



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

MEJORAMIENTO DEL SUELO A BASE DE MICROPILOTES
PARA UN CENTRO COMERCIAL EN MAZATLÁN, SIN.

T E S I S
Que para obtener el Título de
I N G E N I E R O C I V I L
p r e s e n t a

Diego Antonio García de la Cadena Ramírez



Director de Tesis:
ING. HECTOR SANGINES GARCIA

México, D. F.

1 9 9 3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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

I	INTRODUCCION	2
II	ESTUDIOS GEOTECNICOS	6
III	MEJORAMIENTO DEL SUELO	36
IV	DISEÑO DE MICROPILOTES	65
V	CONCLUSIONES	89
	BIBLIOGRAFIA	95

CAPITULO I INTRODUCCION

Desde un principio el hombre a tenido la necesidad de construir estructuras con el fin de satisfacer sus necesidades, que con el paso del tiempo se han venido desarrollando de una manera más compleja, esto redunda en estudios más completos para la simplificación de su solución. Esto es básicamente el objetivo de la ingeniería.

Dentro de los proyectos de ingeniería civil es de gran importancia conocer las condiciones del suelo donde se apoyará la estructura, por lo que es recomendable y necesario que en toda obra de ingeniería civil se realice un estudio de mecánica de suelos con el fin de obtener las propiedades mecánicas del mismo. Del estudio se generan los datos necesarios para poder dar las características de la cimentación que tenga la estructura, así como el comportamiento del suelo en condiciones de servicio.

Es importante saber que existen varios tipos de suelos y que cada uno tiene su técnica de exploración en particular, así como para cada tipo de suelo existen

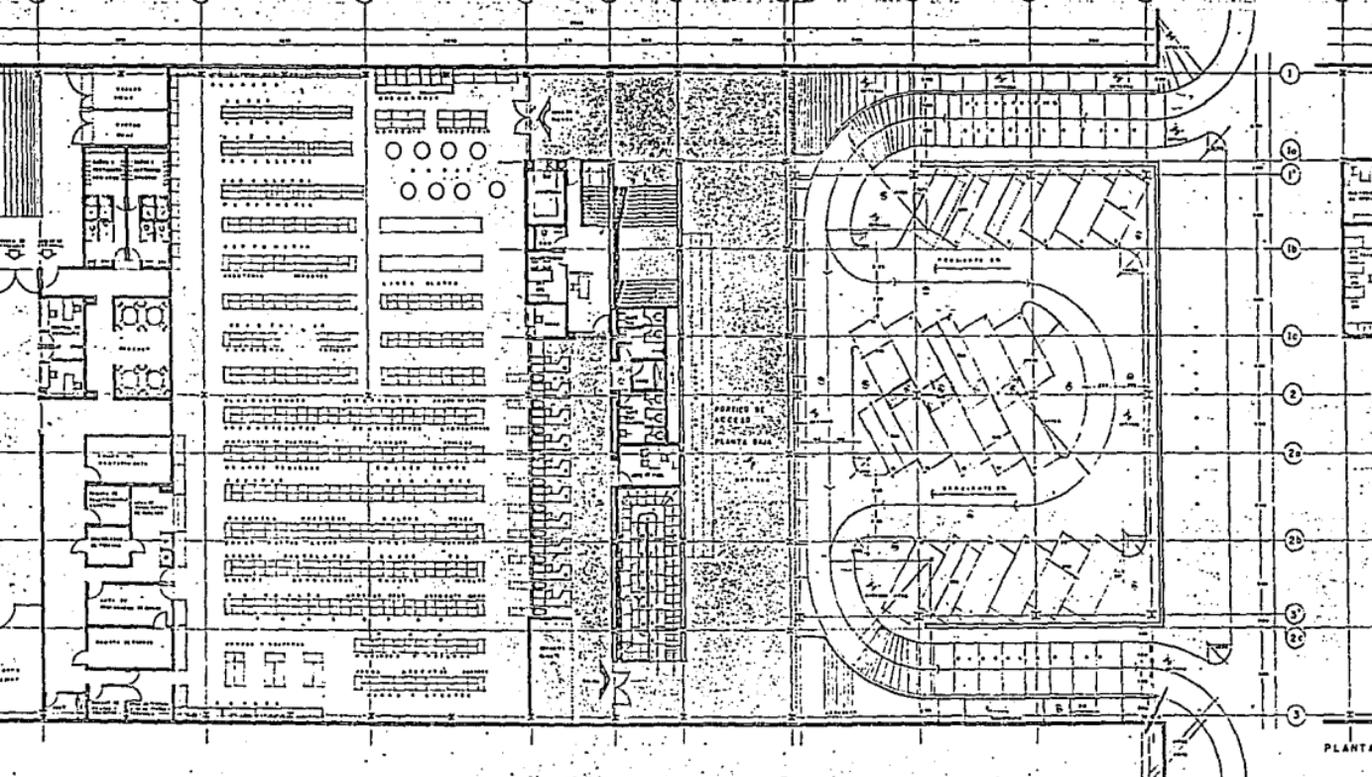
pruebas de laboratorio específicas para conocer sus propiedades, esto debido a las características particulares de cada suelo. A los suelos se les conocen en forma general como cohesivos y friccionantes; los suelos cohesivos formados principalmente por suelos que contienen arcillas y como su nombre lo indica su principal característica es la cohesión, también existen los suelos denominados friccionantes los suelos denominados de esta manera contienen arena y gravas, principalmente y su característica es la fricción que se genera entre ellos.

Debido a estas condiciones y los diferentes tipos que existen se deben estudiar los suelos ya que las características del suelo de un terreno pueden ser diferentes al de otro cercano.

Por esto al surgir la necesidad de construir un centro comercial en la ciudad de Mazatlán Sinaloa (FIG. 1), se realizó un estudio preliminar de mecánica de suelos, donde se obtuvieron datos preliminares, estos arrojaban que la estructura podría tener problemas si no se tenía cuidado en la cimentación, por lo que se decidió que la superestructura se soportará en pilotes de punta de concreto apoyados en un estrato resistente localizado en el terreno, con esta propuesta

solo quedaba resolver el problema de asentamiento que se podía producir en el área de ventas, estacionamiento, área de servicios y patio de maniobras, para lo que se propuso como solución un mejoramiento del suelo a base de micropilotes.

Lo anterior es la base por la cual tomé la decisión de elegir este tema para desarrollar como tesis. En este trabajo trataré los temas de estudios geotécnicos, donde describiré los procedimientos de muestreo más comunmente utilizados, así como las pruebas de laboratorio que se aplicaron a las muestras. También se hará mención a diferentes métodos utilizados para el mejoramiento del suelo y el por que de la elección de utilizar los micropilotes como solución así como el diseño de los mismos.



Escala: 1/50
 Autor: [Illegible]
 Fecha: [Illegible]
 No. Proyecto: [Illegible]

[Handwritten initials and notes in the bottom right corner]

- LEGENDA
 - LAS LINEAS DE TRAZO SENCILLO SON DE
 - LAS LINEAS DE TRAZO DOBLE SON DE
 - LAS LINEAS DE TRAZO TRIPLE SON DE
 - LAS LINEAS DE TRAZO CUADRADO SON DE
 - LAS LINEAS DE TRAZO CUADRADO CON PUNTEO SON DE
 - LAS LINEAS DE TRAZO CUADRADO CON PUNTEO Y TRAZO SENCILLO SON DE

PLANTA

CAPITULO II ESTUDIOS GEOTECNICOS

EXPLORACION DEL SUBSUELO

En este capítulo se abordará la manera de obtener la información sobre las características del suelo (las condiciones de presión de agua, propiedades mecánicas, etc) a fin de facilitar el diseño de estructuras y el procedimiento constructivo adecuado para la ejecución del proyecto.

EXPLORACION GEOTECNICA

GEOLOGIA GENERAL Y SISMICIDAD DE MAZATLAN, SINALOA.

Mazatlán se encuentra a corta distancia del sitio en donde la placa tectónica de Cocos está siendo subducida por la placa de Norteamérica y al mismo tiempo, se haya frente al límite donde la placa del Pacífico se desliza contra la misma placa de Norteamérica. Con lechos oceánicos, como lo son las placas de Cocos y la del Pacífico, la colisión causa la generación de grandes esfuerzos capaces de almacenar enormes cantidades de energía, esto bajo ciertas circunstancias

puede ocasionar fallas por cortante que se traducen en un deslizamiento relativo. Estas fallas proyectadas a la superficie terrestre se les conoce como epicentros. Mazatlán está localizado de manera natural cerca de numerosos epicentros potenciales (FIG. 2).

DESCRIPCION DEL SUBSUELO

Por la importancia que ha adquirido la ciudad de Mazatlán, se ha ampliado el conocimiento de sus características del suelo. En este trabajo se dará un resumen de los datos ya recopilados, los que nos ayudarán a tener una buena idea del tipo de suelo que ahí existe.

La parte antigua de la ciudad se construyó antes de que existiera la necesidad de estudios de Mecánica de Suelos; por ello son escasos los datos relativos a esta zona, pero existen los cerros de La Nevería, del Vigía, del Crestón y las islas de Chivos y de Piedra que representan el afloramiento de rocas ígneas; además, en el proyecto de drenaje se obtuvo que es muy común hallar Riolita o Granito a profundidades cortas: generalmente a menos de 2 m, pero también en ciertos

puntos la roca a aparecido hasta a 17 m de profundidad. En su mayor parte los materiales que cubren a la roca son suelos residuales de buena calidad, que se clasifican desde arcillas hasta arenas gruesas o gravas.

Las áreas ganadas al mar con rellenos, también son poco conocidas, sabiéndose sólo que los suelos son de arenas limpias graduadas, de medianas a finas, con restos de conchas y de compacidad media, pues su número de golpes fluctúa de 10 a 25 en la prueba de penetración normal.

Adyacente a la zona antigua de Mazatlán y hacia el norte se halla el estero del Infiernillo, a lo largo de cuyo límite poniente se realizaron varios sondeos. En esta zona se limitó a 6 m la profundidad de los sondeos, en los que se hallaron arenas limosas o arcillosas y arcillas arenosas de mediana a alta plasticidad. Las arenas recibieron números de golpes que las identifican como de muy sueltas a compactas y las arcillas exhibieron un contenido natural de agua promedio de 50%, pero con valores mayores de 100%. Su límite líquido promedio vale 55% y el plástico 16%, de manera que es dado esperar una ligera preconsolidación.

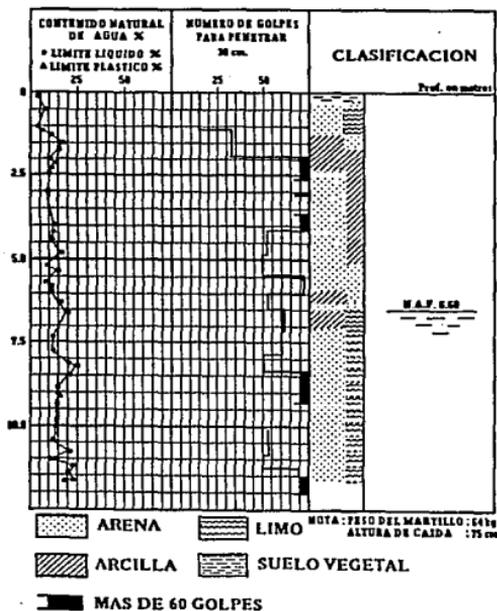
En general, podemos concluir que existen variaciones locales. Podemos encontrar arenas cuya compactación va de mediana a alta, salvo cerca de la superficie donde suele estar suelta. Interstratificadas con la arena se hallan capas de arcilla o arcilla arenosa de consistencia y plasticidad muy variable y de bajo contenido natural de agua.

