



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

CONSTRUCCION Y DESCRIPCION DE MODELOS PARA LA
ENSEÑANZA DE MECANICA DE SUELOS

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a ;

LETICIA BECERRIL QUIROZ



México, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-177

A la Pasante Srita. LETICIA BECERRIL QUIROZ,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. José Springall Caram, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"CONSTRUCCION Y DESCRIPCION DE MODELOS PARA LA ENSEÑANZA DE MECANICA DE SUELOS"

- I. Modelos de relaciones agua-suelo.
- II. Modelos de deformación de suelos.
- III. Modelo de depositación de partículas.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 20 de mayo de 1982
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPINO

JJC/03/11/82

I N D I C E

INTRODUCCION

CAPITULO I : MODELOS DE RELACIONES AGUA-SUELO

1. Arrastre e intrusión de material
2. Falla de talud
3. Tablestacado
4. Socavación

• CAPITULO II : MODELOS DE DEFORMACION DE SUELOS

5. Asentamiento por drenaje
6. Licuación
7. Asentamiento por densificación

CAPITULO III: MODELO DE MOVIMIENTO DE PARTICULAS

8. Velocidad de sedimentación

I N T R O D U C C I O N

La Sección de Geotecnia de la Facultad de Ingeniería de la UNAM se ha fijado como propósito que los pasantes de Ingeniería Civil, interesados en el área, desarrollen tesis o trabajos escritos que sean de utilidad en la enseñanza de las diversas materias que la integran. Con este fin ha seleccionado una serie de temas sobre principios básicos (tales como: capacidad de carga, estabilidad de taludes, empuje de tierras, etc), ejercicios analíticos, material audiovisual y, en este caso, modelos demostrativos de algunos fenómenos que ocurren en los suelos, tanto como terreno de cimentación, como en estructuras formadas con él.

Para cumplir con esa finalidad, para esta tesis se eligió la fabricación de 8 de los modelos descritos por E. S. Barber y R. J. Krisek (Ref. 1) que, como ellos lo señalan, son demostrativos, portátiles, de diseño simple, además de ser fácilmente construi -

bles con materiales económicos de uso comercial. El trabajo se complementa con el presente escrito, en el que se describe cada uno de los modelos seleccionados y los fenómenos que se pretenden representar.

Se incluyen fotografías y figuras constructivas, de manera que en el caso de considerarlos de utilidad, resulte fácil su reproducción.

CAPITULO I

MODELOS DE RELACIONES AGUA SUELO

El flujo de agua a través de los suelos tiene efectos muy importantes en la estabilidad de las obras, ya sea que ocurra en el suelo de cimentación o a través de estructuras de tierra. Las vías terrestres y las presas de tierra son las obras en las que el ingeniero se enfrenta con mayor frecuencia a problemas de flujo de agua y para ambas se han desarrollado técnicas muy especiales que tratan de eliminar o reducir sus efectos nocivos, tanto en problemas de escurrimiento superficial como en flujo interno.

Los principales efectos del agua infiltrada en los suelos son: tubificación, erosión, saturación y reducción de la resistencia al esfuerzo cortante.

Tres de los efectos indeseables del flujo de agua se presentan en los modelos 1 a 3. Con el modelo 4 se pretende ilustrar el problema de socavación generado

por una corriente superficial, por ejemplo la socavación en apoyos de puentes que, como se sabe, es la causa de falla más común en estas estructuras.

MODELO 1. ARRASTRE E INTRUSION DE MATERIAL

1.1 Antecedentes

Con este modelo se pretende ilustrar el arrastre de partículas y su intrusión en los suelos más gruesos, que puede provocar el agua al fluir a través de una estructura de tierra, asimismo, la efectividad de las obras de drenaje que se construyen para proteger al suelo afectado. Estas estructuras se diseñan para que capturen y eliminen el agua. Una sección del modelo reproduce el trabajo de un subdrén longitudinal de zanja.

