } 3.10$$

- CAPACIDAD DE CARGA POR FRICCIÓN.

Si observamos el diagrama de cuerpo libre veremos que para lograr el cumplimiento de las condiciones del equilibrio debe cumplirse que:

$$P + W_p = Q_s + Q_p \text{ ----- } 3.11$$

donde: Qs corresponde a la capacidad de carga por fricción lateral del pilote, y, cuando fs = cte:

$$Q_s = f_s A_s \text{ ----- } 3.12$$

- VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL DEL SUELO.

1.- Si se trata de un suelo arenoso $f_s = K_o P_v \tan 2/3 \phi$ ----- 3.13

Donde:

K_o - coeficiente de presión lateral

P_v - presión vertical

ϕ - ángulo de fricción interna

2.- Si es un suelo acrillosos f_s dependerá de la cohesión.

Para efectos de cálculos se puede utilizar una tabla construida por Tomlinson en la que relaciona la cohesión con la adherencia (f_a).

Material del pilote	Consistencia de la arcilla	Cohesión, c ton/m ²	Adherencia, f_a ton/m ²
Concreto y madera	blanda	0 ----- 4	0 ----- 3.5
	firme	4 ----- 8	3.5 ----- 4.5
	dura	8 ----- 15	4.5 ----- 7
Acero	blanda	0 ----- 4	0 ----- 3
	firme	4 ----- 8	3 ----- 4
	dura	8 ----- 15	?

Tabla 3.1 Valores de adherencia en función de la cohesión del suelo.

3.9.- ANALISIS DE UN GRUPO DE PILOTES.

Cuando se tiene un sistema de pilotes en cualquier edificación, se deberá revisar la capacidad de carga de todos los pilotes trabajando en conjunto, como si se tratara de una Pila de notables dimensiones.

Con esto se garantizará la no presencia de la falla del pilote trabajando en conjunto.

- HUNDIMIENTOS.

Para pilotes de fricción Peck recomienda considerar la carga W del edificio aplicada en el tercio inferior de la longitud total de los pilotes. Otra recomendación dada en el libro de Peck es la que nos dice que el área horizontal sobre la cual está la carga W se incrementa con la profundidad a razón de 30° de inclinación a lo largo del lado de los grupos de pilotes. Para mayor comprensión de la anteriormente explicado se anexa la figura 3.9.

Una vez hechas las consideraciones anteriores, se aplica la fórmula de los hundimientos dada por la teoría de Boussinesq.

- RESISTENCIA AL CORTE.

El cálculo de la resistencia al corte de un sistema de pilotes como se había dicho anteriormente, se hace considerando al conjunto como una Pila. Seguido de esto se valúa la capacidad de carga con las teorías anteriormente expuestas en este capítulo.

- NUMERO DE PILOTES.

Con el objeto de poder valuar en forma adecuada el número de pilotes, conviene dibujar el D.C.L. del sistema suelo-cimentación-estructura (fig. 3.10)

De la figura 3.10 :

W_{ed} - peso del edificio

F_r - fuerza de fricción entre el cajón de cimentación y la estructura.

W_{terr} - fuerza de reacción del terreno.

Q_s - capacidad de carga de fricción de un pilote.

Q_p - capacidad de carga en la punta de un pilote.

W_{pil} - peso de los pilotes.

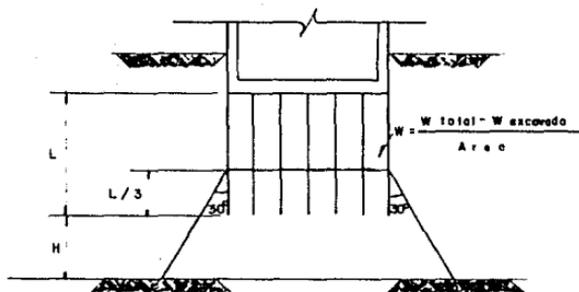


FIG. 3.9 CONSIDERACIONES PARA LA VALUACION DEL HUNDIMIENTO
EN UN GRUPO DE PILOTES.
(PECK - HANSON - THORNBURN).

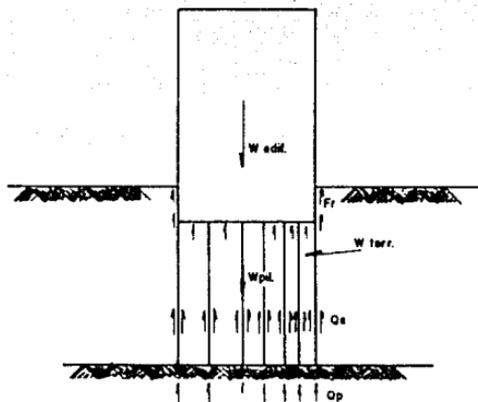


FIG. 310 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EN EL SISTEMA
SUELO - EDIFICIO.

De acuerdo con el D.C.L. el número de pilotes (n) será :

$$W_{ed} + W_{pil} = (Q_s + Q_p) n + W_{terr} + Fr \text{ ----- } 3.14$$

$$n = \frac{W_{ed} + W_{pil} - W_{terr} - Fr}{Q_s + Q_p} \text{ ----- } 3.15$$

$$Q_s + Q_p$$

En esta fórmula general, dependiendo de las condiciones, se podrán eliminar términos. Ejem. Si los pilotes sólo trabajan por fricción, el término Q_p se hará igual a cero; si la profundidad de desplante de la super-estructura del edificio es pequeña Fr tenderá a anularse, etc.

IV.- ANALISIS DE UNA CIMENTACION COMPENSADA CON PILOTES DE FRICCION.

4.1.- Fricción Negativa.

La Fricción Negativa es un fenómeno que aparece toda vez que el movimiento relativo entre el suelo y el pilote, en lugar de proveer resistencia para ayudar a soportar las cargas externas, se invierte y recarga al pilote sumándose a dichas cargas. Este arrastre puede derivar de tres causas, cada una de las cuales requiere, en general, soluciones diferentes.

A).- Hundimiento Regional, como el que puede producirse en las arcillas blandas normalmente consolidadas, o ligeramente preconsolidadas, por un aumento de su peso efectivo originado por una depresión general del nivel freático.

B).- Consolidación de una capa blanda bajo su propio peso como consecuencia del amasado que produce la hinca de pilotes, en particular cuando está en juego un grupo grande con pilotes poco espaciados entre sí.

C).- La consolidación de una capa blanda por el peso de un relleno reciente o de un depósito de mercancía.

La primera de estas tres causas se desarrolla sólo en muy pocos lugares, de los cuales la ciudad de México constituye el ejemplo más espectacular. Tiene particularidades, que exigen soluciones singulares, con frecuencia opuestas a las que se utilizan en el caso más general, pues en lugar de tratar de limitar los asentamientos se construye para que éstos sigan lo más cercano posible el hundimiento regional.

La segunda causa ha sido durante mucho tiempo y es todavía motivo de muchas controversias. Mientras algunas mediciones recientes en pilotes instrumentados parecieran afirmar la idea de que por el efecto de amasado que produce la hinca se puede desarrollar una fuerte fricción negativa, otras indican lo contrario y el comportamiento de muchas fundaciones flotantes sobre un gran número de pilotes, que sólo han experimentado asentamientos relativamente pequeños, puede explicarse únicamente suponiendo que la fricción negativa debida al amasado es despreciable.

La Fricción Negativa que proviene de la consolidación de una capa de suelo blando, provocada por el peso de un relleno, una carga permanente o una sobrecarga temporaria, constituye, en cambio, un fenómeno bien conocido y claro que puede utilizarse con detalle y amplitud.

La Fricción Negativa creada por el movimiento relativo inverso resultante de la consolidación del material blando producido por el relleno y el peso de la mercancía - proviene de dos fuentes:

A).- El contacto entre pilotes y relleno.

B).- El contacto entre pilotes y el suelo blando que se consolida.

La fricción o fuerza de fricción negativa transmitida por el relleno depende de la geometría y también de las propiedades del suelo que lo forma. Para un conjunto grande de pilotes, la geometría indica que no puede ser mucho mayor que el peso del volumen del relleno más la sobrecarga que encierra el conjunto de pilotes.

Para situaciones intermedias hay que estudiar el problema y proceder con criterio, pero, de cualquier manera no puede ser mayor que la superficie de los fustes en contacto con el relleno multiplicada por la fricción unitaria a rotura entre los pilotes y el suelo que constituye el relleno.

En la capa blanda, en cambio, en todos aquellos niveles en que el desplazamiento relativo entre pilotes y suelo que se consolida alcanza o supera el mínimo necesario para desarrollar la máxima fricción negativa, se produce un esfuerzo de arrastre hacia abajo que por unidad de superficie es igual a la resistencia no drenada, de la arcilla a dicho nivel. Si se supone que la capa de arcilla blanda descansa sobre un estrato totalmente indeformable, la distribución de las tensiones de fricción negativa progresa hacia abajo y después de cierto tiempo adquiere forma trapezoidal, -- con un valor igual a cero en el borde superior del estrato indeformable.

Sin embargo, como los estratos indeformables no existen, la punta también se mueve hacia abajo. Como consecuencia, el nivel de fricción negativa nula se desplaza hacia arriba y en la parte inferior del estrato blando la fricción se mantiene como positiva. Por esta circunstancia, la distribución real de la fricción en el estrato blando adquiere la forma indicada en la fig. 4.1. Cambia de negativa a positiva en el punto en que el asentamiento inducido por la consolidación es igual al desplazamiento vertical de la parte inferior del pilote embebida en el material consistente que provee la resistencia de la punta.