Con respecto a cimentaciones, en Mazatlán por lo general se usan cimientos superficiales a base de zapatas corridas o aisladas, losas de cimentación y, en algunos casos, dependiendo de la importancia de la obra se han usado pilas y pilotes.

En los casos en que los espesores de arcillas y la profundidad donde aparecen permiten prever asentamientos importantes, se han recomendado cimentaciones parcialmente compensadas. Los pilotes normalmente se hincan en perforaciones previas, buscando apoyarlos firmemente en roca sana, y su diseño es muy simple, pues se les asigna su resistencia estructural como columnas cortas.

INVESTIGACION PRELIMINAR

El predio que se propuso para la construcción del centro còmercial contaba con una gran cantidad de vegetaciòn, tambièn se observò un lente de agua de aproximadamente 10 cm y, de acuerdo con los vecinos del lugar, se localiza dentro de un àrea que fue ganada al mar. El terreno se ubica en contraesquina del Hospital del IMSS, donde se realizò un estudio de mecànica de suelos que podemos tomar como paràmetro (Se presenta el siguiente perfil estratigràfico).



ENSAYES PRELIMINARES

PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO

Los procedimientos de muestreo se pueden clasificar de dos tipos, muestreo alterado o inalterado:

Muestreo alterado. Consiste en la recuperación de muestras alteradas del suelo, que son aquellas en las que el acomodo estructural de sus partículas se ha modificado en forma significativa debido al proceso de muestreo. Estas muestras se utilizan en el laboratorio para identificar los suelos, identificar las propiedades índices, definir la estratigrafía y preparar especímenes compactados y reconstituidos.

Muestreo inalterado. Este consiste en obtener muestras del suelo que conservan prácticamente inalterado el acomodo natural de sus partículas sólidas; sin embargo, la relajación de esfuerzos induce modificaciones de sus características y comportamiento mecánico, que pueden ser ligeras o importantes dependiendo del cuidado y la técnica con la que se obtengan. Las muestras

inalteradas se utilizan en el laboratorio para determinar las propiedades índice y mecánicas del suelo.

Las muestras alteradas se obtienen como parte de un sondeo del que también se recuperan muestras inalteradas o de un sondeo del que sólo se obtienen muestras de este tipo. Describiremos varios procedimientos y el tipo de muestras que se pueden recuperar con cada procedimiento.

- **Pozo a cielo abierto.** El pozo a cielo abierto permite observar directamente las características estratigráficas del suelo y rescatar muestras inalteradas de los estratos principales (FIG. 3).

Se requiere de equipo para la excavación del pozo y labrado de las muestras inalteradas; la excavación puede hacerse con herramienta manual o con máquinas perforadoras capaces de abrir en seco pozos de por lo menos 80 cm de diámetro. El labrado de las muestras se realiza con herramientas manuales.

Para la excavación manual el equipo se integra por picos, palas, cable de manilas, botes, un malacate mecánico para 250 kg, herramientas para carpintería

PROCEDIMIENTO DE OBTENCION DE MUESTRAS CUBICAS

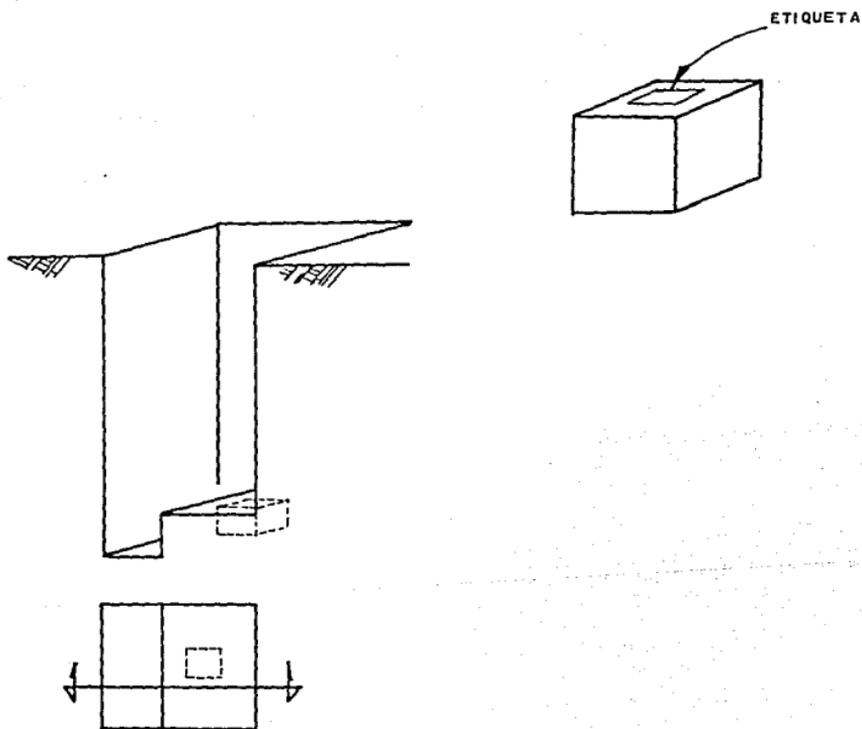


FIG.3

y albañilería. Se recuperan las muestras alteradas a mano y se conservan en un recipiente hermético que puede ser una bolsa de polietileno o un frasco de vidrio convenientemente identificado. Las muestras pueden ser de 0.5 a 20 kg dependiendo si se emplearán sólo para la identificación y determinación de las propiedades índices o si se usarán también para realizar pruebas de compactación. El pozo puede excavarse de sección cuadrada o circular, la forma se elegirá en razón a la técnica de estabilización de las paredes de excavación. Si se utilizan tablonés y marcos estructurales, la forma cuadrada es la más adecuada; por otra parte, la forma de pozo circular es la conveniente cuando se estabilizan sus paredes con tubo de lámina corrugada o con ferrocemento. Esta última solución se ha venido empleando con mucha frecuencia por su sencillez y bajo costo

En la excavación con máquina se pueden utilizar perforadoras de rotación del tipo empleado para la construcción de pilas de cimentación. La selección de la máquina quedará condicionada a la profundidad que se requiera alcanzar. La perforación mediante máquina rotatoria también puede presentar paredes inestables; en esos casos, el problema deberá resolverse perforando tramos cortos

y estabilizándolos con anillos de malla y mortero. El tamaño de la muestra alterada se basa en el criterio descrito para excavaciones manuales.

Para el labrado y protección de las muestras inalteradas se requieren espátulas, cincel, martillo, brochas, estufa, manta de cielo, parafina y breá. En la excavación se deja un escalón, en el cual se limpia un área de unos 50 cm de diámetro; a continuación se marca la sección deseada y se labran los lados del cubo del suelo (de 25 cm x 25 cm). Posteriormente, la muestra se envuelve en manta de cielo, que se impregna con una mezcla caliente de parafina y breá mediante una brocha. En la parte superior de la muestra se coloca una etiqueta de identificación.

Comentarios:

El pozo a cielo abierto es una técnica de exploración y muestreo que puede clasificarse como excelente; en los suelos secos es la única confiable, ya que los métodos de perforación y muestreo convencionales que emplean agua o lodo como fluido de perforación pueden provocar cambio de sus propiedades

mécanicas. Los factores que deben tomarse en cuenta para la selección del pozo a cielo abierto como técnica de muestreo en un caso particular son: no se realiza debajo del nivel freático, limitado a profundidades no mayores de 3 m, tiempo y costo de ejecución.

Las muestras alteradas pueden ser representativas de una sola profundidad o integrales, mezclando las de todo un pozo. Cuando se toman muestras de excavaciones abiertas, antes del muestreo debe eliminarse la costra del suelo alterado.

-Penetrómetro estándar. La prueba de penetración estándar (SPT por sus siglas en inglés), permite estimar la resistencia del suelo, mediante el número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro estándar y obtener muestras alteradas para identificar los suelos del sitio.

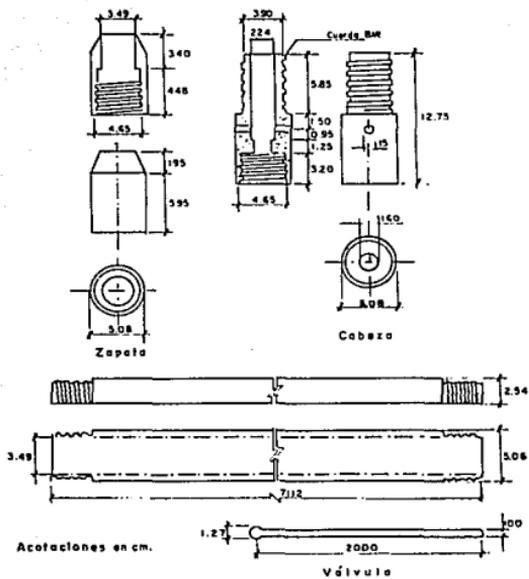
Con estas pruebas se pueden conocer las condiciones estratigráficas del sitio, aprovechando las muestras alteradas para determinar las propiedades índice a partir de correlaciones empíricas (resistencia al corte, compacidad relativa) y

pruebas de laboratorio (límite líquido, plástico). Esta técnica de exploración es útil en suelos granulares, en los que el muestreo inalterado es casi imposible.

El equipo que se requiere para realizar la prueba consiste en un tubo de acero con un extremo afilado cuyas dimensiones están normatizadas (FIG. 4). El tubo debe estar cortado longitudinalmente para facilitar la observación de la muestra, con válvulas que permitan la salida de azolve y eviten que la muestra se salga fácilmente del tubo.

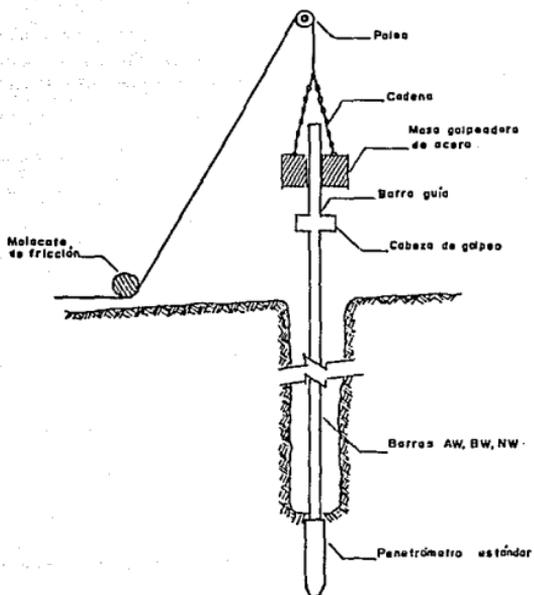
El penetrómetro se coloca en el extremo inferior de una columna de barras de acero de perforación del tipo AW o BW, se hinca con los impactos de un martinete golpeador de 64 kg y una altura de caída de 75 cm, el trabajo realizado es de 4800 kg-cm- y un malacate de fricción que levanta el martinete de fricción a la altura de caída con un cable de manila de 3/4 de pulgada. Para sostener el cable se requiere un tripie o una torre equipados con una polea (FIG. 5).

La prueba de penetración estándar consiste en hincar el penetrómetro 45 cm con la masa de 64 kg dejándola caer desde 75 cm de altura. Durante el hincado



PENETROMETRO ESTANDAR

FIG.4



PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR

FIG.5

se cuenta el número de golpes que corresponden a cada uno de los tres avances de 15 cm. La resistencia a la penetración estándar se define como el número de golpes N para penetrar los últimos 30 cm; los golpes de los primeros 15 cm se desprecian, porque se consideran no representativos por la alteración inducida a causa de la perforación. En caso de que el número de golpes llegue a cincuenta y el muestreador ya no penetre se suspenderá la prueba.