Los subdrenes longitudinales de zanja son muy utilizados en las vías terrestres y aeropistas para proteger las terracerías y los pavimentos (Figs. 1.1 y 1.2). Como su nombre lo indica, el subdrén es básicamente una zanja que se construye de manera que intercepte el flujo de agua (Fig. 1.3). En el fondo de la zanja se coloca un tubo perforado para captar y alejar de la obra el agua infiltrada; el resto de la zanja se rellena con material filtrante, excepto en su parte superior en la que se coloca una capa de material impermeable de manera que se evite la infiltración del agua

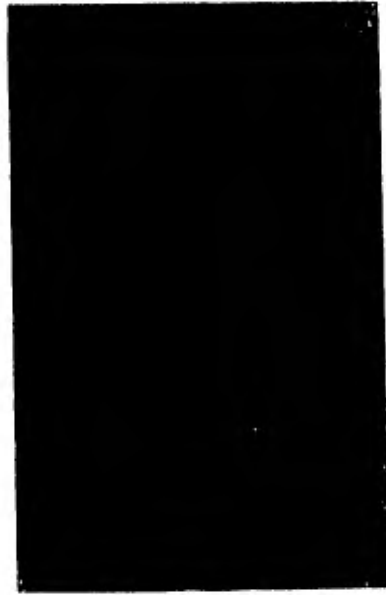


Fig.11 Construcción de un sub-dren de zanja (Ref.2)



Fig.12 Colocación del tubo para un sub-dren de zanja (Ref.2)

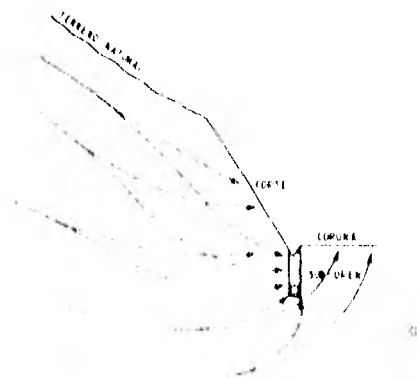


Fig.13 -- Flujo antes de poner el sub-dren
 -- Flujo después de colocar el sub-dren

que escurre superficialmente.

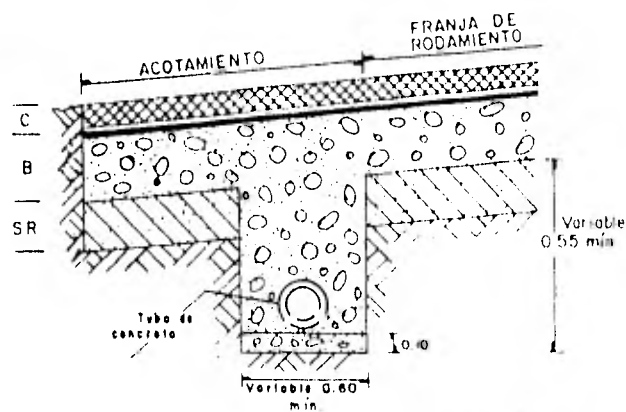
Para que el material filtrante sea eficiente debe llenar las dos condiciones siguientes: a) retener las partículas del material por proteger y b) ser de permeabilidad mayor a la del suelo por proteger, con objeto de facilitar la salida del agua.

Para cumplir con la primera condición, las partículas finas del filtro deben retener a las gruesas del suelo, requiriéndose que el D_{15} del filtro sea menor que 5 veces el D_{85} del suelo.

La segunda condición se cumple cuando las partículas finas del filtro son mayores que las más finas del suelo. Esto ocurre si el D_{15} del filtro es 5 veces mayor que el D_{15} del suelo. Ambas condiciones quedan representadas por la expresión (1).