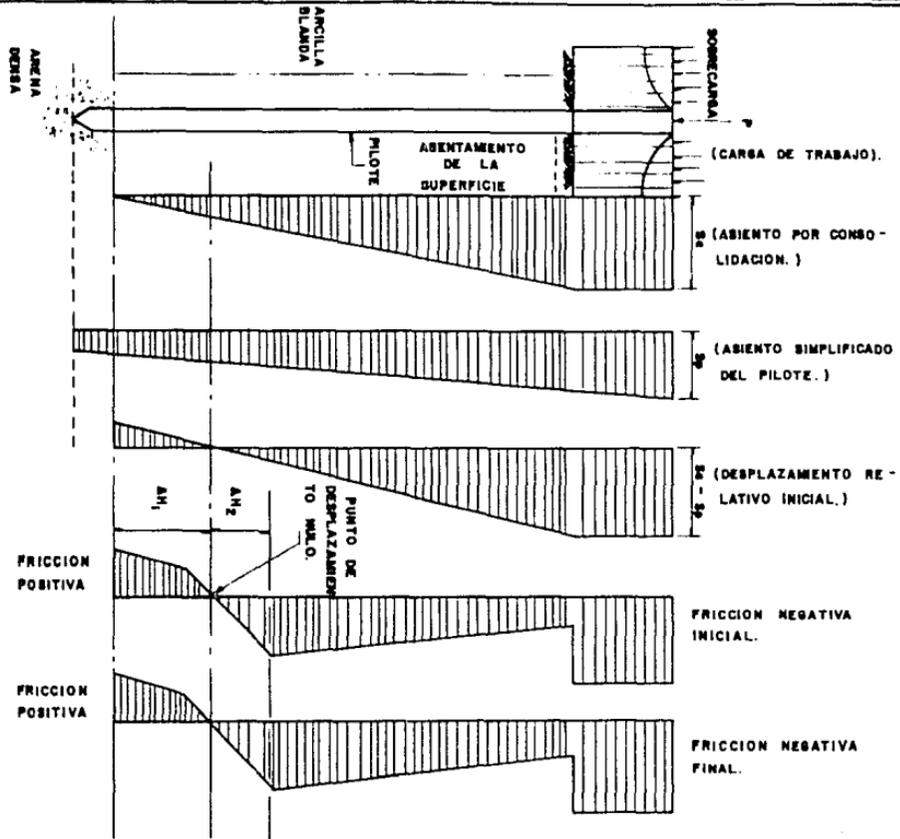


FIG. 4.1 DESARROLLO Y MECANISMO DE LA FRICCION NEGATIVA.

Se comprende que en un instante dado la posición del plano de desplazamiento relativo nulo y por lo tanto el espesor de suelo blando que provee fricción positiva, depende de:

- A).- Del módulo de deformación volumétrica del suelo blando.
- B).- De la presión de consolidación que actúa en la parte inferior de la capa blanda.
- C).- De las condiciones de borde.
- D).- Del porcentaje de consolidación alcanzado.
- E).- Del asentamiento de la punta de los pilotes.

En la Fricción Negativa, el fenómeno se desarrolla cuando la base de los pilotes, pilas o cilindros, queda apoyada en un estrato resistente, de muy baja compresibilidad, que yace bajo suelos compresibles sujetos a un proceso de consolidación. En tales condiciones se presentará un movimiento relativo entre los pilotes y el suelo compresible que los circunda que, considerando comparativamente fijos a los pilotes generará esfuerzos de fricción en el sentido descendente a lo largo del fuste de éstos.

Como primer efecto de la fricción negativa, la fuerza resultante implica una sobrecarga indeseable, ya que reduce la carga útil que puede aplicarse a la cabeza del pilote. El no considerar esta reducción afectaría al factor de seguridad considerado en el cálculo de la capacidad de carga admisible, pudiendo incluso ocasionar la falla del pilote por penetración en el estrato resistente.

La magnitud de la fuerza de fricción negativa en cada pilote, está limitada por la resistencia al corte del suelo y por el volumen de suelo tributario a dicho pilote. De lo anterior, puede inducirse que en un grupo determinado de pilotes uniformemente distribuidos, la máxima sobrecarga por fricción negativa se presentará en los pilotes de esquina, la mínima en los interiores y los de borde quedarán en una condición intermedia.

El otro efecto importante de la fricción negativa, es el relativo a la disminución de la presión efectiva al nivel del desplante de la punta de los pilotes, como consecuencia de que parte de dicha presión es transmitida por fricción a lo largo del fuste del pilote. Como resultado de este efecto, habrá una disminución de la capacidad de carga. Las fuerzas y esfuerzos involucrados en el fenómeno de la fricción negativa, se esquematizan en la fig. 4.2.

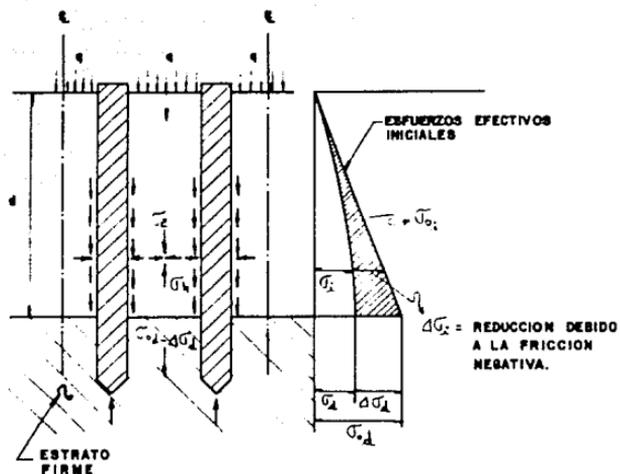


FIG. 4.2 FRICCION NEGATIVA DESARROLLADA EN PILOTES APOYADOS SOBRE UN ESTRATO FIRME.

4.2.- FRICCION POSITIVA

El problema de correlación del comportamiento de un solo pilote de fricción con grupos de pilotes de fricción representan más dificultades que en el caso de la capacidad de carga de la punta de los pilotes soportada sobre estrato de arena gruesa sobreyacido por material blando. Esta práctica empírica debe ser abandonada en caso de condiciones difíciles del subsuelo, en favor de métodos técnicos, los cuales permitan, al ingeniero, la visualización del comportamiento del grupo de pilotes. En material compresible, el grupo de pilotes, puede presentar problemas de asentamientos grandes, como en el caso de arcillas profundas y depósitos de limos plásticos. El comportamiento de un pilote en relación a la de un grupo será discutido, trabajando bajo condiciones simplificadas para el caso de depósitos de suelo compresible. Probando solo pilotes de fricción a carga última, la información importante, puede ser obtenida sobre el valor de fricción, cuando ésta obtenida o medida a lo largo del fuste del pilote. Cuando se considerará un pilote probado en condiciones de subsuelo impermeable, donde los estratos tienen diferente valor de esfuerzo, la compresibilidad y la permeabilidad se presentan. La experiencia muestra en casos semejantes que el elemento tiempo, es el de mayor importancia, para el comportamiento de las pruebas del pilote.

Cuando una prueba se hace a capacidad última, la fricción es movilizad~~a~~ totalmente en todo el estrato perforado por el pilote, independientemente de su rigidez. La fricción a lo largo del fuste del pilote depende del esfuerzo cortante del suelo-suelto debido al hincado del pilote, y después de eso, recobrando la resistencia - al esfuerzo cortante del suelo, debido a la consolidación del material cercano al pilote. Se tiene que establecer el remoldeo completo del material tomado en el sitio a una distancia alrededor de $0.1K$ del fuste del pilote, siguiendo una distribución de menor rango, respecto a su diámetro, de abajo hacia arriba. De pruebas - obtenidas de un pilote que trabaja a carga última, se ha demostrado que el esfuerzo, a lo largo del pilote, toma un valor correspondiente a la fricción del esfuerzo cortante último en proporción a la rigidez del estrato de suelo. Por otra parte en condiciones de suelo estratificado, es difícil estimar el esfuerzo cortante en el fuste del pilote bajo cargas últimas.

Cuando el problema se considera a esfuerzo cortante último su distribución o fricción a lo largo del fuste del pilote, puede ser determinada.

Cuando un PF - pilote, es cargado, la masa del suelo soportará al pilote por fricción; al mismo tiempo la fricción desarrollada provocará un incremento en el esfuerzo vertical del suelo circundante. Por lo tanto, un PF - pilote es reconocido, debido a la sobrecarga inicial y al incremento de esfuerzo en el suelo.

O sea, que la fricción positiva provoca aumento en los esfuerzos; debido a la transferencia de carga del pilote a el suelo.

Las fuerzas y esfuerzos implicados se muestran en la fig. 4.3.