Un procedimiento alternativo usual consiste en hincar el penetrómetro 15 cm adicionales (60 cm en total); desde luego, el número de golpes N se obtiene como se describió anteriormente, por lo que la única ventaja de este procedimiento es que se muestrea un tramo ligeramente mayor, lo cual permite detallar más confiablemente la estratigrafía del sitio.

En la operación del martinete se debe vigilar que su altura de caída sea constante y que el cable de manila tenga un máximo de dos vueltas en el malacate de fricción, para lograr el efecto de caída libre sin fricción.

Una vez terminada una prueba se procede a perforar el tramo muestreado

hasta alcanzar la profundidad a la que se realizará la siguiente prueba. El diámetro de perforación más recomendable es de 10 cm.

Comentarios:

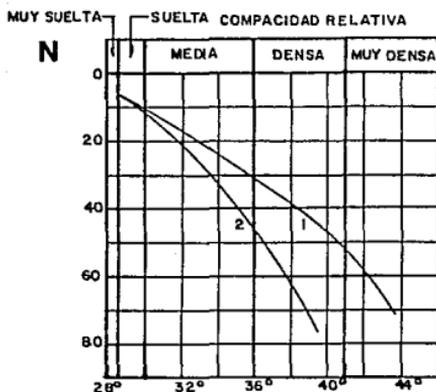
Con este procedimiento se tiene que: Las muestras rescatadas con el penetrómetro estándar siempre sufren distorsiones geométricas que alteran el acomodo estructural de sus partículas, por ello sólo pueden servir para identificar los suelos y para las pruebas índice que no requieran especímenes inalterados.

La clasificación de campo de los suelos muestreados permite elaborar una primera versión del perfil estratigráfico del sitio, que posteriormente se precisará y corregirá en el laboratorio. Cada una de las pruebas de penetración se representa gráficamente mediante puntos (Valores de N) que unidos por líneas definen la variación de la resistencia a la penetración estándar con la profundidad.

La interpretación de la prueba de penetración estándar se hace siempre a partir de relaciones empíricas, estas correlaciones deben aplicarse con las debidas reservas, ya que se desconoce su orden de precisión y tampoco se sabe

la tendencia del signo de cada correlación (FIG. 6).

Número de golpes	Compacidad relativa
0 - 4	Muy suelta
4 - 10	Suelta
10 - 30	Medía
30 - 50	Densa
> 50	Muy densa



Correlación número de golpes vs ángulo ϕ

1 Relación para arenas medianas a gruesas de grano anguloso a redondeado.

Ángulo de fricción interna ϕ

2 Relación para arenas finas y para arenas limosas

FIG.6

- **Muestreo con tubo de pared delgada (tubo Shelby).** El empleo de tubos abiertos de pared delgada o tubos Shelby, permite obtener muestras del subsuelo relativamente inalteradas. Para fines prácticos esta técnica debe aplicarse selectivamente para suministrar al laboratorio especímenes en donde se determinen las características de resistencia y compresibilidad que se requieren para el diseño geotécnico de detalle. El tubo Shelby está constituido por un tubo de acero o latón con el extremo inferior afilado y unido en la parte superior con la cabeza muestreadora, a su vez montada al final de la columna de barras de perforación, con las que se hincan el muestreador desde la superficie. La operación del equipo consiste en hincar el tubo con una velocidad constante entre 15 y 30 cm/seg una longitud de 75 cm. Después del hincado se deja el muestreador en reposo durante tres minutos para que la muestra se expanda en el interior y aumente su adherencia contra las paredes, en seguida se corta la base del espécimen girando dos vueltas el muestreador, se saca al exterior, se limpian sus extremos y se identifica el tubo (FIG. 7).

TUBO DE PARED DELGADA

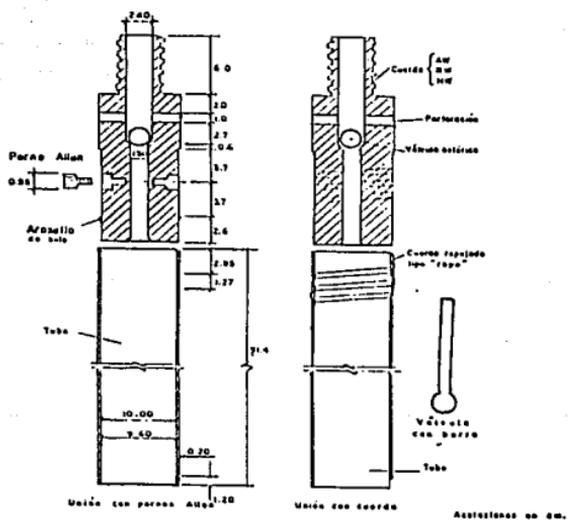


FIG.7

Comentarios:

El tubo Shelby se utiliza para el muestreo inalterado de suelos blandos a semiduros localizados arriba y abajo del nivel freático. Actualmente es preciso modificar al menos las técnicas de perforación de manera que la alteración al subsuelo sea la mínima posible y, provisionalmente seguir empleando el muestreo con tubo Shelby admitiendo que se extraen muestras ligeramente alteradas mientras se desarrolla una mejor técnica de muestreo.

- **Muestreo con tubo dentado.** Esta herramienta permite obtener muestras de arcillas duras y limos compactos o cementados con un mínimo de alteración. Lo constituye un tubo de acero unido en su extremo superior con la cabeza muestreadora que a su vez va montada al final de la columna de barras de perforación con las que se hince y se da rotación al muestreador desde la superficie. La parte inferior del tubo tiene ocho dientes de corte dispuestos simétricamente que miden de 0.8 a 1 cm de altura y 3 cm de base, la sierra se forma con alternaciones de un diente recto y otro doblado (0.2 cm hacia el exterior) con objeto de reducir la fricción entre el muestreador y el suelo. El

diámetro del tubo debe ser de 10 cm y su longitud de 100 cm (FIG. 8).

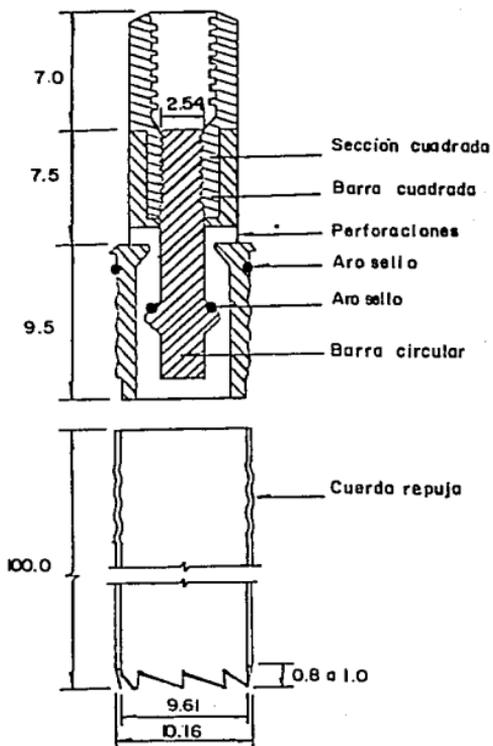


FIG.8

Este muestreador se hincan operándolo a rotación con velocidades menores de 100 rpm y presión vertical para que avance con velocidad constante de 1 cm/seg, hasta penetrar 75 cm, de esta manera queda sin muestra una longitud mínima de 25 cm, donde se alojan los azolves que pudieran haber quedado dentro del tubo. Después del hincado se deja el muestreador en reposo tres minutos a fin de que la muestra se expanda en su interior y aumente su adherencia contra las paredes del tubo, enseguida se corta la base del espécimen girando dos vueltas el muestreador y se procede a sacarlo al exterior donde se limpian sus extremos e identifica. Las muestras obtenidas con esta técnica presentan alteración en un anillo perimetral de 2 a 4 mm de espesor.

Comentarios:

Este tubo dentado frecuentemente recupera muestras de mejor calidad que el muestreador de barril Denison, sobretodo en suelos arcillosos duros y capas granuladas compactadas independientemente de su simplicidad de operación y bajo costo.

- **Muestreo con barril Denison.** Con el muestreador de barril Denison que opera a rotación y a presión, se obtienen especímenes de arcilla duras, limos compactos y limos cementados con pocas gravas localizados abajo del nivel freático, las muestras siempre presentan cierto grado de alteración. Cuando se muestrean estos suelos arriba del nivel freático las muestras se contaminan con el agua o lodo de perforación, por lo que su aplicación se condiciona al empleo de aire como fluido de perforación.

El muestreador tipo Denison consiste en dos tubos concéntricos; uno interior que penetra en el suelo a presión y rescata la muestra, mientras que el exterior con una broca en su extremo gira y corta el suelo circundante. Para operar este muestreador se requiere fluido de perforación (agua, lodo o aire) que se hace circular entre ambos tubos (FIG. 9).

Para muestreo de materiales granulares conviene adaptarle una trampa de canastilla formada de lengüetas de lámina de acero flexible.

En la operación del equipo antes de introducir el muestreador al sondeo se

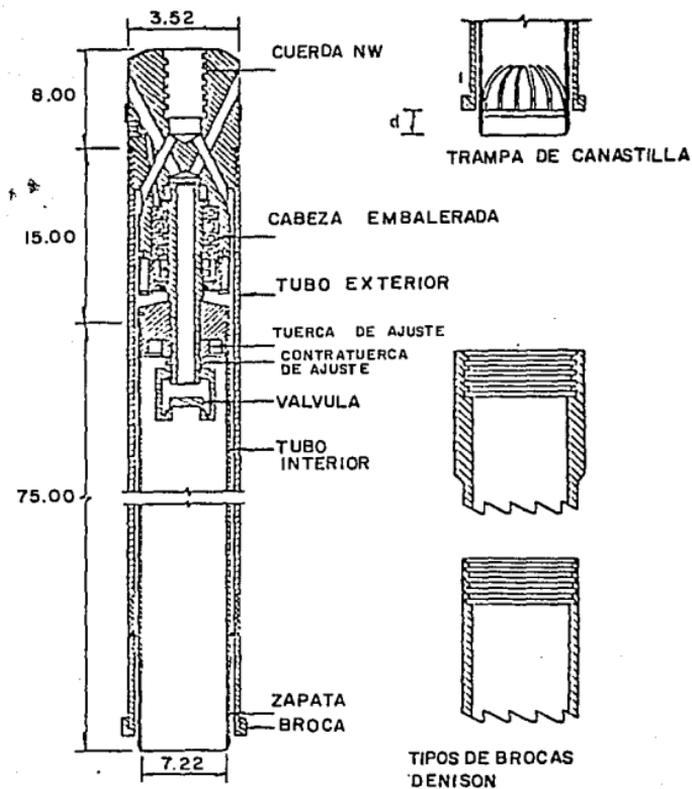


FIG.9

debe ajustar la distancia "d" entre el tubo interior y la broca de acuerdo con el material que se va a muestrear; también se necesita verificar que la cabeza esté limpia, engrasados los baleros y que la válvula opere correctamente. A continuación se baja el muestreador al fondo de la perforación y se hinca a la profundidad "d" para evitar que el tubo interior gire al iniciar la rotación del tubo exterior. Durante el muestreo la máquina perforadora transmite rotación y fuerza vertical a través de la columna de barras; la primera varía entre 50 rpm para materiales blandos y 200 rpm para los duros, en cuanto a la fuerza vertical puede ser hasta de una tonelada.

Una vez que se ha penetrado la longitud prevista o que el muestreador no pueda avanzar, se suspenderá la rotación y la fuerza axial dejándolo reposar tres minutos a fin de permitir que la muestra se expanda, después se gira para romper el espécimen por la base y posteriormente extraer el muestreador.

En muestreos arriba del nivel freático se deba utilizar aire, podría ser admisible utilizar lodo, condicionado a comprobar que la contaminación que induce a la muestra sea tolerable. En muestreos abajo del nivel freático es factible utilizar agua

o lodo. La presión de operación del fluido de perforación debe ser la mínima necesaria, para mantener limpia la perforación.