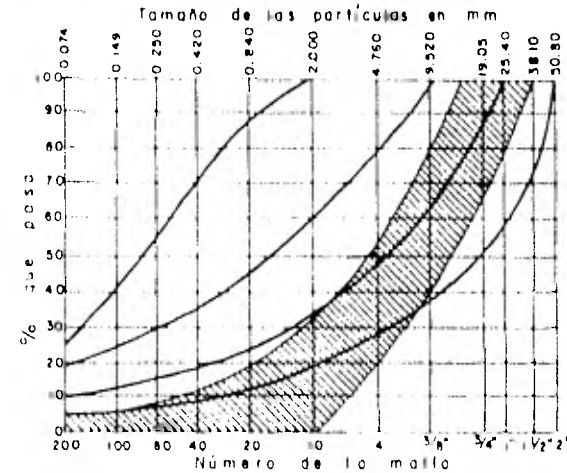
$$5 D_{15} (\text{suelo}) \leq D_{15} (\text{filtro}) \leq 5 D_{85} (\text{suelo})$$

En la Fig. 1.4 se resumen las características de un sub-drén, incluyendo la distribución granulométrica del filtro, que corresponde al proyecto tipo de los utilizados en caminos y aeropistas.



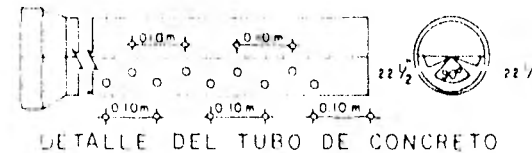
PROYECTO DE SUB DREN TIPO

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



NOTAS.

1. Para el material filtrante podran emplearse arena y gravas de los bancos de base y carpeta, siempre que llene las caracteristicas siguientes.
2. La curva granulometrica del material filtrante debera estar en la zona sombreada de la grafica de composicion granulometrica. Este material debera cumplir ademàs: $LL \leq 25\%$ $IP \leq 6\%$
3. La plantilla donde descansa el tubo perforado debera formarse en todos los casos, con el mismo material filtrante del subdren dándole un apisonado enérgico.
4. El tubo de concreto será de 0.15m de diámetro interior mínima con perforaciones de 9.5 mm ($3/8"$) separadas 0.10m centro a centro, según el detalle del tubo.
5. Pendiente mínima del tubo será de 2 %.
6. El material filtrante se colocará en capas de 0.20m de espesor aproximado, un poco húmedo y apisonado ligeramente para lograr su acamada.
7. Se deberá prever la colocación de registros, a cada 50m para la inspección y limpieza del sistema.
8. Acolaciones en metros. Min. significa dimensiones mínimas.



DETALLE DEL TUBO DE CONCRETO

SUB-DREN
PROYECTO TIPO

1.2 Descripción del modelo

El modelo está formado por una caja de 15 x 35 cm en planta, por 15 cm de altura, fabricada con placa de acrílico de 0.32 cm (1/8") de espesor. En una de sus caras largas tiene dos perforaciones de 2.54 cm (1"), en las posiciones mostradas en la Fig. 1.5.

En dirección transversal, en las perforaciones mencionadas se colocan dos drenes, formados con tubos de PVC perforados (véase Fig. 1.5). En las posiciones A-A' y B-B' se colocan unos separadores de 15 x 15 cm también de acrílico, para evitar que los suelos usados en el experimento se mezclen.

Para la representación del fenómeno se utilizan tres materiales: a) una arena fina uniforme (material I), como suelo por proteger; b) una grava fina (material II), que representa un filtro inadecuado; y c) una arena bien graduada (material III), que hace las funciones de filtro. Las características granulométricas de los tres materiales están representadas por las curvas de la Fig. 1.6.

1.3 Instrucciones de Manejo y Funcionamiento

El montaje del modelo se inicia colocando en su

sitio los drenes de PVC. Enseguida se depositan los materiales I, II y III, utilizando las placas separadoras, éstas se retiran cuando aquéllos alcanzan su altura total, unos 12 cm.