Bajo capacidad de carga última, las ecuaciones de equilibrio y de esfuerzo cortante, pueden ser establecidas. El promedio de esfuerzo cortante sobre el elemento ΔZ a una profundidad Z , tiene el valor de :

$$\bar{S}_{\sigma_i} = C_i' + K_{\rho_i} \frac{\bar{\sigma}_i + \bar{\sigma}_{i-1}}{2} \text{-----} \textcircled{1}$$

El esfuerzo último transferido a la masa de suelo es:

$$(\bar{\sigma}_i - \bar{\sigma}_{\sigma_i}) \bar{a}_i - (\bar{\sigma}_{i-1} - \bar{\sigma}_{\sigma_{i-1}}) \bar{a}_{i-1} = \bar{w} \bar{S}_{\sigma_i} \Delta Z_i \text{-----} \textcircled{2}$$

y la fricción positiva y la interacción del esfuerzo vertical, esta dada por:

$$(PF)_{i-1} = (\bar{\sigma}_{i-1} - \bar{\sigma}_{\sigma_{i-1}}) \bar{a}_{i-1} \text{-----} \textcircled{3}$$

$$(PF)_i = (\bar{\sigma}_i - \bar{\sigma}_{\sigma_i}) \bar{a}_i \text{-----} \textcircled{4}$$

La integración se empieza con $Z=0$, cuando $(PF)_{i-1}$, $\bar{\sigma}_{i-1}$, y $\bar{\sigma}_{\sigma_{i-1}} = \bar{q}$ se conocen.

Por la tanto, sustituyendo en las expresiones $\textcircled{1}$ y $\textcircled{3}$ en $\textcircled{2}$ y resolviendo para $\bar{\sigma}_i$, obtenemos la siguiente expresión:

$$\bar{\sigma}_i = \frac{(PF)_{i-1} + \bar{\sigma}_{\sigma_i} \bar{a}_i + (\bar{w} C_i' + m_i \bar{\sigma}_{i-1}) \Delta Z_i}{\bar{a}_i - m_i \Delta Z_i} \text{-----} \textcircled{5}$$

Después de que el valor $\bar{\sigma}_i$ se conoce, la expresión $\textcircled{4}$ se usa para encontrar $(PF)_i$, y su valor se sustituye en $\textcircled{5}$ para calcular el valor aproximado de $\bar{\sigma}_{i+1}$ y $(PF)_{i+1}$ respectivamente. El proceso es repetitivo hasta llenar la integración numérica, pa so a paso se hace para una profundidad d , hasta que $(PF)_d = Q_{fu}$ es obtenida.

El valor de las áreas tributarias equivalentes pueden ser obtenidas de la fig. 4.4.

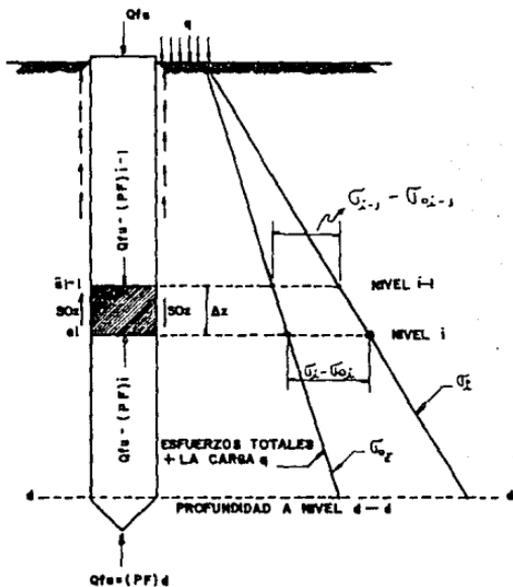


FIG. 4.3 INCREMENTO DE ESFUERZO VERTICAL DEBIDO A LA FRICCIÓN POSITIVA.

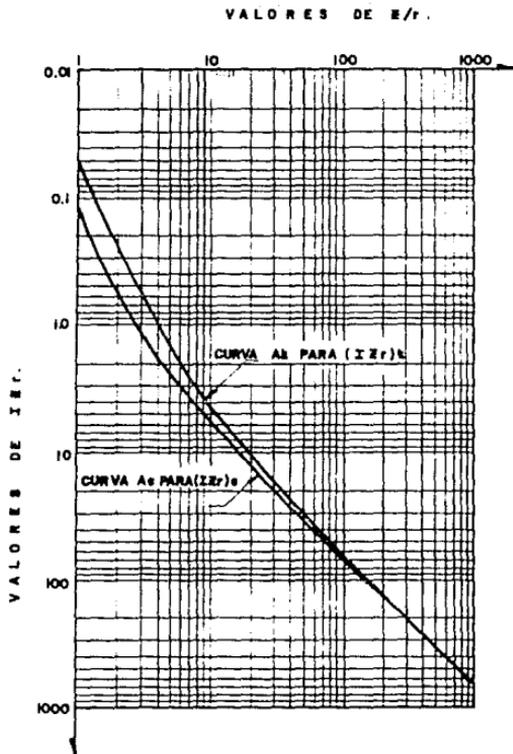


FIG. 4.4 VALORES DE INFLUENCIA PARA EL CALCULO DE AREAS TRIBUTARIAS EFECTIVAS.

4.3.- MOMENTOS DE VOLTEO Y CORTANTES.

Las fuerzas de viento y sismo, causan en la estructura de la cimentación momentos de volteo, incrementando las reacciones a una magnitud tal, que pueden perturbar la estabilidad de la estructura.

Cuando los pilotes trabajan bajo carga de fricción positiva, se considerará que no admiten incrementos de carga. Por lo tanto, los incrementos inducidos por los momentos de volteo son tomados por el suelo junto con la losa de cimentación, como si los pilotes no estuvieran presentes. La probable rotación de la estructura de la cimentación y el ladeo permanente de la estructura originado por el momento de volteo pueden ser estimadas, por métodos para cimentaciones compensadas sin pilotes. En caso de cimentaciones con pilotes de fricción el esfuerzo en el suelo es usualmente pequeño y permanece bajo, debido a la respuesta de sus propiedades -- elásticas; por lo consiguiente, se comportará más favorablemente bajo cargas accidentales, que en las cimentaciones compensadas sin pilotes de fricción. Además, bajo cargas transitorias producidas por sismo, los pilotes ofrecerán resistencia, por otra parte, el comportamiento de la cimentación debida a momentos de volteo es conservadora.

En caso de pilotes de fricción, se considera que la carga que actúa sobre los pilotes no produce cambios o deflexiones en la estructura de la cimentación, dado-- que los pilotes de fricción son diseñados bajo condiciones plásticas. Sin embargo en el diseño de la cimentación, se debe considerar que los pilotes no reaccionan exactamente a la misma carga plástica.

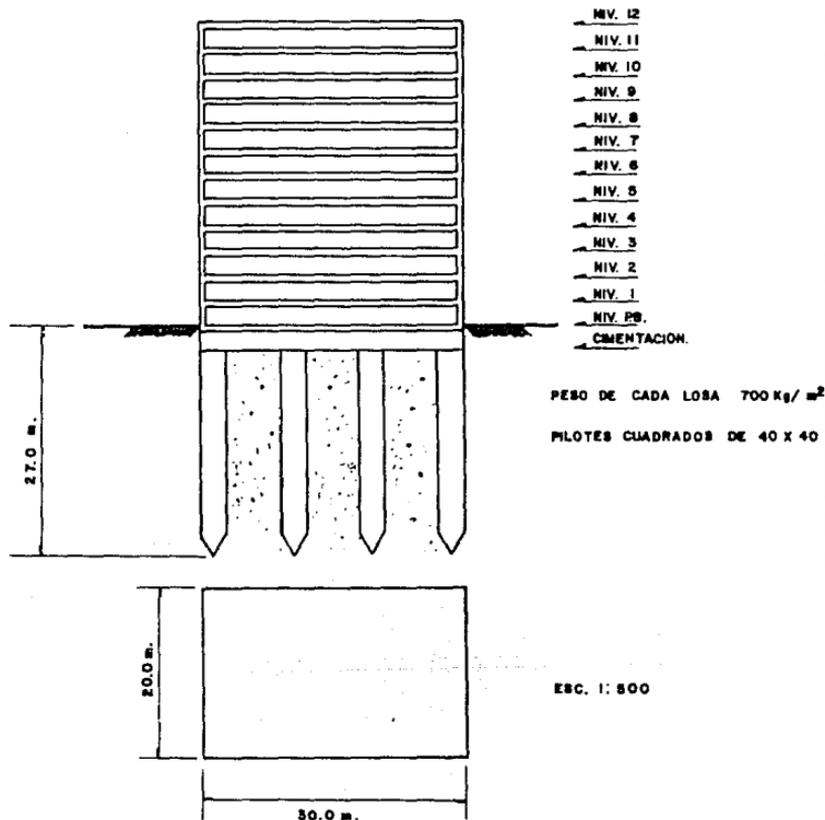
Se deberán fijar los límites de las propiedades del esfuerzo cortante a las que se esperan en los depósitos de suelo, en donde los pilotes son embebidos y el área -- donde son hincados.

En general, las variaciones en la respuesta plástica de los pilotes, tienen poca - influencia cuando la cimentación es diseñada a gran profundidad de la superficie - y con grades rigideces, como en el caso de cimentaciones compensadas y cuando las- condiciones estratigráficas en el área cubierta por los pilotes se considerará uni - forme. La uniformidad del subsuelo debe ser investigada, por medio de pruebas inal - teradas, para determinar sus características mecánicas.

Las variaciones importantes en las condiciones del subsuelo pueden producir capaci - dad de carga variable en los pilotes, induciendo inclinaciones del edificio que de - ben ser investigadas y evaluadas tomando en consideración la relación de la altura del edificio con el ancho de la cimentación.

V- EJEMPLO DE APLICACION:

SE DISEÑARA UNA CIMENTACION COMPENSADA
CON PILOTES DE FRICCION, PARA UN EDIFICIO
DE 12 NIVELES EN LA CIUDAD DE MEXICO CON
LOS SIGUIENTES DATOS :



Se diseñará una cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción con los datos ya mencionados.