Comentarios:

El empleo de lodos de perforación en este método generalmente induce a la contaminación de la muestra por ello usualmente se obtienen mejores muestras con el tubo dentado de rotación. El barril Denison es el mejor muestreador para las tobas duras, cuidando de utilizar aire como fluido de perforación, cuando se muestrea arriba del nivel freático.

ENSAYES DE LABORATORIO

El programa de estudios de laboratorio se establece para cumplir con dos objetivos esenciales: clasificar cuidadosamente los suelos encontrados y obtener sus parámetros de resistencia y deformabilidad para el diseño de la cimentación. Para poder alcanzar estos propósitos se realizan las pruebas índice y mecánicas.

Debido a los antecedentes del predio, se estimó factible encontrar suelos de

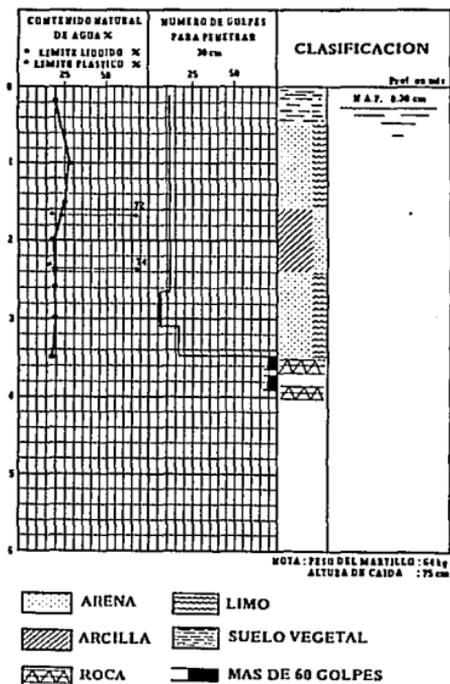
tipo friccionante (arenas); por lo que se propuso utilizar muestreos del tipo alterados mediante los procedimientos de pozo a cielo abierto y penetración estándar, esto para conocer propiedades índice, perfil stratigráfico, compacidad relativa y resistencia al corte. Describiremos el desarrollo y resultados de los estudios realizados.

"REPORTE DEL ESTUDIO QUE SE REALIZO EN EL PREDIO"

EXPLORACION DEL SUBSUELO

La exploración del predio se efectuó mediante dos sondeos a cielo abierto de un metro de profundidad, y cinco sondeos de penetración estándar denominados SP-1 a SP-5 que alcanzaron profundidades comprendidas entre 4.0 y 5.95 m.

Los sondeos a cielo abierto SCA-1 y SCA-2 se practicaron con una retroescavadora. En los sondeos profundos se empleó un penetrómetro estándar que permitió obtener muestras alteradas. Estos sondeos forman el siguiente perfil stratigráfico



ENSAYES DE LABORATORIO

A las muestras obtenidas de los sondeos de penetración estándar, se les practicó el análisis granulométrico que dió como resultado que el 57% de las 14 muestras analizadas tienen características de suelos licuables; es decir, que ante condiciones de sismo pierden su estructura interna por estar sueltas y saturadas.

Conclusiones

Debido a las características obtenidas como resultado de este estudio preliminar, se debe considerar que es un suelo que por sí solo no podría soportar la clase de esfuerzos que se presentarían si se le colocara una plataforma con cargas importantes, como lo serían las de un centro comercial, en donde existen anaqueles con productos que por su forma de almacenaje y empaquetado son bastante pesados. Es conveniente realizar un mejoramiento del suelo por alguno de los métodos que existen a fin de que sea capaz de funcionar óptimamente, además de controlar la susceptibilidad a licuación, por tratarse de un suelo arenoso con alto contenido de finos. Esto es un problema importante al cual se le debe buscar solución.

CAPITULO III MEJORAMIENTO DEL SUELO

ANTECEDENTES

Estos comentarios o criterios de mejoramiento se limitarán a la compactación en sitio de suelos granulares; las propiedades de estos suelos están en función de su densidad o índice de vacíos o densidad relativa. Las propiedades mejoran cuando la densidad aumenta, una excepción son las arenas con cementantes, ya que estas al tratar de ser compactadas pueden perder su cementación y por lo tanto las propiedades del suelo pueden empeorar, aunque la densidad aumente.

Las arenas limpias generalmente sueltas pueden ser compactadas en sitio de tal manera que su densidad aumente en un 30%, arenas más densas se compactan menos y arenas muy densas puede disminuir su densidad cuando se les somete a métodos de compactación como vibroflotación.

Algunos de los diferentes factores que influyen en las decisiones respecto al tratamiento masivo de suelos son: sismicidad, susceptibilidad a licuación, etcétera.

En el tema de tratamiento o mejoramiento masivo de suelos se exponen los procedimientos constructivos o tratamientos que se establecen para mejorar la estructura del suelo, como las propiedades mecánicas, que en los estudios geotécnicos se han clasificado como: blandos, sueltos o muy compresibles.

La clasificación del suelo con base en escalas que tienen como patrón de prueba la penetración estándar y cuya definición es básica para la planeación de un mejoramiento, nos puede indicar una condición del suelo "compacto" que muestra que los problemas de estabilidad y deformación en el proyecto serán mínimos; si la clasificación es de "suelto" tendremos la necesidad de un mejoramiento.

El problema en los suelos granulares "suelos" se orienta a determinar su potencialidad al colapso con las cargas del proyecto, principalmente cuando están sometidos a esfuerzos cíclicos como en los casos de los sismos.

METODOS DE MEJORAMIENTO DE SUELOS

El mejoramiento masivo de suelos puede lograrse con varios métodos. Dentro

de los más usuales tenemos: precarga, vibroflotación, uso de explosivos, etcétera.

PRECARGA

Se designa como precarga al sistema de aplicar carga a los suelos de cimentación, previas a las cargas normales de operación de las estructuras en proyecto, teniendo como objetivo incrementar la resistencia de los suelos sueltos y disminuir su compresibilidad cuando las estructuras definitivas se encuentren en operación.

Las precargas usuales en la práctica del mejoramiento de suelos son: con tierra a base de terraplenes o plataformas; utilizando la estructura y su carga de operación en aplicación controlada; la prueba hidrostática de recipientes y el abatimiento del nivel de aguas freáticas en el sitio del proyecto, para incrementar los esfuerzos efectivos al reducir la presión de poro. En la práctica europea y en Japón, se ha combinado el uso de precargas con el uso de drenes verticales a base de perforaciones rellenas con arena o con la colocación de cartón o plástico, teniendo esto como objetivo acelerar el flujo de agua en el proceso de

consolidación y reducir el tiempo de mejoramiento.

En México la experiencia más frecuente de precarga es la de tierra; ya que, por su facilidad de ejecución, las pocas consecuencias de asentamientos producidos, y el uso del material en las obras, es confiable. Las desventajas de este procedimiento son, requerir mayor área de trabajo y un mayor costo en casos donde no se utiliza el material con el que se forma el terraplén para la precarga.

PRECARGA DE TIERRA

Las precargas con tierra son un procedimiento constructivo desarrollado a base de terraplenes o plataformas en las áreas donde se pretende mejorar los suelos de cimentación. En la planeación de las mismas debe elegirse un banco de la región que cuantitativamente de el volumen requerido y sus materiales sean de la calidad establecida por las normas de terracerías. La geometría de la plataforma o terraplén queda en función de la proyección en planta de la estructura por cimentar; de la homogeneidad en cuanto a secuencia, espesor y propiedades mecánicas de los suelos y de las limitaciones de asentamientos

diferenciales de la estructura en proyecto. Su altura dependerá de los pesos específicos previstos para el material que constituya el terraplén o plataforma, de manera que proporcione una precarga como la establecida en las normas y las predicciones de estabilidad por cumplir.

En la mayoría de las experiencias de precargas en México, éstas se proyectan en dos etapas; la primera la constituye un terraplén denominado estructural, dado por las especificaciones propias para su fin, previendo que el mismo incremente el factor de seguridad o las falla general o locales de la estructura en proyecto; la siguiente etapa es propiamente la precarga que por facilidad y economía se forma con suelos colocados al volteo y bandeados hasta la elevación máxima prevista. Como recomendación es conveniente que los materiales con los que se formará el terraplén provengan de un banco de suelos granulares limpios.

La formación de los terraplenes de precarga se inicia con el saneamiento del área de desplante de los mismos hasta profundidades variables de 0.50 mts. a 3.00 mts., con objeto de eliminar los suelos superficiales contaminados de materia orgánica. Una vez definido el nivel de desplante se inicia el tendido del material

en capas para formar el terraplén estructural, compactándose en atención a las normas o especificaciones generadas hasta llegar a la elevación requerida considerando una sobre elevación que cubra los asentamientos esperados en la precarga, a partir de ésta se realiza propiamente la precarga con material colocado al volteo, bandeado con tractor(FIG. 10). También se ha intentado formar rellenos hidráulicos depositando directamente el producto de la excavación de la draga de succión; sin embargo, este procedimiento se ha eliminado por lo inapropiado que resulta entre otras cosas por su alto contenido de agua.



FIG.10

Este procedimiento no se utilizó por tener limitado el tiempo de ejecución de la obra, además de no ser una solución al problema de licuación.

ABATIMIENTO DEL NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS

El abatimiento del nivel de aguas freáticas constituye una experiencia repetida en la excavación y también un procedimiento de preconsolidación de los suelos, este mejoramiento de suelos de cimentación también se ha planeado combinado con varios tipos de precarga como son las de tierra, de agua o provocando totalmente los esfuerzos efectivos originando la preconsolidación.

Con respecto a estos métodos podemos agregar que el mejoramiento masivo de suelos con precarga se ha desarrollado para toda la gama de estructuras o equipos por cimentar, ya sea como un método correctivo o como solución final, aunque el diseño de mejoramiento se ha limitado a estructuras u obras donde la tolerancia de asentamientos es más liberal, como los proyectos de desplante de grandes tanques de almacenamiento de hidrocarburos o sus derivados; en donde los sistemas correctivos en operación pueden ser tolerables y en aquellos casos

en que la planeación y la construcción de obras permiten ampliar los programas de obra en el tiempo tal como se ha mencionado anteriormente.

Este método no se utilizó por el tipo de terreno que se tiene, ya que al abatir el nivel de agua freática se tendría que bombear el agua del terreno hacia un cárcamo para su distribución en la red de drenaje municipal, que esta localizado a unos 800 m de la obra. También se manejaría un volumen importante de agua, además de existir un flujo constante de agua en toda la zona por su cercanía al mar y estar localizado el terreno en una zona de marisma.

COMPACTACION POR VIBRADO

La densificación de depósitos sueltos de arena mediante el vibrado fue descrito por primera vez en 1936 en una revista rusa, poco después apareció en Alemania y en 1939 el método fue introducido en América.

La pieza central es una especie de vibrador similar a los que se usan en el concreto, tiene 40 cm de diámetro (16") y 183 cm de longitud (6'), su peso es de alrededor de 2 toneladas y, mediante una masa excéntrica interna, puede

desarrollar una fuerza horizontal de 10 toneladas a 1800 rpm, desplazándose lateralmente del orden de 2cm.

Para facilitar su operación de hincado y su funcionamiento en general, lleva unos chiflones de agua colocados tanto en la parte superior como en la parte inferior, con los cuales se ejerce una presión de agua que va de 4 a 6 kg/cm² y un gasto de 4 a 5 lt/seg.