El modelo se hace funcionar agregando agua al Material I. El agua debe verterse lentamente y por pausas, de manera que no se genere un tirante sobre los materiales, para evitar el arrastre superficial del material por proteger. Debe procurarse que el material se sature uniformemente, hasta que se defina un flujo hacia los drenes. Cuando esto ocurra se observará:

- a) que el flujo erosiona el material del suelo a través de la grava llevándolo hasta el drén. La grava resulta contaminada y el agua sale turbia.
- b) del lado del filtro no se aprecia intrusión de material y el agua sale limpia por el drén (ver Foto 1).

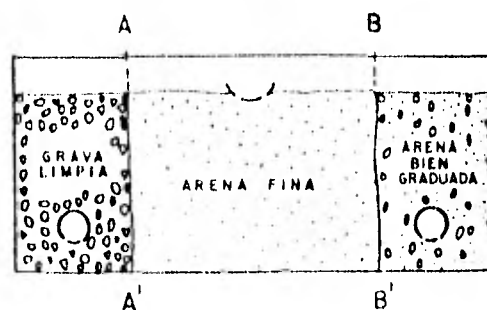
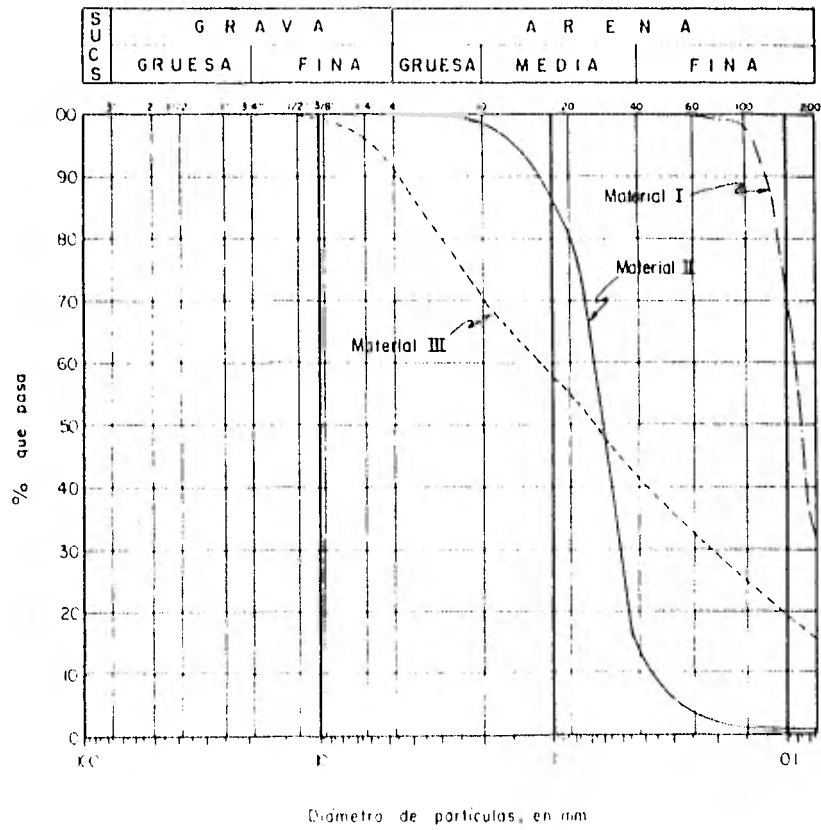


Fig 1.5 Colocación de materiales



material I suelo por proteger
 material II filtro inadecuado
 material III filtro