Para su diseño, se considerará que el N.A.F. se encuentra a 3.0 m. abajo del N.P.T.- La capacidad de carga se calculará por fricción utilizando parámetros de los capítulos anteriores. De acuerdo a la capacidad de carga por pilote y la obtenida con la del incremento neto, se obtendrá el número de pilotes necesarios para la cimentación. Posteriormente, se obtendrán los diagramas de presiones totales, neutras y efectivas, con pesos volumétricos de estudios estratigráficos de la ciudad de México.

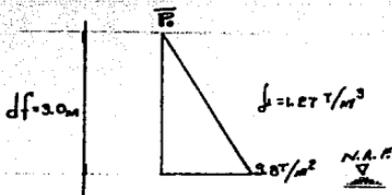
Además, se obtendrán las distribuciones de presiones con el criterio de Boussinesq. Para el cálculo de la fricción Positiva y Negativa, se utilizarán áreas tributarias - obtenidas en planta.

Con los algoritmos de cálculo se obtendrán los esfuerzos en el suelo; así como, el eje neutro, para obtener expansiones y asentamientos por recompresión.

A continuación, se obtendrá el diagrama de esfuerzos efectivos finales en el suelo, - para obtener asentamientos por compresión, finalmente, se hará el análisis por sismo. En el edificio en cuestión, existe colindancia; entonces, los asentamientos totales - esperados deberán de ser menores de 15.0 cm.

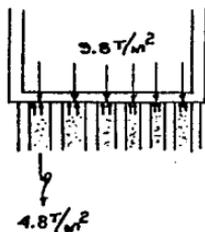
Desarrollo:

$$W_t = 14 \times 0.7 = 9.8 \text{ T/M}^2.$$



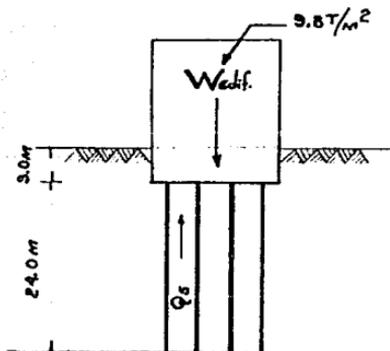
Conviene darle al suelo, al nivel de desplante, una presión mayor que 3.8 T/M^2 .

Es decir, la presión en el contacto losa - suelo, valdrá : $3.8 + 1.0 = 4.8 \text{ T/M}^2$.



$$\left. \begin{array}{l} 9.8 \\ - 4.8 \\ \hline 5.0 \text{ T/M}^2 \end{array} \right\} \text{ que toman los pilotes.}$$

Capacidad de carga por fricción.



Cohesión: $C = \frac{q_u}{2}$ → Compresión Simple

$$C = \frac{4}{2} = 2.0 \text{ T/M}^2.$$

Tomilson: $f_a = 1.75 \text{ T/M}^2$.

$Q_b = f_a \times \text{Área lateral dei pilote.}$

$$Q_s = 1.75 (0.4 \times 4 \times 24.0) = 67.2 \text{ T/pilote}$$

Neto = $9.8 - 3.8 = 6.0 \text{ T/M}^2$.

Peso que toman los pilotes = $60 \times 30 \times 20 = 3600 \text{ T.}$

$$\text{N}^\circ \text{ Pilotes : } \frac{3600}{67.2} = 54.0$$

$\rho \text{ (T/M}^3\text{)}$

1.27

1.32

1.16

1.21

1.23

1.22

1.18

1.15

1.15

1.16

NIV. 0.0 (M)

3.0

NIV. -3.0

3.0

NIV. -6.0

4.0

NIV. -10.0

6.0

NIV. -16.0

7.0

NIV. -23.0

4.0

NIV. -27.0

4.0

NIV. -31.0

5.0

NIV. -36.0

5.0

NIV. -41.0

5.0

NIV. -46.0

ESC. VERT. 1:200
ESC. HOR. 1:1000

3.8

7.8

12.4

18.7

28.5

33.2

38.0

43.7

49.4

55.2

DIAGRAMA DE PRESIONES TOTALES $P_o \text{ (T/M}^2\text{)}$

DIAGRAMA DE PRESIONES NEUTRAS U_0 (T./M²)

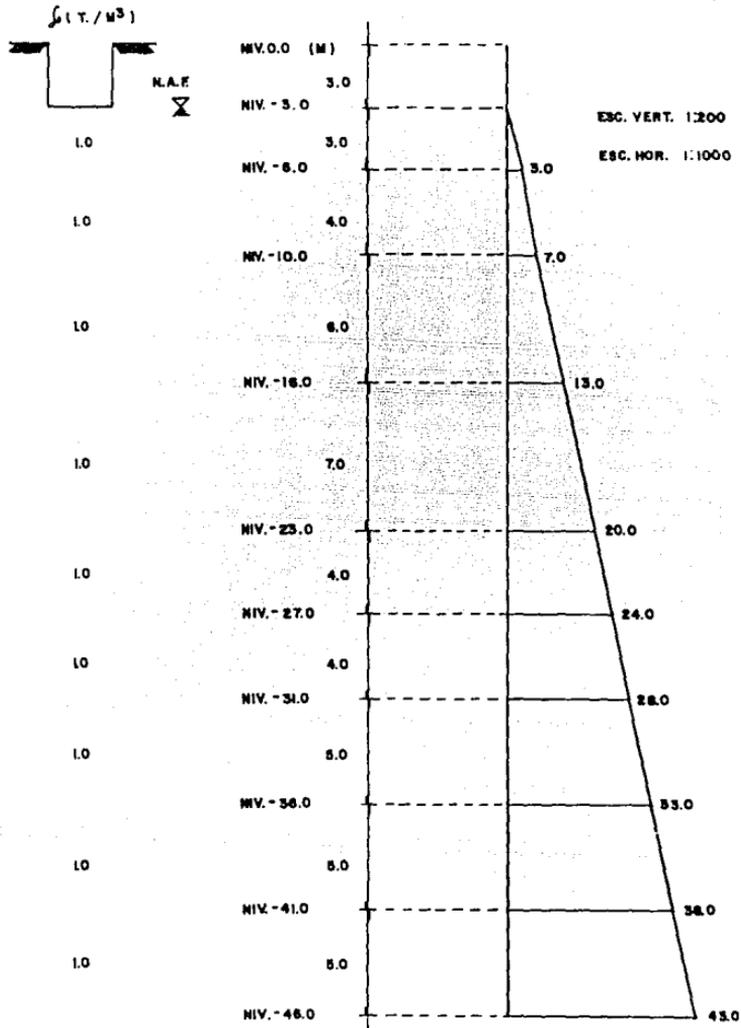
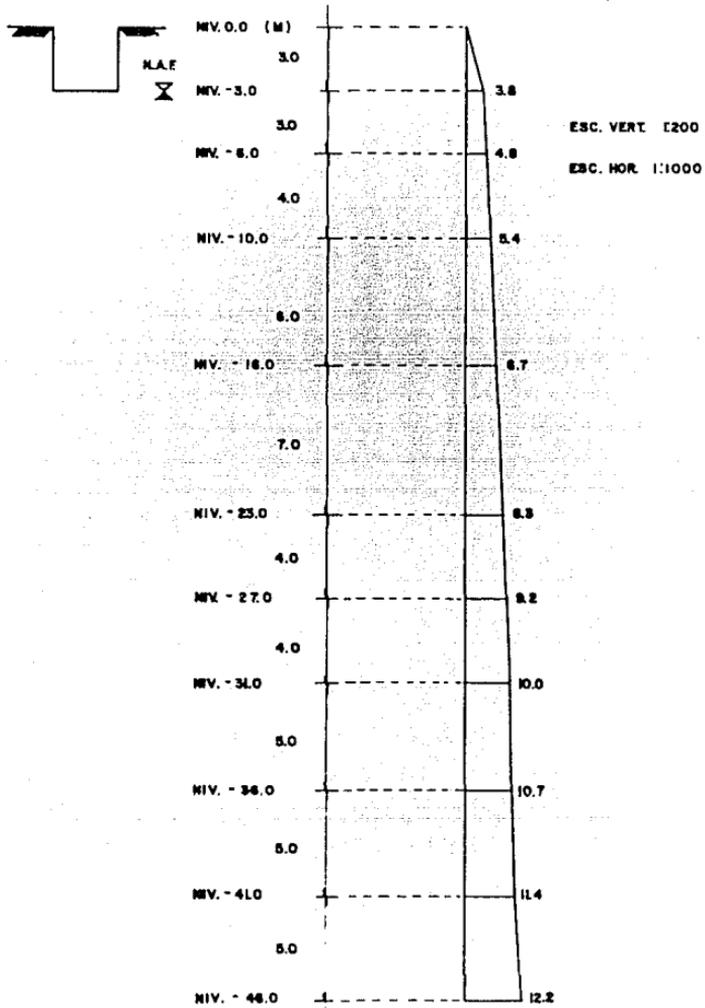
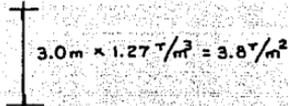
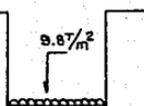
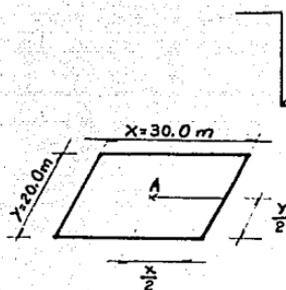