El proceso para densificar empieza localizando los puntos por penetrar y marcándolos en un plano. Por lo general, antes de empezar se marca en una cuadrícula el plano del terreno, esto para tener un control. El vibrador cuelga libremente de un cable operado por una draga ligera, inmediatamente después se inicia el hincado del vibrador en el terreno arenoso, en este momento los chiflones de la parte inferior funcionan a toda su capacidad procurando que se introduzca un gasto mayor del que pueda drenarse libremente en el suelo, esto crea una condición momentánea de arena movediza, que provoca que el vibrador penetre por peso propio hasta la profundidad requerida. Al alcanzar la profundidad de proyecto, el chiflón interior se cierra y empiezan a operar los

chiflones superiores dirigiendo su flujo de agua de arriba para abajo, moderando el gasto para que la arena se deposite en el fondo. La densificación del suelo comienza cuando al vibrador se le hace funcionar su masa excéntrica e inicia el retorno a la superficie por intervalos de 30 a 40 cm, alcanzando en cada etapa la densidad especificada, simultáneamente se va agregando material granular por el borde del cono que se forma en la parte superior, esto para ocupar el volumen que se produce por la densificación del terreno y por el suelo barrido por los chiflones, de esta forma se compacta el suelo del lugar y el que se va agregando.

Como referencia del avance de la compactación del terreno podemos tomar el consumo de energía ya que tenemos que, cuando en arenas limpias gruesas el incremento de la densidad ocasiona un correspondiente aumento en el consumo de energía, esto nos sirve como norma para el control del proceso.

Este cambio en el consumo de corriente ocurre, ya que al iniciarse la vibración del terreno, este aún suelto ofrece poca resistencia a los desplazamientos del cabezal y la intensidad de corriente es baja, pero a medida que se compacta

ofrece mayor resistencia al desplazamiento y la intensidad de corriente aumenta.

Con este procedimiento se forma una columna de 2.4 a 3 mts de diámetro en cada penetración del vibrador, donde el grado de compactación es mayor en el centro de la columna y decrece radialmente. En arenas limpias el radio de influencia es aproximadamente de 1.80 mts, y alrededor de 0.6 a 0.9 mts en arenas con más de 20 % de finos.

La experiencia indica que este procedimiento de densificación es más eficiente en suelos arenosos limpios, de preferencia gruesos. Por consiguiente, si el suelo por densificar contiene gran porcentaje de finos disminuye la eficiencia del método.

Este procedimiento no se usó porque el suelo no cumplía con los requisitos para que el método fuera eficiente, ya que de haberse utilizado con el porcentaje de finos y contaminación existentes el mejoramiento hubiera sido mínimo.

COMPACTACION PROFUNDA CON MARTILLOS VIBRADORES

Con el desarrollo de los martillos vibrohincadores aplicados a pilotes, tablas-tacas, etc., existe un método alternativo para densificar suelos arenosos.

En este procedimiento se combina un martillo vibratorio con un elemento metálico, el cual se va introduciendo verticalmente en el sitio ya prefijado, dado que las vibraciones transmitidas al elemento columnar son básicamente verticales, el hincado se realiza normalmente sin ayuda de chifones de agua. Los suelos donde el método resulta aplicable deben ser granulares y saturados con rangos de tamaños de 3' y la malla 400, cumpliéndose que menos del 25% pase la malla 200.

La compactación del terreno sucede cuando las vibraciones del martillo son transmitidas al suelo y comienza el acomodo de las partículas, y al terminar de densificar el terreno una zona de la superficie desciende; para restituir el nivel debe agregarse nuevo material o, en su caso, puede colocarse antes de efectuar el tratamiento del terreno.

Podemos agregar que el uso de equipos vibratorios para compactar el terreno ha probado ser muy eficaz en varias partes del mundo. Para la utilización de estos métodos y para lograr la compactación es importante agregar agua en abundancia al terreno, además de ir llenando con nuevo material el espacio que se va ganando con la aplicación del método. Este es aplicable a suelos granulares de preferencia gruesos. Las profundidades de tratamiento han sido del orden de 6 mts. pero pueden llegar hasta 18 mts. en algunos casos en que la densidad relativa alcanzada sobrepasa el 70%. En suelos interestratificados con estratos arenosos compactos o arcillosos resistentes, el método puede resultar contraindicado. También es conveniente agregar que en los sistemas donde se usan vibroincadores adosados a elementos columnares no se usa agua durante el proceso de hincado, aunque se recomienda saturar el suelo antes de iniciar el tratamiento, además que la distancia recomendable de espaciamiento entre puntos es del orden de 1.5 a 2 mts, la densidad relativa alcanzada sobrepasa el 70%. En este suelo la arena está muy contaminada con un alto porcentaje de finos por lo que el método no es recomendable para mejoramiento y control de la licuación de arenas.

VIBROCOMPACTACION

La vibrocompactación se aplica principalmente a suelos granulares, sueltos y con altos contenidos de agua, de preferencia que sean suelos saturados. En la mayoría de los casos el suelo está formado predominantemente por arenas, pero no todas las arenas son adecuadas para este procedimiento; por ejemplo, las arenas con un alto contenido de finos, aún saturados, no se prestan para este procedimiento.

El procedimiento es simple y se describe a continuación; Un vibrador es usado para hincar y extraer a intervalos regulares un elemento metálico el cual puede ser un ademe, un par de tablaestacas soldadas espalda con espalda un perfil de viga. Para cada forma de elemento se recomienda soldar en el exterior bandas o varillas de refuerzo para mejorar la transmisión del vibrado al suelo.

El método se ha aplicado con éxito hasta profundidades de 10 a 15 mts, pero no hay razón para que no pudiera ser usado, con un vibrador más poderoso hasta 20 mts.

Es importante añadir ciertas características del método como son; los primeros 1 a 2 mts no se densifican generalmente y deben ser compactados con equipo superficial posteriormente. Si en el suelo existen capas de arcillas o limos, es decir capas de suelos cohesivos, estas capas no sufren ninguna compactación. En los demás niveles la resistencia de punta se incrementa entre un 50% y 100%, la compactación relativa se alcanza y el suelo se asienta de un 7% a 10%.

Debido al alto contenido de finos en el suelo por mejorar, la vibrocompactación como alternativa de mejoramiento del suelo fue desechada.

DENSIFICACION DE SUELOS POR MEDIO DE EXPLOSIVOS

El mejoramiento de las propiedades de un suelo, y especialmente la eliminación de deformaciones bruscas bajo cargas accidentales, es la razón del uso de los explosivos. El principio básico consiste en generar cargas accidentales que ocurrieran durante la vida útil de la estructura, para propiciar su acomodo antes de la construcción.

El fenómeno consiste en excitar la estructura del suelo mediante un incremento

relativamente uniforme y repentino de presión de aire, el cual es producido por una explosión. Esta excitación debe estar comprendida entre dos fronteras: debe superar la energía mínima que se requiere para romper el equilibrio de la estructura del suelo, sin "volar el suelo". Se entiende por volar el suelo destruir totalmente la estructura del suelo, formando cráteres alrededor de las cargas. Por lo tanto concluimos que debe existir una energía óptima que cumpla con las condiciones de solución al problema (FIG. 11).

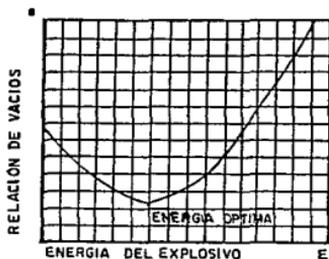


FIG.11

En la estructura del suelo en la fase sólida, se provocará inestabilidad para alcanzar estados más compactos, y en la fase fluida se generarán presiones de poro que se deberán disipar por fronteras de permeabilidad mayores que las del

suelo afectado, esto debe cumplirse para que el método sea eficiente.

Existen tres aspectos que se deben tomar en cuenta para que el uso de esta técnica sea adecuado:

- El explosivo.
- El suelo o estrato del suelo por densificar.
- La estratigrafía del sitio.

Además de estos tres aspectos, se debe pensar en un sistema de instrumentación que permita conocer las condiciones del ensaye y obtener las condiciones óptimas para el desarrollo de esta técnica.

Explosivos

Los explosivos se dividen en dos grupos: dinamitas y agentes explosivos. Las dinamitas son mezclas de una sustancia llamada sensibilizador y de un medio que desarrolla energía. El sensibilizador es un compuesto que, al verse activado por

una cápsula, excita el medio que desarrolla la energía y se produce la explosión. El sensibilizador puede ser nitroglicerina. Existen también otros tipos de dinamitas libres de nitroglicerina, a base de nitrato de amonio, que no contienen agentes explosivos. El agente explosivo es un compuesto químico que no es sensible al fulminante, pero puede liberar una gran cantidad de energía cuando la sustancia explosiva se enciende.

Un grupo de cargas puede activarse con diferencias de milisegundos, lo cual puede hacer variar los efectos y la magnitud de la explosión.

Los componentes mencionados anteriormente pueden combinarse en una multitud de proporciones, además se les adicionan diversas sustancias que eliminan en algunos casos los vapores tóxicos; o bien, que los hacen resistentes a la acción del agua.

Por lo anterior, es muy importante que un experto en explosivos participe en el desarrollo del problema, basándose en las siguientes consideraciones. El suelo es una estructura de partículas sólidas, cuya cohesión es muy pequeña y que

puede perder el equilibrio en que se encuentra para alcanzar estados más densos. La excitación que produzca el explosivo debe estar comprendida entre valores límites descritos anteriormente, debe poseer la energía óptima sin llegar a "volar" el suelo. Para cada aplicación se deberá seleccionar el tipo de explosivos más adecuado, así como su distribución y colocación en la masa del suelo, y sus condiciones de saturación, ventilación del lugar de explosión, características de dureza y densidad del suelo.

CARACTERISTICAS DEL SUELO POR DENSIFICAR

El estrato que requiere el uso de explosivos está compuesto por un suelo granular en estado suelto que la mayoría de las veces se encuentra saturado. Los suelos en los que el procedimiento de densificación es más efectivo son aquellos donde el porcentaje de limo es menor del 20% o el porcentaje de arcilla es menor del 5%. El tamaño de las partículas puede variar desde gravas hasta arenas finas. A medida que disminuye la permeabilidad; es decir, que la arena se contamina con finos, el método pierde eficiencia.

Para poder realizar la evaluación de la factibilidad de utilización del método en el suelo que se pretende mejorar, es indispensable obtener la información sobre sus propiedades índice, tales como granulometría y plasticidad. Asimismo es de vital importancia conocer la posición del nivel freático.

GRANULOMETRIA Y PLASTICIDAD

Los suelos de tamaño uniforme son los que pueden tener asentamientos más bruscos y por lo tanto mayor sensibilidad al proceso de vibración. Además deben tener un bajo porcentaje de finos, menos del 20% de finos limosos o menos del 5% de finos arcillosos.

SATURACION

Para que la estimulación de la masa del suelo sea homogénea es conveniente que el suelo este 100% saturado o casi seco, ya que en el caso de que esté parcialmente saturado, las bolsas de gases amortiguarán el efecto de la explosión y los meniscos que se desarrollan por efecto de la tensión superficial también disminuirán la acción del explosivo. Estos efectos negativos pueden eliminarse si

se inunda la zona de prueba hasta lograr la saturación.

ESTATRIGRAFIA GENERAL Y GEOMETRIA DEL DEPOSITO

Entre los factores más importantes en la densificación de un suelo por medio de explosivos están: las condiciones de frontera del depósito. Es indispensable que los suelos por densificar tengan fronteras de mayor permeabilidad, sobre todo en la parte superior del depósito, ya que las presiones de poro que se generen tenderán a drenar hacia arriba. El efecto del explosivo es nulificado o sensiblemente disminuido cuando las fronteras son de menor permeabilidad. En este caso los excesos de presión de poro no se disipan adecuadamente y por lo tanto la zona de mayor oquedad o la zona suelta sólo se transfiere de una parte del depósito a otra.