Fig 16 Curvas de distribución granulométrica

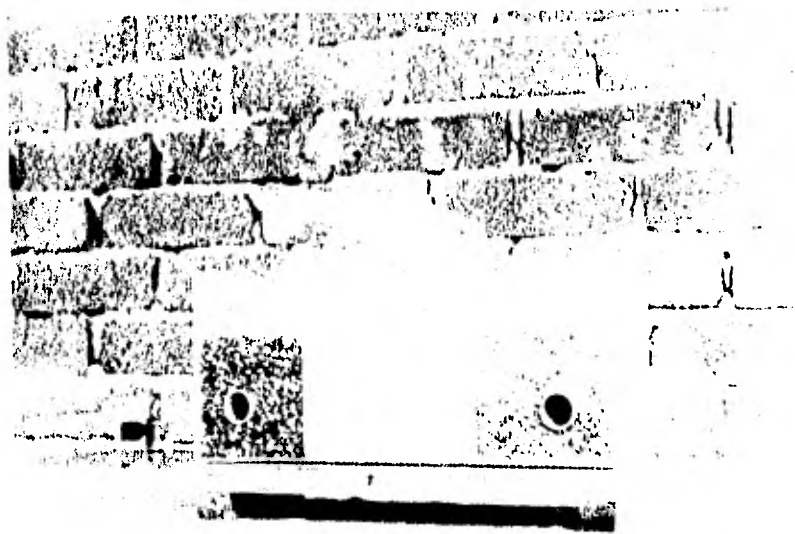


Foto 1.1 Modelo 1, Materiales del experimento colocados

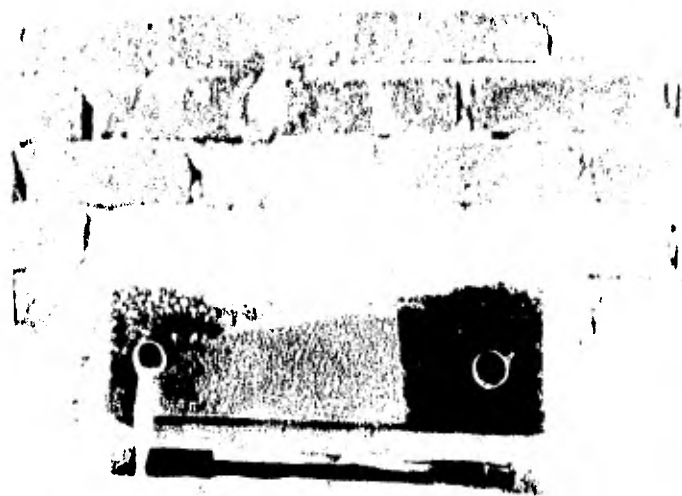


Foto 1.2 Vista del modelo funcionando

MODELO 2. FALLA DE TALUD

2.1 Antecedentes

Se entiende por talud cualquier superficie del terreno inclinada respecto a la horizontal. Los taludes pueden ser naturales (laderas) o artificiales (producto de terraplenes o cortes). En cualquier caso la estabilidad de un talud depende principalmente de la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales que lo constituyen, de los materiales de su cimentación, de las condiciones hidráulicas del terreno y de sus características geométricas.

El propósito de este modelo es demostrar la influencia que tiene el flujo de agua en la estabilidad de un talud. La Fig. 2.1 ilustra un talud sujeto a flujo establecido, representado por la red que se dibuja junto con la superficie potencial de falla.

En una masa de suelo sujeta a un flujo de agua la presión intersticial tiene dos componentes, la hidrostática correspondiente al estado de equilibrio y la hidrodinámica ejercida sobre las partículas por la re-

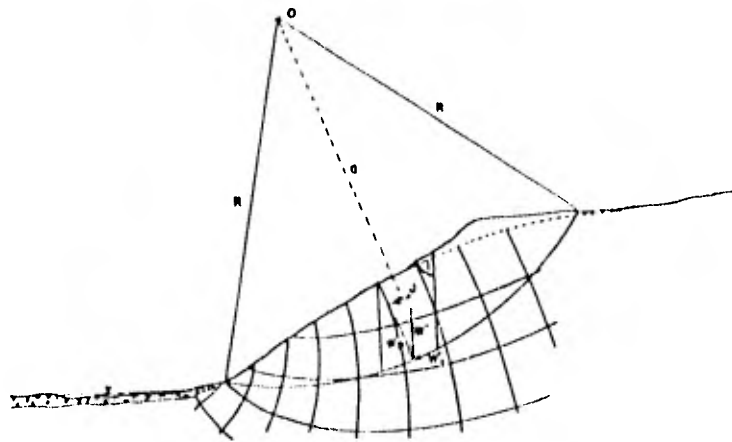


FIG. 2.1 . Análisis de estabilidad de un talud sujeto al flujo establecido (Ref. 2)