DIAGRAMA DE PRESIONES EFECTIVAS \bar{P}_0 (T./M²)



DISTRIBUCION DE PRESIONES (BOUSSINESQ).



$$\Delta n e l_0 = 9.8 - 3.8 = 6.0 \text{ T/m}^2$$

$$\Delta \sigma_z = W \times W_0$$

$$Z_3 = \begin{cases} m = \frac{x}{2} = \frac{15}{3} = 5.0 \\ n = \frac{y}{2} = \frac{10}{3} = 3.3 \end{cases}$$

$$W_0 = 0.25 \quad E_{xcav.} \Delta \sigma_3 = \left((0.25 \times 3.8) 4 \right) = 3.8$$

$$Z_7 = \begin{cases} m = 2.1 \\ n = 1.4 \end{cases}$$

$$W_0 = 0.22 \quad E_{xcav.} \Delta \sigma_7 = \left((0.22 \times 3.8) 4 \right) = 3.34$$

$$Z_{13} = \begin{cases} m = 1.2 \\ n = 0.8 \end{cases}$$

$$W_0 = 0.172 \quad E_{xcav.} \Delta \sigma_{13} = \left((0.172 \times 3.8) 4 \right) = 2.61$$

$$Z_{20} = \begin{cases} m = 0.8 \\ n = 0.5 \end{cases}$$

$$W_0 = 0.112 \quad E_{xcav.} \Delta \sigma_{20} = \left((0.112 \times 3.8) 4 \right) = 1.70$$

$$Z_{24} = \begin{cases} m = 0.6 \\ n = 0.4 \end{cases}$$

$$W_0 = 0.082 \quad E_{xcav.} \Delta \sigma_{24} = \left((0.082 \times 3.8) 4 \right) = 1.25$$

$$Z_{26} = \begin{cases} m = 0.5 \\ n = 0.4 \end{cases}$$

$$W_0 = 0.072 \quad E_{xcav.} \Delta \sigma_{26} = \left((0.072 \times 3.8) 4 \right) = 1.10$$

$$Z_{33} = \begin{cases} m = 0.45 \\ n = 0.3 \end{cases}$$

$$W_0 = 0.053 \quad E_{xcav.} \Delta \sigma_{33} = \left((0.053 \times 3.8) 4 \right) = 0.81$$

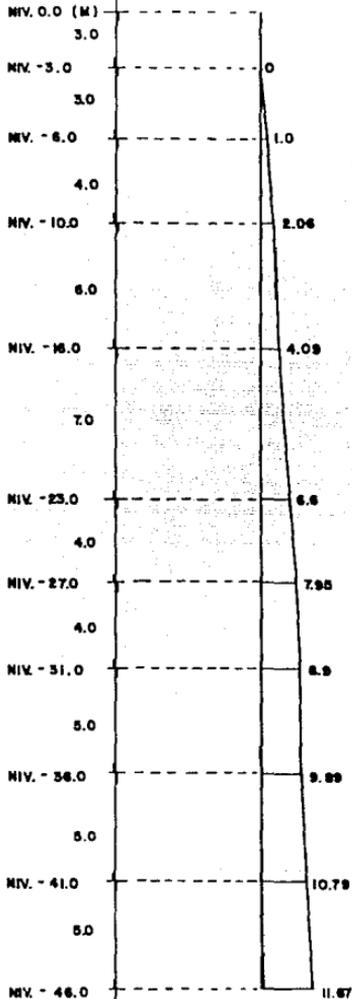
$$Z_{38} = \begin{cases} m = 0.39 \\ n = 0.26 \end{cases}$$

$$W_0 = 0.04 \quad E_{xcav.} \Delta \sigma_{38} = \left((0.04 \times 3.8) 4 \right) = 0.61$$

$$Z_{43} = \begin{cases} m = 0.35 \\ n = 0.23 \end{cases}$$

$$W_0 = 0.035 \quad E_{xcav.} \Delta \sigma_{43} = \left((0.035 \times 3.8) 4 \right) = 0.53$$

Coq (EXCAVADO). PO - BOUSSINESQ.



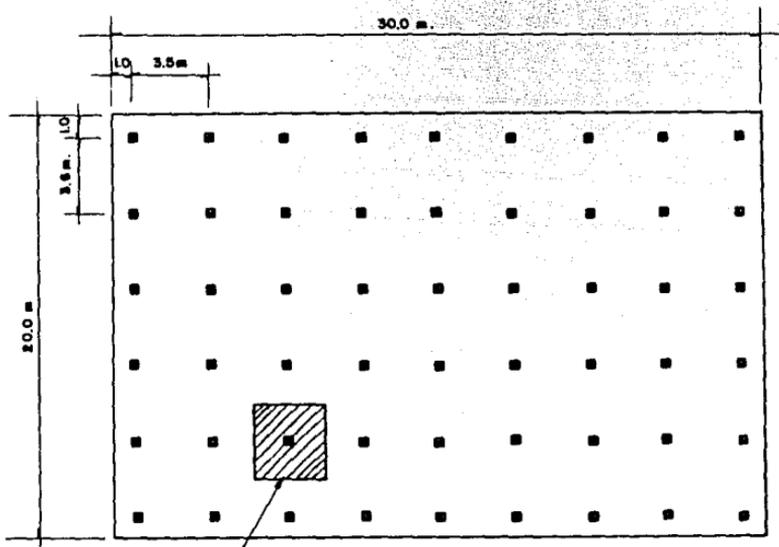
ESC. VERT. 1:200

ESC. HOR. 1:1000

DISTRIBUCION DE PILOTES.

PILOTES : 40 x 40.

$$\frac{\text{AREA}}{\# \text{ DE PILOTES}} = \frac{600.0}{54} = 11.1 \text{ m}^2$$



AREA TRIBUTARIA : 3.5 x 3.6 = 12.6 m²

$$\begin{matrix} a=3 \\ \square \\ b=2 \end{matrix}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{3}{2} \Rightarrow a = 1.5b$$

$$1.5b^2 = 11.11$$

$$\therefore b = 2.7 \text{ m.}$$

$$a = 4.1 \text{ m.}$$

ALGORITMOS

Fricción Negativa

$$\bar{\sigma}_{i-1} = \frac{\bar{\sigma}_{i-1} \bar{\sigma}_{i-1} - (NF)_{i-1} + (\bar{w} C_i + m_i \bar{\sigma}_i) \Delta Z_i}{\bar{\sigma}_{i-1} - m_i \Delta Z_i}$$

$$(NF)_{i-1} = (\bar{\sigma}_{i-1} - \bar{\sigma}_{i-1}) \bar{\sigma}_{i-1}$$

$$m_i = \pi \bar{r}_c K_{\phi_i}$$

$$\bar{w} = 2\pi \bar{r}_c$$

$$\bar{r}_c = 1.05r$$

$$K_{\phi_i} = \frac{\tan \phi_r}{\bar{N}_{\phi}}$$

$$\bar{N}_{\phi} = \frac{1 + 5 \sin^2 \phi_r}{1 - 5 \sin^2 \phi_r}$$

Fricción Positiva

$$\bar{\sigma}_i = \frac{(PF)_i + \bar{\sigma}_i \bar{\sigma}_i + (\bar{w} C_i + m_i \bar{\sigma}_{i-1}) \Delta Z_i}{\bar{\sigma}_i - m_i \Delta Z_i}$$

$$(PF)_i = (\bar{\sigma}_i - \bar{\sigma}_i) \bar{\sigma}_i$$

$$m_i = \pi \bar{r}_c K_{\phi_i}$$

$$\bar{w} = 2\pi \bar{r}_c$$

$$\bar{r}_c = 1.05r$$

$$K_{\phi_i} = \frac{\tan \phi_r}{\bar{N}_{\phi}}$$

$$\bar{N}_{\phi} = \frac{1 + 5 \sin^2 \phi_r}{1 - 5 \sin^2 \phi_r}$$

DONDE:

\bar{C}_i = Área tributaria del pilote.

C_i = Cohesión.

ϕ_r = Angulo de fricción interna del suelo remoldeado.

\bar{w} = Perímetro del pilote.

ϕ_p = Angulo de fricción de contacto del pilote.

\bar{r}_o = Radio del pilote.