El método deja de ser aplicable cuando la heterogeneidad del depósito incluye lentes arcillosos que envuelven a las zonas sueltas.

Para eliminar la frontera superior impermeable (como una capa de arcilla, etc.) en el caso de que esta se presente, se puede retirar el material (si el espesor

de la capa es pequeño) o bien agrietarse previamente para que el drenaje ocurra.

Es importante tener un control instrumental del método, ya que así podremos conocer su efectividad y evaluarla para una posible aplicación más adelante.

Cuando se tiene un porcentaje de finos tan alto como el que tenemos de 57%, el uso de explosivos se descarta, ya que con tan alto contenido de finos el método tendría muy baja eficiencia.

CONSOLIDACION DINAMICA

En 1970 nació una técnica denominada "Compactación Intensiva", su campo de acción inicialmente se limitó a terraplenes y terrenos de arenas y gravas, más adelante la técnica se denominó "Consolidación Dinámica".

El propósito de la consolidación dinámica es mejorar hasta una profundidad considerable (10 a 30 mts) la capacidad de carga de un terreno altamente compresible mediante la aplicación en la superficie de esfuerzos dinámicos

intensos, según un esquema adecuado en el tiempo y en el espacio. Estos esfuerzos se obtienen por la caída repetida desde una gran altura (15 a 40 mts) de una masa con un peso de varias decenas de toneladas (10 a 200 toneladas).

APISONADO INTENSO

El apisonado se efectúa por medio de un pisón de acero de varias toneladas, levantadas con gruas de gran capacidad o construidas especialmente para ésta técnica. La elección del peso del pisón "M" y la altura de caída "h", depende en primer lugar del espesor "H" de la capa de suelo por compactar.

La energía por golpe se calcula como $M \times h$ este es un parámetro esencial de la técnica. Esta relación queda resumida en la siguiente ecuación:

$$h \times M \times H^2$$

En donde "h" y "H" están medidos en metros y "M" en toneladas.

Por diferentes razones de orden práctico, económico y técnico la tendencia actual es acrecentar las alturas de caída, además se observa una importante

mejora del rendimiento cuando la velocidad de choque sobrepasa la velocidad de transmisión de onda del terreno.

El terreno por consolidar debe ser acondicionado previamente, aún cuando no sea más que para obtener la resistencia mínima necesaria para soportar el peso de la máquina del apisonado; también, a fin de favorecer la evacuación de las aguas que suban a la superficie durante el proceso de consolidación, es preciso hacer zanjas periféricas de drenaje o cualquier otro método de evacuación de aguas.

Este método no resuelve el problema de licuación de arenas en nuestro terreno por lo que se descartó.

COMPACTACION DINAMICA "MENARD"

La compactación dinámica es un método para mejorar las propiedades ingenieriles del subsuelo, tanto por arriba como debajo del nivel freático, trabajando desde tierra como desde el mar. Básicamente el método consiste en aplicar grandes impactos de energía en la superficie del suelo, dejando caer masas de

acero de 20 a 50 toneladas de peso de una altura que varía de los 21 a los 36 m. con el objeto de lograr los resultados deseados se requiere una supervisión y observación constante del comportamiento en el campo para poder adaptar el sistema de tratamiento, tanto en la energía aplicada como en la secuencia de los golpes y los intervalos de los mismos .

Los resultados obtenidos con el tratamiento de compactación dinámica son inmediatos. El asentamiento superficial normalmente de 2 a 5% o más del espesor del suelo tratado en cada fase. La presión de poro sube instantáneamente. La resistencia en términos de capacidad portante es normalmente mejorada por un factor de 2 a 4. La compresibilidad en términos de asentamiento total o diferencial puede ser reducida por un factor de 3 a 10.

Cuando se requiere tratar una amplia superficie, la compactación dinámica puede resultar muy económica comparada con los tratamientos de cimentaciones combinadas, tales como cimentaciones profundas.

El proceso que se genera con este método parece implicar la fase gaseosa

de los llamados suelos saturados. Esto explica el asentamiento inmediato que ocurre al momento del impacto. El gas bajo forma de microburbujas es primeramente comprimido para luego actuar como un gato de presión y expulsar el agua fuera del suelo. Las observaciones hechas demuestran que la sobrepresión de poro se disipa en mucho menos tiempo que cuando se somete el suelo a una carga estática.

Al principio de la técnica se descubrió que la profundidad del mejoramiento máximo es aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada de la energía desarrollada por cada golpe (peso de la masa multiplicada por la altura de la caída libre), independiente que haya que tomar en consideración las condiciones del suelo y el nivel freático.

También es conveniente comentar que cuando se termina de aplicar el tratamiento, se logra una reducción del amortiguamiento del suelo. Tomando en cuenta que mientras mayor sea el amortiguamiento del suelo mejor se comportará una estructura cimentada sobre él, resulta que si uno reduce el amortiguamiento del sitio, suponiéndolo en zona sísmica, aumenta la respuesta de la estructura en

condiciones dinámicas.

Aunque este método reduce los asentamientos que se pudieran presentar en el terreno de manera eficiente, no resuelve nuestro problema de licuación.

PILOTES

Es poco común el uso de pilotes para realizar el mejoramiento masivo de suelos. Su objetivo principal es sustituir la capacidad de carga del suelo absorbiendo las cargas que este no pueda resistir y transmitir las a estratos resistentes o por fricción al suelo que los rodea, además de confinar el suelo entre los pilotes y producir una compactación del mismo. Esto con la finalidad de que el suelo y los pilotes trabajen conjuntamente y no de manera independiente, para evitar concentraciones de esfuerzos locales que no sea capaz de soportar.

Primeramente se coloca una plataforma constituida por material de banco que cuente con características propias de un relleno, para mejorar el área de trabajo, facilitando el movimiento de la maquinaria. El espesor está en función de los niveles definidos por el proyecto, dependiendo de las características del suelo

puede esperarse un asentamiento provocado por el peso del relleno y la maquinaria, de esto se deduce que se ha producido una ligera compactación.

Al iniciar el hincado de los pilotes sucede un acomodo de las partículas del suelo desde que el martillo hincador empieza a golpear el pilote, durante su penetración, en el caso de pilotes de fricción, y hasta que se produce el rechazo en los pilotes de punta. Esto ocasiona un confinamiento y compactación del terreno entre los pilotes, por lo que ocurre un mejoramiento en las características del suelo. Además, el terreno sufre un asentamiento debido al peso del relleno y la maquinaria piloteadora, por lo que se deduce que el suelo a tenido una consolidación y un aumento de sus propiedades.

La resistencia del suelo más la de los pilotes soportarán los esfuerzos producidos por el peso del relleno y las cargas de servicio a las que estará sometido (FIG. 12).

La longitud de los pilotes dependerá del espesor del suelo por mejorar o de la profundidad donde se encuentre el estrato resistente en donde se apoyarán los pilotes, en el caso de los pilotes de punta; para los pilotes de fricción, su longitud

dependerá de la fricción que se genere en sus caras.

Este procedimiento pudiera resultar de un costo elevado en comparación con otros; pero, por su facilidad de aplicación y menor tiempo, puede ser de gran ayuda en proyectos donde el tiempo de ejecución es un factor importante y, por lo tanto, no se puede utilizar algún otro método de mejoramiento masivo de suelos, ya que muchos de estos métodos son a largo plazo. Además de esto, el problema de licuación de arenas puede ser controlado. En el caso de que se presente, los pilotes tendrán la capacidad de soportar todos los esfuerzos que se provoquen.

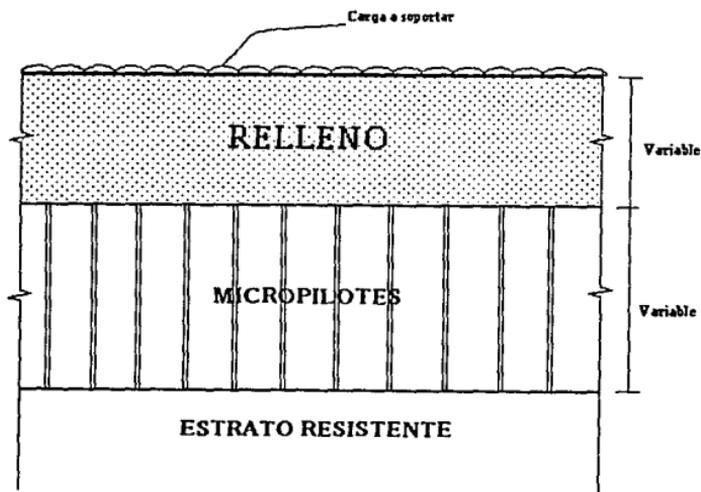


FIG.12

CAPITULO IV DISEÑO DE MICROPILOTES

Debido a que el suelo del predio no cumple de manera eficiente con los requisitos para el uso de los métodos de mejoramiento masivo de suelos antes vistos; se ha propuesto, con las ventajas que esto tiene, el uso de pilotes pero con una característica particular; estos serán de un tamaño relativamente menor si los comparamos con los usados normalmente, que tendrán como objetivo el de mejorar las propiedades del suelo en lo que a capacidad de carga se refiere y producir una compactación del terreno. Estos pequeños pilotes los denominaremos "micropilotes". El funcionamiento de los micropilotes es igual al de los pilotes convencionales, siendo las hipótesis y metodologías utilizadas las mismas, describiremos sus características.

Clasificación de pilotes

Los pilotes se clasifican de diferentes maneras según la forma en que transmiten las cargas al subsuelo, el material del que están formados y su procedimiento constructivo.

Según la forma como transmiten las cargas al subsuelo

-Pilotes de punta. Cuando el o los estratos son de espesor considerable, compresibles, de muy baja resistencia al esfuerzo cortante, se utilizan los pilotes de punta, ya que transmiten prácticamente todo el peso y las cargas de la superestructura a un estrato profundo del suelo, más resistente. Para incrementar la capacidad de carga de los pilotes, se pueden empotrar a una cierta profundidad en el estrato resistente. Se recomienda hacerlo a una profundidad de 4 a 10 veces su dimensión horizontal, dependiendo de la compacidad relativa del material de empotramiento y de la capacidad del equipo disponible (FIG. 13).

-Pilotes de fricción. Son los que transmiten la carga al suelo que los rodea; la magnitud de la fuerza lateral es función del área perimetral del pilote. Esta solución se aplica cuando no se encuentra ningún estrato resistente en el que se podrían apoyar los pilotes de punta o, cuando en el sitio donde se instalarán, se localiza en una zona que sufre asentamientos significativos de consolidación a nivel regional (FIG. 14).

Según el material del que están hechos

-Pilotes prefabricados de concreto. Se fabrican con concreto simple, concreto reforzado, presforzado o postensado, empleando cemento Portland normal o resistente a sales o silicatos del medio donde se hincarán. Se pueden fabricar de una sola pieza o de varios segmentos que se pueden unir con juntas, como placas soldadas de acero que se dejan en los extremos de cada tramo precolado. Estos pilotes son de uso frecuente por su durabilidad y facilidad con que se ligan a la superestructura, sus limitaciones se relacionan con las dificultades de fabricación, manejo e hincado .

-Pilotes de concreto colado en el lugar. Generalmente se fabrican de concreto armado, el colado se debe hacer con trompa de elefante o cualquier otro método que evite la segregación y contaminación del concreto. Este tipo de pilote colado en sitio no es muy empleado.

-Pilotes de acero. Estos pilotes varían sus secciones estructurales de ligeras a pesadas dependiendo del tipo de cargas que transmitirán, se pueden utilizar tubos

de acero que pueden quedar huecos o rellenarse de concreto, así como perfiles estructurales tipo "H", también se fabrican tubos de acero con una helice soldada lateralmente. Estos pilotes se introducen a rotación. Entre las ventajas principales que tienen están; facilidad y precisión con que se pueden alargar o recortar, además de poder atravesar estratos duros y de manejo más simple que los de concreto. Sus desventajas, son susceptibles a la corrosión, fenómeno que debe tomarse en cuenta para desarrollar las medidas de protección necesarias).