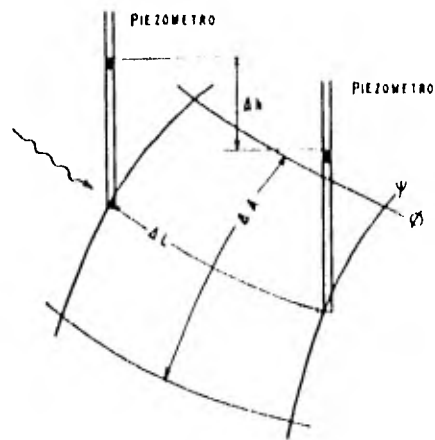


FIG. 2.2. fuerzas de filtración (Ref. 2)

sistencia viscosa que éstas oponen al paso del agua. En cada punto de la zona de flujo la fuerza de filtración puede expresarse como un empuje que actúa en la dirección del flujo, es decir tangente a la línea de flujo que pasa por el punto considerado. Su magnitud, como se demuestra en seguida, es función del gradiente hidráulico.

En la Fig. 2.2 se presenta un cuadrado de la red de la figura anterior, la presión hidrodinámica (p_d) asociada a él es:

$$p_d = \Delta h \gamma_w$$

en que:

Δh , pérdida de carga en la distancia ΔL , las dos en unidades de longitud.

γ_w , peso volumétrico del agua, en unidades de peso por volumen

El empuje total producido en el cuadrado, sobre su sección transversal ΔA es:

$$J = p_d \Delta A = \Delta h \Delta A \gamma_w$$

Por unidad de volumen el empuje está expresado por:

$$j = \frac{J}{\Delta A \Delta L} = \frac{\Delta h}{\Delta L} \gamma_w = i \gamma_w \quad (2.1)$$

La fuerza de filtración depende del peso específico del agua y del gradiente hidráulico que prevalece en el cuadrado y es independiente de la velocidad de flujo y de la permeabilidad (k), por lo tanto, es la misma en suelos cohesivos y en suelos friccionantes, aunque en ellos las velocidades de flujo sean diferentes.

Como ya se anotó, la fuerza de filtración es debida a la resistencia viscosa que la estructura sólida del suelo genera en el fluido, por esto el agua consume energía en forma de presión hidrodinámica capaz de vencerla.

Para una superficie de falla propuesta, las fuerzas de filtración que afectan la estabilidad del talud se calculan a partir de la red que gráficamente representa el flujo establecido a través de éste. En efecto, de la red se conoce el gradiente hidráulico y el volumen de cada cuadrado asociado al segmento inestable del talud, la fuerza de filtración, aplicada en el centroide, de cada cuadrado vale:

$$F = j \Delta A$$

en que:

F , fuerza de filtración por unidad de longitud del talud

ΔA , área del cuadrado.

Para disminuir el efecto del flujo de agua a través de una masa de suelo se han utilizado varias obras de drenaje y subdrenaje, entre otras los drenes transversales de penetración o drenes horizontales, (Fig. 2.3), cuyo trabajo y eficiencia trata de ilustrarse con este modelo.

Los drenes están formados por tuberías perforadas que penetran en el terreno afectado, en dirección transversal del talud por proteger, con objeto de interceptar el flujo y abatir la presión de agua.