DATOS:

$$\bar{C}_i = 12.6 \text{ m}^2$$

$$\phi_r = \phi_p = 26^\circ$$

$$\bar{w} = 4 (0.4) = 1.6 \text{ m}$$

$$\bar{r}_o = 0.2 (1.05) = 0.21 \text{ m}$$

$$C_i = 0$$

CALCULO DE PF Y NF

PF

σ_{oi}	\bar{a}_i (m ²)	σ_i	(PF) _i	Prof. (m)	ΔZ_i (m)
0	12.6	0	0	3	
1.0	12.6	1.055	0.690	6	3
2.06	12.6	2.292	2.919	10	4
4.09	12.6	4.867	9.785	16	6
6.60	12.6	8.489	23.803	23	7
7.95	12.6	10.729	35.011	27	4

a 22.0 M. de profundidad: $\sigma_i = 8.0$ y $\sigma_{oi} = 6.3$

$$\therefore (PF) = (\sigma_i - \sigma_{oi}) \bar{a}_i = (8.0 - 6.3) 12.6 = 21.42 \text{ ton.}$$

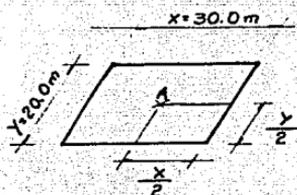
a 27.0 M. de profundidad la reducción del esfuerzo vale:

$$\sigma_i = \sigma_{oi} - \frac{PA}{\bar{a}_i} \quad \therefore \sigma_i = 9.2 - \frac{21.42}{12.6} = 7.5$$

NF

σ_{oi}	\bar{a}_i (m ²)	σ_i	(NF) _i	Prof. (m)	ΔZ_i (m)
9.2	12.6	7.5	21.42	27	
8.3	12.6	7.7	7.56	23	4
6.7	12.6	8.02	-16.63	16	7
5.4	12.6	8.44	-38.30	10	6
4.8	12.6	9.06	-53.67	6	4
3.8	12.6	9.0	-65.52	3	3

CALCULO DE PRESIONES (abajo de los pilotes).



$$\Delta n_e t_0 = 9.2 - 7.5 = 1.7 \text{ T/m}^2$$

$$\Delta \bar{U}_Z = W \times W_0$$

NIV.-22.0 Hacia abajo; tomando estratos a las profundidades indicadas:

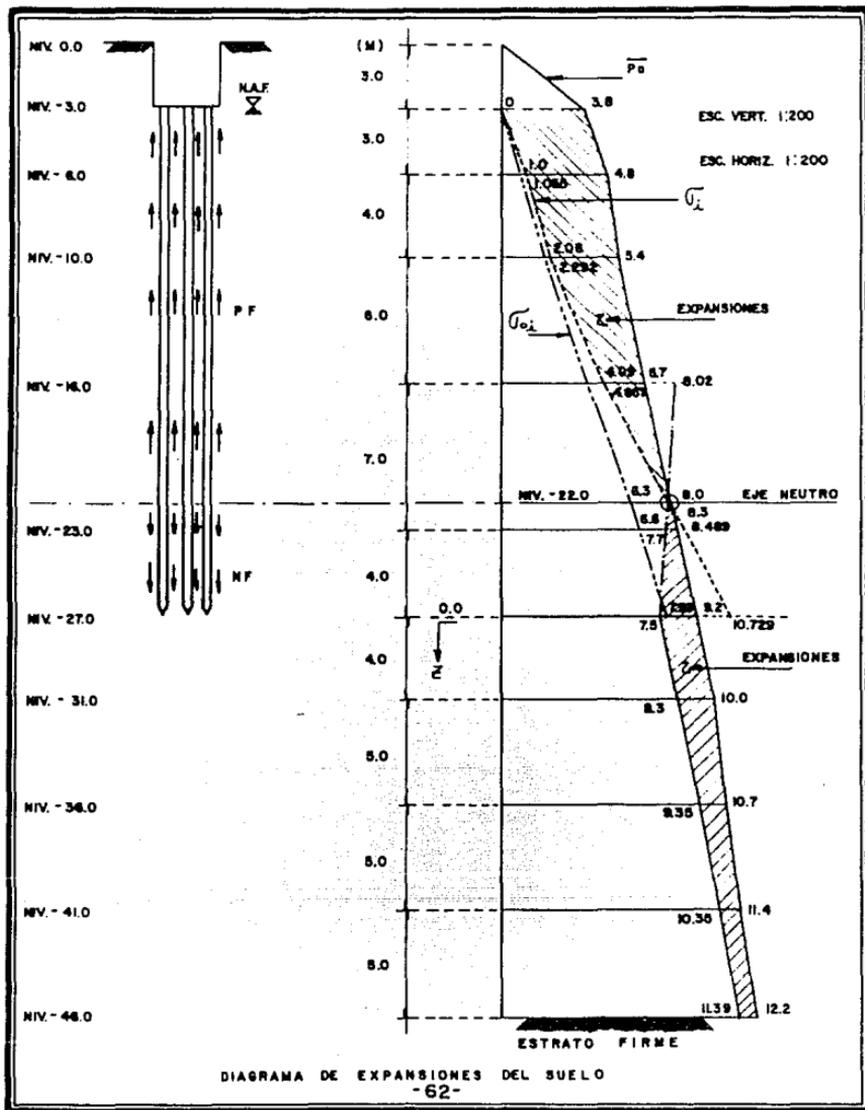
PARA:

$$Z = 4.0 \left\{ \begin{array}{l} m = \frac{x}{Z} = \frac{15}{4} = 3.75 \\ n = \frac{y}{Z} = \frac{10}{4} = 2.5 \end{array} \right. \quad W_0 = 0.25 \quad \Delta \bar{U}_4 = \left[(0.25 \times 1.7) 4 \right] = 1.7$$

$$Z = 9.0 \left\{ \begin{array}{l} m = \frac{15}{9} = 1.67 \\ n = \frac{10}{9} = 1.11 \end{array} \right. \quad W_0 = 0.199 \quad \Delta \bar{U}_9 = \left[(0.199 \times 1.7) 4 \right] = 1.35$$

$$Z = 14.0 \left\{ \begin{array}{l} m = \frac{15}{14} = 1.07 \\ n = \frac{10}{14} = 0.71 \end{array} \right. \quad W_0 = 0.155 \quad \Delta \bar{U}_{14} = \left[(0.155 \times 1.7) 4 \right] = 1.05$$

$$Z = 19.0 \left\{ \begin{array}{l} m = \frac{15}{19} = 0.79 \\ n = \frac{10}{19} = 0.53 \end{array} \right. \quad W_0 = 0.119 \quad \Delta \bar{U}_{19} = \left[(0.119 \times 1.7) 4 \right] = 0.81$$



DETERMINACION DE EXPANSION ELASTICA.

Utilizando la expresión: $\delta_e = \sum \rho_e M_e \Delta \bar{\sigma}_v H$

$$\rho_e = \left[\frac{\Delta \bar{\sigma}_v}{\bar{P}_e} \right]^{C-1}$$

DONDE: C = 1.5

$$\rho_{e1} = \left[\frac{3.8}{4.4} \right]^{0.5} = 0.93$$

$$M_{e1} = 0.027$$

$$\rho_{e2} = \left[\frac{3.4}{5.2} \right]^{0.5} = 0.81$$

$$M_{e2} = 0.030$$

$$\rho_{e3} = \left[\frac{2.6}{6.0} \right]^{0.5} = 0.66$$

$$M_{e3} = 0.034$$

$$\rho_{e4} = \left[\frac{1.0}{7.6} \right]^{0.5} = 0.36$$

$$M_{e4} = 0.040$$

$$\rho_{e5} = \left[\frac{1.0}{8.8} \right]^{0.5} = 0.34$$

$$M_{e5} = 0.044$$

$$\rho_{e6} = \left[\frac{1.8}{9.6} \right]^{0.5} = 0.43$$

$$M_{e6} = 0.048$$

$$\rho_{e7} = \left[\frac{1.6}{10.4} \right]^{0.5} = 0.39$$

$$M_{e7} = 0.032$$

$$\rho_{e8} = \left[\frac{1.2}{11.2} \right]^{0.5} = 0.33$$

$$M_{e8} = 0.028$$

$$\rho_{e9} = \left[\frac{1.0}{11.8} \right]^{0.5} = 0.29$$

$$M_{e9} = 0.028$$

$$\delta_{e1} = 0.93 (0.027) (0.38) (300) = 2.86$$

$$\delta_{e2} = 0.81 (0.030) (0.34) (400) = 3.30$$

$$\delta_{e3} = 0.66 (0.034) (0.26) (600) = 3.50$$

$$\delta_{e4} = 0.36 (0.040) (0.10) (700) = 1.00$$

$$\delta_{e5} = 0.34 (0.044) (0.10) (460) = 0.60$$

$$\delta_{e6} = 0.43 (0.048) (0.18) (400) = 1.49$$

$$\delta_{e7} = 0.39 (0.032) (0.16) (500) = 1.00$$

$$\delta_{e8} = 0.33 (0.028) (0.12) (500) = 0.55$$

$$\delta_{e9} = 0.29 (0.028) (0.10) (500) = 0.41$$

$$\therefore \underline{\underline{\delta_e = 14.71 \text{ cm.}}}$$

DETERMINACION DEL ASENTAMIENTO POR RECOMPRESION.