-Pilotes mixtos de acero y concreto. Estos son por lo general pilotes de concreto con una punta de acero como protección durante el hincado. En algunos suelos con características estratigráficas peculiares se han utilizado pilotes que su parte inferior es de acero y el resto es de concreto. Por lo general este tipo de pilotes mixtos tiene poco uso.

-Pilotes de madera. Los pilotes de madera han caído en desuso con la proliferación de los pilotes de concreto; su uso se limita a la cimentación de estructuras provisionales y de embarcaderos pequeños, en donde se aprovecha la resistencia de la madera para soportar las fuerzas de impacto. La principal

limitante de estos pilotes es su corta duración, ya que fácilmente se daña el tramo que queda sujeto a variaciones del nivel de agua.

Según su procedimiento constructivo

Pilotes de desplazamiento.

-Pilotes hincados a percusión. Este procedimiento es el más difundido y consiste en hincar a percusión los pilotes con ayuda de un martillo de impacto. Usualmente el pilote se sostiene verticalmente o con la inclinación necesaria para penetrar el suelo, con una estructura guía en donde el martillo se desliza durante la maniobra. Cuando, debido a su longitud, el pilote no puede manejarse en un solo tramo, se realiza en varios segmentos que se pueden unir con placas prefijadas en los extremos, las cuales se soldan durante el hincado. Cuando no es posible una estructura guía para el hincado por restricciones de espacio disponible o por estar en obras fuera de la construcción, se puede usar una "guía colgante" sostenida por la pluma de una grúa y unos cables.

-Pilotes hincados a presión. Estos pilotes se fabrican de concreto en tramos

de sección cilíndrica de 1.50 m de largo; la punta es cónica y tiene ahogado un cable de acero de refuerzo que se aloja en un hueco que se encuentra al centro del pilote. El hincado se logra a presión con un sistema hidráulico en cuyo marco de carga se van colocando los tramos de pilote. Cuando se termina de hincar el pilote, se tensa el cable de refuerzo y se rellena el hueco de concreto. Este procedimiento se ha empleado con frecuencia en recimentaciones.

-Pilotes hincados con vibración. Esta técnica se emplea en suelos granulares y consiste en excitar al pilote con un vibrador pesado de frecuencia controlada, formado por una carga estática y un par de contrapesos rotatorios excéntricos en fase. El pilote penetra en el suelo por influencia de las vibraciones y del peso del conjunto pilote-vibrador-lastre. Generalmente son pilotes metálicos o tablaes-tacas.

Cuando se proyecta aplicar este método, se deben estudiar los fenómenos que las vibraciones pueden ocasionar cuando su frecuencia se acerca a la natural de las estructuras e instalaciones vecinas, especialmente si están cimentadas sobre materiales poco densos, porque en esta condición se pueden

provocar daños estructurales y hundimientos.

Pilotes con poco desplazamiento

-Pilotes hincados con perforación previa. Todos los pilotes descritos anteriormente, se transforman en pilotes de poco desplazamiento cuando antes de hincarlos se realiza una perforación previa. Esta técnica se utiliza cuando:

- El hincado de los pilotes sin perforación previa induce deformaciones que reducen la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

- El pilote debe atravesar estratos duros que dificulten su hincado y, por ello, puedan llegar a dañarse estructuralmente.

- El número de pilotes por hincar es alto y la suma de sus desplazamientos pueda provocar el levantamiento del terreno con el consiguiente arrastre de los pilotes previamente hincados.

-Pilotes hincados con chillón. Este procedimiento se utiliza para disminuir el

volumen de suelo desplazado durante el hincado de pilotes en arenas, y consiste en aplicar dos efectos simultáneos: el de un chiflón de agua a presión que descarga en la punta del pilote, el cual erosiona y transporta a la superficie parte de la arena, combinado con los impactos de un martillo, o la excitación de un vibrador para movilizar el pilote.

Pilotes sin desplazamiento

-Pilotes colados en el lugar. Los pilotes de concreto colados en el lugar se clasifican como elementos de cimentación sin desplazamiento porque para su fabricación se extrae un cierto volumen de suelo que después es ocupado por el concreto.

Existen ciertas normas a seguir respecto a los materiales para la construcción de pilotes establecidas en las normas NOM y ASTM.

En la construcción y diseño de los micropilotes se utilizará el acero por las ventajas que tiene sobre los otros materiales de construcción de pilotes, como son concreto o madera. Por lo que describiremos sus características.

Pilotes de acero

Estos pueden ser de perfil estructural H o bien tubulares de extremo inferior generalmente abierto. Para el hincado de perfiles estructurales o tubulares, no se necesitan grandes preparativos como en el caso de los pilotes de concreto. Este tipo de pilotes no requiere de perforación previa.

Pilotes de sección H

Se recomienda que el perfil estructural de los pilotes de acero sección H deba cumplir con los siguientes requisitos dimensionales.

- La proyección del patín no debe exceder 14 veces el espesor mínimo, ya sea el del patín o el del alma, y el ancho del patín no debe ser menor que el 80% del peralte del perfil.

- El peralte nominal del perfil no debe ser menor de 20 cm.

- El espesor nominal de los patines y el alma no debe ser menor de 1 cm.

Entre las ventajas de los perfiles H están:

- Son adecuados para usarse como pilotes de fricción, pilotes de punta y combinaciones por fricción y punta. Se pueden hincar fácilmente a través de depósitos granulares densos y de arcillas muy duras. Los problemas asociados con bufamiento, se reducen con el uso de pilotes H. Se emplean a cualquier profundidad, ya que se empalman con facilidad. Tienen una alta capacidad de carga tanto axialmente como por flexión. Pueden soportar manejo brusco; aunque hay que protegerlos contra deflexiones excesivas durante su almacenaje.

Como desventaja se tiene:

- La vulnerabilidad a la corrosión, aunque éste no es un problema frecuente en pilotes de acero hincados en suelos naturales, debido probablemente a la falta de oxígeno en el terreno; sin embargo, en rellenos artificiales y/o arriba del nivel freático puede llegarse a presentar una corrosión moderada. Cuando éstas condiciones se presenten, se deberán proteger los pilotes con algún método antes de hincarlos.

Para el diseño estructural de los pilotes se deberán utilizar las fórmulas para columnas de perfiles de acero

Pilotes de tubo de acero

Los pilotes de tubo de acero se pueden hincar con punta abierta o cerrada, dejar huecos o llenarlos de concreto, usarse de fricción, de punta o empotrados en roca.

Los pilotes a base de punta cerrada se emplean cuando se pueden apoyar en roca o en un estrato resistente que soporte grandes cargas concentradas. Son adecuados en algunos trabajos de recimentación donde el espacio es limitado, ya que se pueden ir formando a base de tramos cortos. El tubo se llena generalmente de concreto después del hincado.

Los pilotes de punta abierta se usan igual que los de punta cerrada, salvo que pueden alcanzar profundidades más grandes. Debido a su área relativamente pequeña se pueden hincar más fácilmente. Dentro de sus ventajas se tienen: a) longitudes variables hasta de 55 m, ya que los empalmes se hacen fácilmente, b)

los diámetros pueden alcanzar hasta 120 centímetros.

Para el diseño estructural de pilotes de tubo de acero, se deben seguir las normas de este tipo de material. Cuando se rellenan con concreto, éste debe tener un revenimiento mínimo de 13 y se debe colocar a través de un embudo corto para que el concreto caiga en el centro del pilote, permitiendo así la expulsión de aire y eliminando la posibilidad de que se formen vacíos. Los pilotes de tubo de acero pueden alcanzar capacidades de carga hasta de 200 toneladas. También, debido a la posibilidad de corrosión, se pueden proteger con algún recubrimiento antes de su colocación o especificando una cierta cantidad de cobre en la fabricación del acero.

DISEÑO

El diseño se realizará considerando que actúan sólo cargas verticales, ya que por definición ésta es la mejor manera como funcionan los pilotes, además se tomará la consideración de que trabajan como columnas cortas debido a que estarán confinados por el terreno.

Se diseñará basándose en las especificaciones de AISC y del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero.

Los datos para el diseño de los micropilotes son: espesor del suelo por mejorar, profundidad donde se localiza el estrato resistente, peso volumétrico del relleno, cargas vivas y muertas a las que se someterán los micropilotes. Del estudio de mecánica de suelos se obtuvo que el espesor del suelo es en promedio de 3.95 m, y que después se localiza un estrato de características capaces de soportar las cargas que le pudieran transmitir los micropilotes; por lo tanto, la longitud de los micropilotes será por lo menos de 4.00 m para poder asegurar que parte del pilote se encuentre en contacto con el relleno. El peso volumétrico del relleno es de 1.5 t/m³. Las cargas de servicio a las que se someterán los pilotes las analizaremos a continuación.

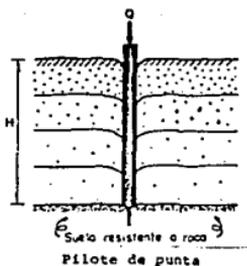


FIG.13

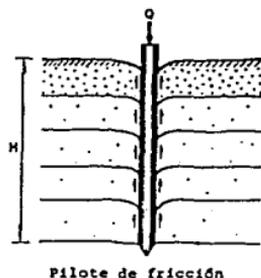


FIG.14

Análisis de Cargas

	Peso Volumétrico
Relleno	1.5 T/m ³)
Firme de concreto	2.4 T/m ³)
Relleno de 2.00 mts.	3.000 kg/m ²
Firme de concreto 15 cms	360 kg/m ²
Carga adicional	40 kg/m ²
Carga muerta	3,400 kg/m ²
Carga viva	700 kg/m ²
TOTAL	4,100 kg/m ²

Aplicando el factor de carga de 1.4 en la suma:

$$P = 1.4 * 4,100 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 5,740 \text{ kg/m}^2$$

Valor de K (K: Factor de longitud efectiva)

K = 1.2 (Se tomó este valor por las condiciones de apoyo que se presentan en los micropilotes)

Utilizando tubo de acero de 4.5 " de diámetro cedula 40

$$\text{Espesor (t)} = 0.237 \text{ in } 0.60 \text{ cm}$$

$$\text{Diámetro (D)} = 4.5 \text{ in } 11.43 \text{ cm}$$

$$\text{Radio de giro} = 3.83 \text{ cm}$$

$$\text{Area (As)} = 20.48 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Módulo de elasticidad} = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$$

Para que la sección sea totalmente efectiva debe cumplir con:

$$D / t < 232,000 / f_y$$

Sustituyendo:

$$11.43 \text{ cm} / 0.60 \text{ cm} < 232,000 / 2530$$

donde:

$$11.43 \text{ cm} / 0.60 \text{ cm} = 18.99 \text{ y } 232,000 / 2530 = 91.70$$

quedando que:

$$18.99 < 91.70$$

por lo tanto la sección es totalmente efectiva

Para el requisito de relación de esbeltez debe cumplir con:

$$kl/r < 200$$

sustituyendo:

$$1.2 * 400 / 3.83 < 200$$

donde:

$$125 < 200$$

por lo que cumple con el requisito

Obtenemos el C_c que es igual a

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E} / f_y$$

Sustituyendo:

$$C_c = \sqrt{(2 * \pi^2 * 2,100,000)} / 2530$$

$$C_c = 126$$

como KL/r Cc utilizaremos la fórmula siguiente:

$$F_a = 12 \pi^2 E / 23 (KL/r)$$

Sustituyendo:

$$F_a = 12 \cdot \pi^2 \cdot 2,100,000 / 23 \cdot 125$$

$$F_a = 688 \text{ kg/cm}^2$$

Para obtener la carga que puede soportar el micropilote se utiliza la fórmula siguiente

$$P = F_a \cdot A_s$$

La resistencia del pilote es:

$$P = 688 \text{ kg/cm}^2 \cdot 20.48 \text{ cm}^2$$

$$P = 14,099 \text{ kg}$$

Revisando por pandeo:

- Pandeo local

La sección debe cumplir que

$$D / t < 235,000 / f_y$$

Sustituyendo

$$11.43 \text{ cm} / 0.60 \text{ cm} < 235,000 / 2530$$

quedando

$$18.99 < 92.89$$

por lo que no se pandea localmente

- Pandeo general

Obteniendo la carga crítica de la fórmula de Euler

$$P_{cr} = \pi^2 EI / L_e^2$$

donde

$$L_e = 1.2 L$$

sustituyendo

$$P_{cr} = \pi^2 \cdot 2,100,000 \cdot 301.05 / (1.2 \cdot 400)^2$$

$$P_{cr} = 27,082 \text{ kg}$$

donde

$$27,082 > 14,099$$

Por lo que no llega a su carga de pandeo y la sección es aceptada.