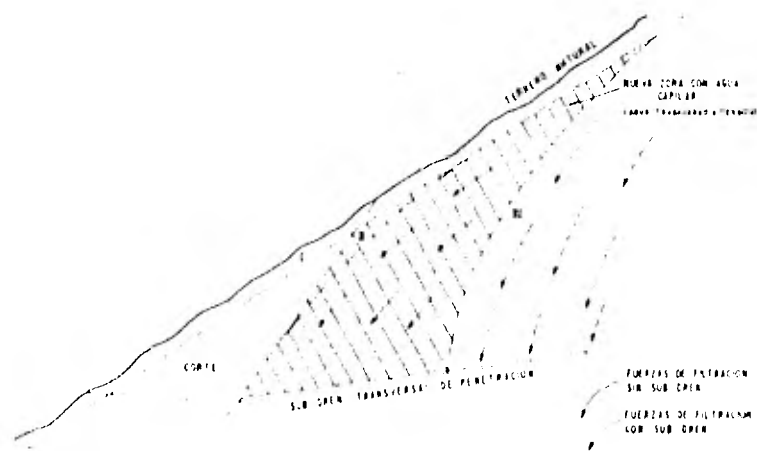


FIG. 2.3 Influencia de un sub-dren transversal de penetración en talud de un corte sujeto a flujo de agua (Ref. 2)

2.2 Descripción del modelo

El modelo está formado por dos cajas de acrílico de 0.32 cm (1/8") de espesor, con dimensiones de 15 x 30 cm en planta y 15 cm de altura y por dos placas de acrílico perforadas en tresbolillo, de dimensiones de 15 x 15 cm, que actúan como respaldo del talud, según lo indica la Fig. 2.4. En la base de una de las cajas se colocan 4 "drenes" formados por tiras enrolladas de una malla metálica, de 0.42 mm de abertura (Malla No. 40 del U.S. Standard Sieve Size).

En la representación del fenómeno, para formar el talud se emplea una arena de cuarzo, de las características granulométricas representadas por la curva de la Fig. 2.5.

2.3 Instrucciones de manejo y funcionamiento

Al iniciar el montaje del modelo se colocan las placas de acrílico perforado en cada cajón a una distancia previamente señalada (10 cm), en una de ellas se colocan los drenes y enseguida se procede a colocar la arena lentamente para que el talud se llegue a definir estable.

El modelo se hace funcionar vertiendo agua en el

espacio que queda en el respaldo del talud, recomen -
dando un llenado rápido para lograr un tirante de
agua que alcance la altura de áquel. Cuando ocurre
ésto se observa que el talud comienza a saturarse rá-
pidamente y los drenes puestos en la base del modelo
comienzan a funcionar, interceptan el flujo y condu -
cen el agua limpia al exterior, satisfaciendo con es-
to la estabilidad del talud. En cambio, en la caja
donde no se colocaron los drenes al saturarse el ta -
lud ocurre la falla rápidamente. (ver fotos 2.1 a 2.4).