Utilizando la expresión:
$$\delta_{rc} = \sum p_{rc} m_v \Delta \bar{\sigma}_v H$$

$$p_{rc} = \left(\frac{\Delta \bar{\sigma}_v}{P_0} \right)^c \quad \text{DONDE: } C=1.5$$

$$p_{rc1} = \left(\frac{3.8}{4.4} \right)^{1.5} = 0.80$$

$$m_{v1} = 0.024$$

$$p_{rc2} = \left(\frac{3.4}{5.2} \right)^{1.5} = 0.53$$

$$m_{v2} = 0.015$$

$$p_{rc3} = \left(\frac{2.6}{6.0} \right)^{1.5} = 0.29$$

$$m_{v3} = 0.020$$

$$p_{rc4} = \left(\frac{1.0}{7.6} \right)^{1.5} = 0.05$$

$$m_{v4} = 0.021$$

$$p_{rc5} = \left(\frac{1.0}{8.8} \right)^{1.5} = 0.04$$

$$m_{v5} = 0.028$$

$$p_{rc6} = \left(\frac{1.8}{9.6} \right)^{1.5} = 0.08$$

$$m_{v6} = 0.026$$

$$p_{rc7} = \left(\frac{1.6}{10.4} \right)^{1.5} = 0.06$$

$$m_{v7} = 0.016$$

$$p_{rc8} = \left(\frac{1.2}{11.2} \right)^{1.5} = 0.04$$

$$m_{v8} = 0.0096$$

$$p_{rc9} = \left(\frac{1.0}{11.8} \right)^{1.5} = 0.02$$

$$m_{v9} = 0.0096$$

$$\delta_{rc1} = 0.80 (0.024) (0.38) (300) = 2.18$$

$$\delta_{rc2} = 0.53 (0.015) (0.34) (400) = 1.10$$

$$\delta_{rc3} = 0.29 (0.020) (0.26) (600) = 0.90$$

$$\delta_{rc4} = 0.05 (0.021) (0.10) (700) = 0.07$$

$$\delta_{rc5} = 0.04 (0.028) (0.10) (400) = 0.04$$

$$\delta_{rc6} = 0.08 (0.026) (0.18) (400) = 0.15$$

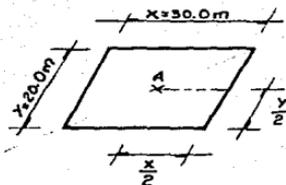
$$\delta_{rc7} = 0.06 (0.016) (0.16) (500) = 0.08$$

$$\delta_{rc8} = 0.04 (0.0096) (0.12) (500) = 0.02$$

$$\delta_{rc9} = 0.02 (0.0096) (0.10) (500) = 0.01$$

$$\therefore \delta_{rc} = \underline{\underline{4.55 \text{ cm.}}}$$

DISTRIBUCION DE PRESIONES (BOUSSINESQ).
 CON EL INCREMENTO DE 1.0 T/m²



$$\Delta \bar{U}_z = \omega \times \omega_0$$

$$Z_3 = \left\{ \begin{array}{l} m = \frac{x}{n} = \frac{15}{3} = 5.0 \\ n = \frac{y}{2} = \frac{10}{3} = 3.3 \end{array} \right.$$

$$\omega_0 = 0.25$$

$$\Delta \bar{U}_3 = (0.25 \times 1) 4 = 1.0$$

$$Z_7 = \left\{ \begin{array}{l} m = 2.1 \\ n = 1.4 \end{array} \right.$$

$$\omega_0 = 0.22$$

$$\Delta \bar{U}_7 = (0.22 \times 1) 4 = 0.90$$

$$Z_{13} = \left\{ \begin{array}{l} m = 1.2 \\ n = 0.8 \end{array} \right.$$

$$\omega_0 = 0.172$$

$$\Delta \bar{U}_{13} = (0.172 \times 1) 4 = 0.70$$

$$Z_{20} = \left\{ \begin{array}{l} m = 0.8 \\ n = 0.5 \end{array} \right.$$

$$\omega_0 = 0.112$$

$$\Delta \bar{U}_{20} = (0.112 \times 1) 4 = 0.50$$

$$Z_{24} = \left\{ \begin{array}{l} m = 0.6 \\ n = 0.4 \end{array} \right.$$

$$\omega_0 = 0.082$$

$$\Delta \bar{U}_{24} = (0.082 \times 1) 4 = 0.30$$

$$Z_{28} = \left\{ \begin{array}{l} m = 0.5 \\ n = 0.4 \end{array} \right.$$

$$\omega_0 = 0.072$$

$$\Delta \bar{U}_{28} = (0.072 \times 1) 4 = 0.30$$

$$Z_{33} = \left\{ \begin{array}{l} m = 0.45 \\ n = 0.3 \end{array} \right.$$

$$\omega_0 = 0.053$$

$$\Delta \bar{U}_{33} = (0.053 \times 1) 4 = 0.20$$

$$Z_{38} = \left\{ \begin{array}{l} m = 0.39 \\ n = 0.26 \end{array} \right.$$

$$\omega_0 = 0.04$$

$$\Delta \bar{U}_{38} = (0.04 \times 1) 4 = 0.20$$

$$Z_{43} = \left\{ \begin{array}{l} m = 0.35 \\ n = 0.23 \end{array} \right.$$

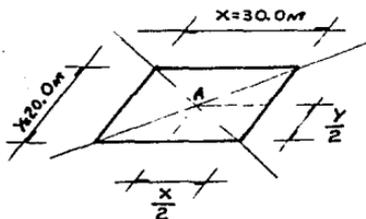
$$\omega_0 = 0.035$$

$$\Delta \bar{U}_{43} = (0.035 \times 1) 4 = 0.10$$

DISTRIBUCION DE PRESIONES (BOUSSINESQ).

PARA OBTENER ESFUERZOS EN EL SUELO POR CARGA AL NIVEL DE DESPLANTE Y POR PI-

LOTES. $11.24 - 9.5 = 1.74 \text{ T/M}^2$



$$\Delta \sigma_z = w \times w_0$$

$$Z_1 = \left(\begin{array}{l} m = \frac{x}{2} = \frac{15}{4} = 3.75 \\ n = \frac{y}{2} = \frac{10}{4} = 2.5 \end{array} \right)$$

$$w_0 = 0.250$$

$$\Delta \sigma_{1,4} = \left((0.250 \times 1.74) \cdot 4 \right) = 1.74$$

$$Z_2 = \left(\begin{array}{l} m = 1.67 \\ n = 1.11 \end{array} \right)$$

$$w_0 = 0.210$$

$$\Delta \sigma_{2,4} = \left((0.210 \times 1.74) \cdot 4 \right) = 1.46$$

$$Z_{1,4} = \left(\begin{array}{l} m = 1.10 \\ n = 0.71 \end{array} \right)$$

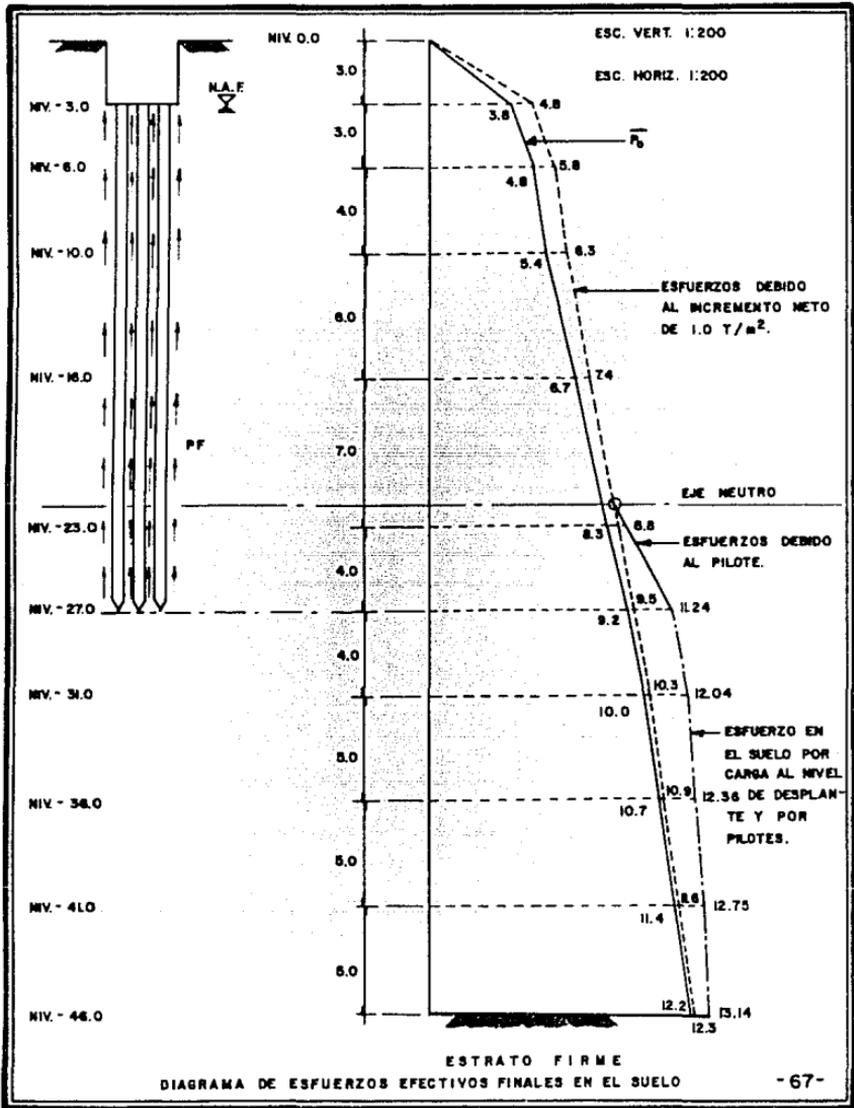
$$w_0 = 0.165$$

$$\Delta \sigma_{1,4} = \left((0.165 \times 1.74) \cdot 4 \right) = 1.15$$

$$Z_{1,5} = \left(\begin{array}{l} m = 0.79 \\ n = 0.53 \end{array} \right)$$

$$w_0 = 0.120$$

$$\Delta \sigma_{1,5} = \left((0.120 \times 1.74) \cdot 4 \right) = 0.84$$



CALCULO DE PF PARA CALCULAR ASENTAMIENTOS
POR COMPRESION.