A continuación se presenta una tabla donde análogamente se revisaron otros perfiles circulares propuestos para su utilización en la construcción de los micropilotes.

Diámetro (pulgadas)	Cedula	Resistencia (kg)
2.875	40	2,999
3.5	40	5,917
3.5	80	7,628
4.0	40	12,333
4.0	80	14,077
4.5	80	18,771
5.56	40	25,504
5.56	80	35,537

El perfil que se utilizará en la construcción de los micropilotes es:

Tubo circular (OC) de 4" cedula 40, de la tabla de perfiles obtenemos su carga permisible que es:

$$P_{per} = 12,333 \text{ kg}$$

y la carga por soportar es de:

$$F_a = 5,740 \text{ kg/m}^2$$

de donde el área de influencia por pilote para soportar un esfuerzo de 5,740 kg/m es de:

$$\text{Area de influencia} = 12,333 \text{ kg} / 5,740 \text{ kg/m}^2$$

$$A_i = 2.15 \text{ m}^2$$

por lo que podemos obtener la separación entre pilotes que es de:

$$\text{Separación de pilotes} = \sqrt{2.15} \text{ m}^2$$

$$S_p = 1.47 \text{ cm}$$

Por facilidad durante el proceso de hincado de los pilotes, considerando los factores de seguridad en el cálculo, se colocarán con 1.50 m de separación

formando una cuadrícula en el terreno.

Es importante que antes de su colocación, los pilotes reciban un tratamiento para poder controlar la corrosión; porque, como se mencionó en el capítulo 2 por la localización del nivel de aguas freáticas podrían presentarse este tipo de problemas.

El programa de ejecución del mejoramiento del suelo consistirá en lo siguiente: primeramente se realizará un despalme para quitar toda la maleza, plantas, rellenos y escombros que pudieran encontrarse en el terreno; después se colocará un relleno para obtener los niveles que se marcan en el proyecto arquitectónico. El espesor del relleno debido al desnivel que existe entre el terreno natural y el de nivel de proyecto será de 2.00 metros de espesor. Se colocará un relleno de tipo controlado, sobre la plataforma formada por el relleno se realizarán las maniobras de hincado de los micropilotes, estos movimientos de maquinaria y equipo provocarán que la plataforma sufra un pequeño asentamiento. Este se corregirá colocando el material para poder tener los niveles deseados, después de hincar todos los micropilotes y tener el nivel que se requiere, luego se procederá a colocar

el firme, con esto se termina lo que concierne al mejoramiento del suelo (FIG. 15).

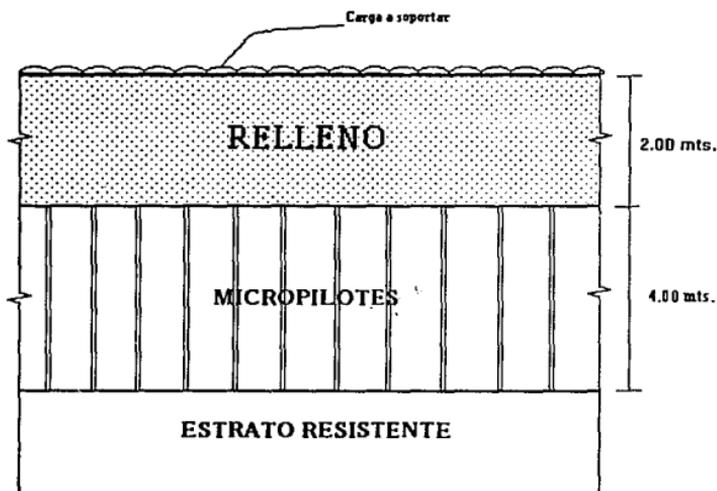


FIG.15

CAPITULO V CONCLUSIONES

Debido a las características de el terreno donde se proyecta construir un centro comercial en Mazatlán Sinaloa, se llegó a la necesidad de utilizar un método para mejorar las características del suelo, es decir sus propiedades. Como el suelo del predio está constituido por arenas se mencionaron métodos de exploración para suelos con estas características así como algunos métodos de mejoramiento usados en suelos arenosos.

Dentro de los factores importantes a tomar en cuenta para la elección del método de mejoramiento están: tiempo, efectividad, sencillez, disminuir asentamientos, controlar la posible llicuación de arenas.

Un método usualmente practicado es la precarga de tierra que consiste en aplicar carga a los suelos de cimentación previas a las cargas normales, utilizando terraplenes o plataformas en el área donde se pretende mejorar el suelo de cimentación. Este método no cumple con los requisitos para utilizarlo en nuestro terreno, ya que, el tiempo de ejecución de la obra es limitado, no ayuda de

manera importante a solucionar el problema de licuación de arenas.

Otro método utilizado es el abatimiento del nivel de aguas freáticas que es un procedimiento de preconsolidación de los suelos. Puede llegar a utilizarse conjuntamente con la precarga de tierra. El abatimiento ayuda de gran manera a reducir los asentamientos de un suelo y, es de fácil aplicación, pero no fue utilizado por no ser un procedimiento que controle el problema de la licuación de arenas.

La compactación por vibrado es un método utilizado para la densificación de depósitos sueltos de arena, mediante el uso de un vibrador. Este método requiere de arenas limpias y gruesas para que sea eficiente, por lo que debido a las características del suelo no se utilizó.

Otros métodos similares a la compactación por vibrado son: compactación profunda con martillos vibradores, consiste en combinar un martillo vibrador con un elemento metálico, el cual se va introduciendo verticalmente en el suelo. El hincado se realiza normalmente sin ayuda de chiflones de agua y los suelos donde el método es aplicable deben ser granulares y saturados con rangos de tamaño

de 3" y la malla 400, cumpliéndose que menos del 25% del suelo pase la malla 200; vibrocompactación, es un procedimiento que se aplica a suelos granulares sueltos con altos contenidos de agua (de preferencia saturados). Las arenas que no son adecuadas para este procedimiento son aquellas con alto contenido de finos. El procedimiento es simple, consiste en un vibrador que se utiliza para hincar y extraer a intervalos regulares un elemento metálico. Estos métodos no se consideraron viables para su aplicación en el terreno, ya que el suelo tiene un alto contenido de finos y no es de gran ayuda en el problema de licuación.

El uso de explosivos como alternativa de mejoramiento de suelos no es muy utilizada, ya que su eficiencia depende de muchos factores difíciles de controlar. Dentro de estos factores por ejemplo tenemos el porcentaje de finos, mientras mayor sea, la eficiencia es menor. Debido a esto y a que no puede ser considerado un método para controlar la licuación de arenas fue descartado como solución del problema.

Un procedimiento relativamente nuevo en las técnicas de mejoramiento de suelos es la llamada consolidación dinámica, este consiste en aumentar la

capacidad de carga del suelo de un terreno altamente compresible mediante la aplicación en la superficie de esfuerzos dinámicos intensos, provocados por la caída repetida desde cierta altura, un peso de varias toneladas. Este método a probado ser de gran ayuda para disminuir los asentamientos en el terreno, pero por la poca ayuda que puede proporcionar para el problema de la licuación, no fue seleccionado como alternativa para solucionar el problema.

Otro método que a probado su efectividad para el mejoramiento de suelos es el de compactación dinámica Menard, esta técnica tiene similitud con la consolidación dinámica por lo que los resultados son muy similares por esta razón y la poca efectividad para solucionar el problema de la licuación también fue desechada como solución al problema.

El método de mejoramiento del suelo a base de micropilotes es poco utilizado y consiste en hincar pilotes de un tamaño relativamente menor a los comunmente utilizados en cimentaciones, durante el proceso de hincado se genera una compactación en el suelo además de que las máquinas de hincado, debido a su peso provocan un asentamiento en el terreno, al provocar este asentamiento

también se produce una consolidación, que da como resultado una mejora en las propiedades del suelo, después, los pilotes son capaces de resistir los esfuerzos provocados por las cargas de servicio y transmitirlos a estratos más resistentes así se libera al suelo de soportar toda la carga y en el caso de que aún en estas condiciones se produzca una licuación los pilotes tienen las propiedades de soportar todos los esfuerzos que provoquen las cargas. De esta manera se concluye que los pilotes se deben diseñar para poder soportar todas las cargas, como si el suelo no resistiera esfuerzo alguno. También es importante mencionar que los pilotes pueden ser de fabricación comercial y su manejo no requiere de cuidados especiales al igual que su hincado, lo único que se tiene que cuidar es la aplicación del anticorrosivo por si se hincaran debajo del nivel freático o se tuviera la certeza de que se colocarán en un suelo donde estén en contacto con el agua. Otra ventaja es el tiempo de ejecución del método, ya que es muy corto. Por estas características se consideró que el método de mejoramiento que se debe utilizar para la solución del problema es el de pilotes.

Un comentario adicional acerca de las condiciones del terreno es: presenta problemas que complican la solución y surge la cuestión de por qué no cambiarlo,

la razón por la cual se utilizó este predio se debe a que el centro comercial es proyecto de la Subdirección General de Protección al Salario del ISSSTE y para este caso el terreno fue una donación realizada por la delegación estatal con la finalidad de construir el centro comercial. Por otra parte la ubicación que presenta el terreno es excelente por lo que buscar y comprar otro con las características del que se tiene sería muy complicado y costoso.

Se recomienda el uso de micropilotes como una solución en el mejoramiento del suelo en los casos donde se presenten problemas de asentamiento o de licuación de arenas como en el nuestro, además se pueden usar de fricción para controlar los asentamientos en terrenos donde el estrato compresible sea de un espesor considerable.

De esta manera concluyo, cumpliendo con los objetivos de este trabajo esperando que sea utilizado más adelante como una guía en casos similares y como un trabajo de consulta.

BIBLIOGRAFIA

- MANUAL DE DISEÑO GEOTECNICO

Comisión de Vialidad y Transporte Urbano. México 1987.

- MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PILAS Y PILOTES

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (S.M.M.S.)

México 1983.

- MEMORIAS DE LA VIII REUNION NACIONAL DE LA

SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS.

México 1976.

- MEJORAMIENTO MASIVO DE SUELOS

S.M.M.S. Reunión técnica 1979.

- **MANUAL DEL RESIDENTE DE CIMENTACION PROFUNDA**

C.N.I.C, México 1987.

- **MEMORIAS DEL SIMPOSIO SOBRE RECIMENTACIONES**

S.M.M.S, México 1990.

- **MANUAL DE CONSTRUCCION DE ACERO**

Instituto Mexicano de la Construcción en Acero.

Limusa 1987

- **MECANICA DE SUELOS TOMO I Y II.**

Juaréz Badillo, Alfonso Rico. México