σ_{oi}	$A_i (m^2)$	σ_i	$(PF)_i$	Prof. (m)	$\Delta Z_i (m)$
8.7	12.6	8.7	0	22.0	5.0
9.5	12.6	11.24	21.92	27.0	

ASENTAMIENTOS POR COMPRESION: $\delta_c = \sum m_v \Delta \bar{\sigma}_v H$

$$\delta_{c1} = 0.0275 (0.12) (500) = 1.65$$

$$\delta_{c2} = 0.0260 (0.21) (400) = 2.20$$

$$\delta_{c3} = 0.0160 (0.15) (500) = 1.52$$

$$\delta_{c4} = 0.0160 (0.17) (500) = 1.36$$

$$\delta_{c5} = 0.0080 (0.12) (500) = 0.50$$

$$\therefore \delta_c = \underline{\underline{7.23 \text{ cm.}}}$$

ASENTAMIENTO TOTAL: $\delta_T = \sum \delta_{rc} + \sum \delta_c$

$$\therefore \delta_T = 4.55 + 7.23 = \underline{\underline{11.78 \text{ cm.}}}$$

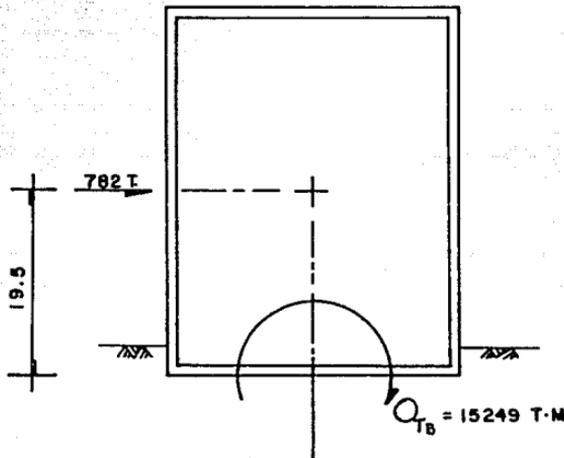
ANALISIS SISMICO

1).- MOMENTO DE VOLTEO Y CORTANTE SISMICO

PESO DEL EDIFICIO = $20 \times 30 \times 9.8 = 5880 \text{ T}$

Terreno III: C.S.=0.40 $q=3.0 \Rightarrow C' = \frac{0.4}{3} = 0.133$

$$V_b = C.S. \times W_T = 0.133 \times 5880 = 782 \text{ T}$$



Por Unidad de Longitud:

$$O_{T_B} = \frac{15249}{30} = 508 \frac{\text{T}\cdot\text{M}}{\text{M}}$$

2).- GIRO ELASTICO

Módulo de Rigidez al Cortante: $G = 500 \text{ T/M}^2$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \nu = 0.5 \text{ Mat. Sat.}$$

$$\therefore E = 2(1+\nu)G = 2(1+0.5)(500) = 1500 \text{ T/M}^2$$

$$\text{Módulo de Deformación: } M_{eV} = \frac{1}{E} = 0.00066 \text{ M}^2/\text{T}$$

$$\Delta \theta_e = \frac{3}{\pi I} \cdot \frac{O_{TB}}{B^2} \cdot M_{eV}$$

$$\Delta \theta_e = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{508}{\left(\frac{20}{2}\right)^2} (0.00066) = 0.0032 \text{ rad.}$$

3).- GIRO PLASTICO O PERMANENTE

$$\Delta (\Delta \theta)_d = \Delta \theta_e (K_{ep} - 1) \quad \text{DONDE: } K_{ep} = 1.2$$

$$\Delta (\Delta \theta)_d = 0.0032 (1.2 - 1) = 0.00064 \text{ rad.}$$

$0.00064 < 0.0025 \quad \therefore \text{Sí cumple.}$

4).- FACTOR DE SEGURIDAD

$$F.S. = \frac{S + E_p}{\sqrt{b}}$$

S = Resistencia al corte en la base del edificio

E_p = Empuje Pasivo

$$S = c \cdot A \quad \text{DONDE: } c = 2.0 \text{ T/m}^2$$

$$S = 2.0 (20) (30) = 1200 \text{ T}$$

$$\Rightarrow F.S. = \frac{1200}{782} = 1.5 \quad \therefore 1.5 \geq 1.5 \text{ Cumple.}$$

5).- CAPACIDAD DE CARGA POR RESISTENCIA
AL CORTE

Criterio de SKEMPTON.

$$q_a = \frac{c N_c}{F.S.} + \int D_f$$

$$q_a = \frac{2(5.2)}{1.1} + 3.8 = 13.3 \text{ T/m}^2$$

$$B' = B - 2e$$

$$e = \frac{O_{Tb}}{W_T} = \frac{15249}{5880} = 2.6 \text{ m.}$$

$$\Rightarrow B' = 20 - 2(2.6) = 14.8 \text{ m.}$$

$$A' = 14.8 (30) = 444 \text{ m}^2$$

$$q \quad W_{sis.} = \frac{5880}{444} = 13.24 \text{ T/m}^2$$

$$W_{sis} \leq q_a \quad \therefore \text{Si cumple.}$$

VI.- CONCLUSIONES.

Se recurre al uso de pilas o pilotes cuando es necesario transmitir las cargas de una estructura a estratos profundos, porque los suelos que sobreyacen a éstos son blandos y compresibles y son incapaces de soportar a la estructura en cuestión, ya sea por su baja capacidad de carga o porque su alta compresibilidad generaría asentamientos intolerables.

Para diseñar correctamente una cimentación sobre pilas o pilotes el ingeniero necesita determinar:

- Profundidad del desplante de la punta.
- Dimensiones de la sección transversal.
- Número de pilas o pilotes necesarios y su distribución.
- Asentamientos probables que se pueden esperar del conjunto de pilas o pilotes diseñados.

La profundidad del desplante se decide sobre la base de una buena información de la estratigrafía y propiedades de los suelos, determinadas mediante sondeos confiables y ensayos de laboratorio.

Las dimensiones de la sección transversal del pilote o pila son una función de la magnitud de las cargas que transmite la estructura al cimiento y de la capacidad de carga que pueda asignarse a cada elemento del conjunto y al conjunto total de elementos de la cimentación profunda.

El número de elementos y su distribución son función del párrafo anterior.

El asentamiento está directamente relacionado con la compresibilidad de los suelos en los que se apoya el conjunto de pilas o pilotes.

La estimación de la capacidad de carga puede realizarse mediante fórmulas estáticas, basadas en las teorías de capacidad de carga de los suelos, o bien recurriendo a las fórmulas dinámicas, basadas en la energía del martinete de hincado del pilote.

Las fórmulas estáticas son de uso general y proporcionan soluciones satisfactorias si se emplean adecuadamente con una clara comprensión de los factores que intervienen en ellas y una información confiable sobre la estratigrafía y propiedades de los suelos afectados por el cimiento.

De los resultados obtenidos en el ejemplo de aplicación, se deduce que los pilotes de fricción transmiten los esfuerzos a estratos de suelo de baja compresibilidad, reduciendo considerablemente los asentamientos totales de la estructura.

El asentamiento total permisible para una estructura es de 30.0 cm. cuando no existe colindancia. Por otra parte, cuando existe colindancia, el asentamiento permisible es de 15.0 cm.

En el problema de este trabajo, donde existe colindancia, el asentamiento total obtenido fue de alrededor de 12.0 cm, el cual está dentro de lo permisible.

Por lo consiguiente, la combinación de cajón de cimentación con pilotes de fricción, ofrece una buena alternativa de cimentación, para edificios de mediana altura (como el del ejemplo), en subsuelo arcilloso del tipo de la ciudad de México, debido a que los pilotes de fricción se proyectan a manera de irse hincando conforme desciende el subsuelo de la ciudad de México.

Para edificios del orden de 12 niveles, las cimentaciones con pilotes de fricción ofrecen una buena alternativa, siempre y cuando se tengan estudios fidedignos de los estratos del subsuelo.

Las expansiones son debidas a la excavación, donde existe un fenómeno, tal que, el suelo tiende a subir o a expandirse. Sin embargo, las expansiones se reducen por la presencia de los pilotes, esto es, que hay que hincar los pilotes antes de la excavación.

La recompresión es la recuperación de la expansión previa. La recompresión es la recuperación del suelo con tendencia a asentarse, la cual se reduce, también, por la presencia de los pilotes.

Los asentamientos por compresión son debidos al peso de la estructura, los cuales son bajos debido a la combinación de cajón de cimentación con pilotes de fricción.

El momento de volteo y cortante en la base, a causa de fuerza sísmica, son tomados por el suelo y la losa de cimentación, como si los pilotes no estuvieran presentes.

Para el análisis se considera que la cimentación es una caja rígida y que la probable rotación de la cimentación está en el punto medio. Entonces el problema es solamente debido a la deformación elasto - plástica del suelo. De lo anterior, los resultados obtenidos en el ejemplo, en relación con el giro permanente, capacidad de carga por resistencia al corte y cortante en la base, están dentro de lo permisible, lo cual indica que bajo cargas accidentales los resultados son satisfactorios; también son conservadores, debido a cierta contribución de los pilotes, siempre y cuando se tenga conocimiento de las condiciones estratigráficas del subsuelo.

BIBLIOGRAFIA

- 1).- **Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions.**
Leonardo Zeevaert, 1973.
Ed. Van Nostrand Reinhold VNR.

- 2).- **Mecánica de Suelos.**
Juárez Badillo - Rico Rodríguez, 1975 Vol. I y II.
Ed. Limusa.

- 3).- **Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica.**
Karl Terzaghi - Ralph B. Peck, 1955.
Ed. " El Ateneo ".

- 4).- **Introducción a la Mecánica de Suelos.**
George P. Sowers - George F. Sowers, 1975.
Ed. Limusa.