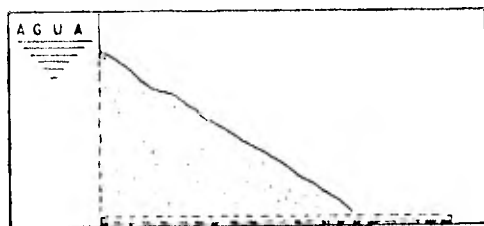


Fig. 2.4 Colocación de materiales

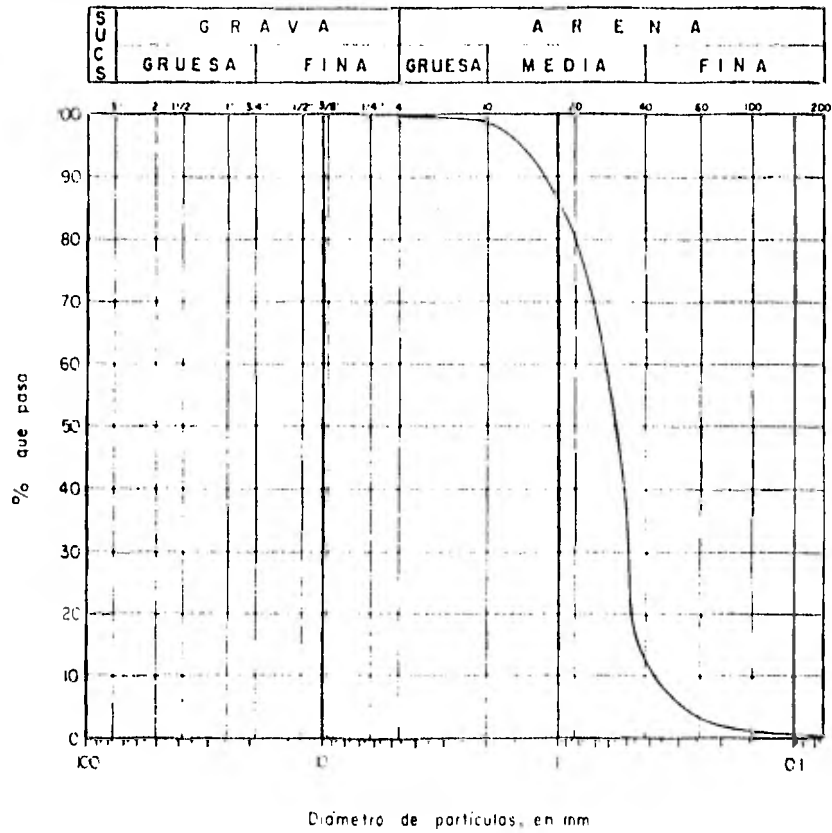


Fig 2.5 Curva de distribución granulométrica

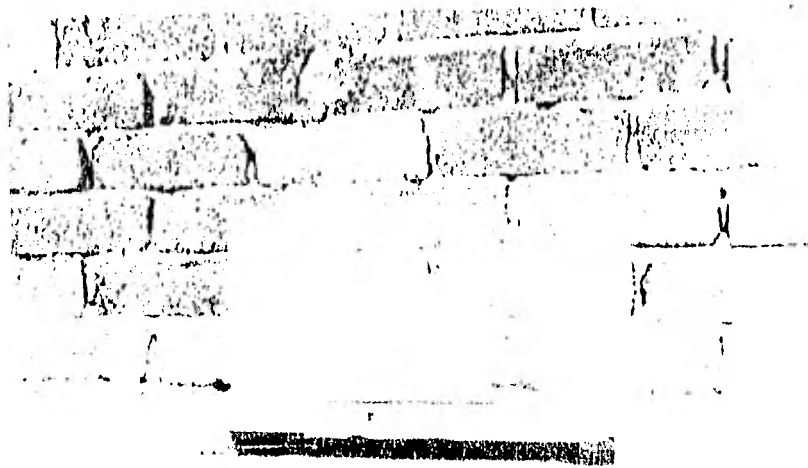


Foto 2.1 Modelo 2, talud de arena con drenes, antes de provocar el flujo de agua

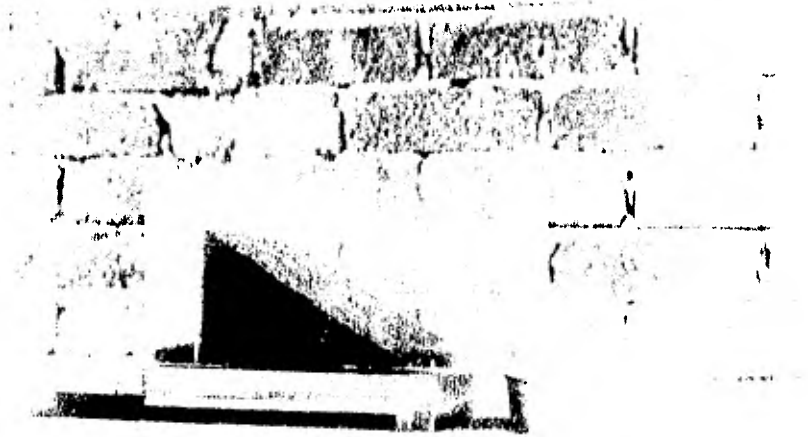


Foto 2.2 Aspecto del modelo con drenes funcionando, obsérvense los tirantes de aguas arriba y aguas abajo

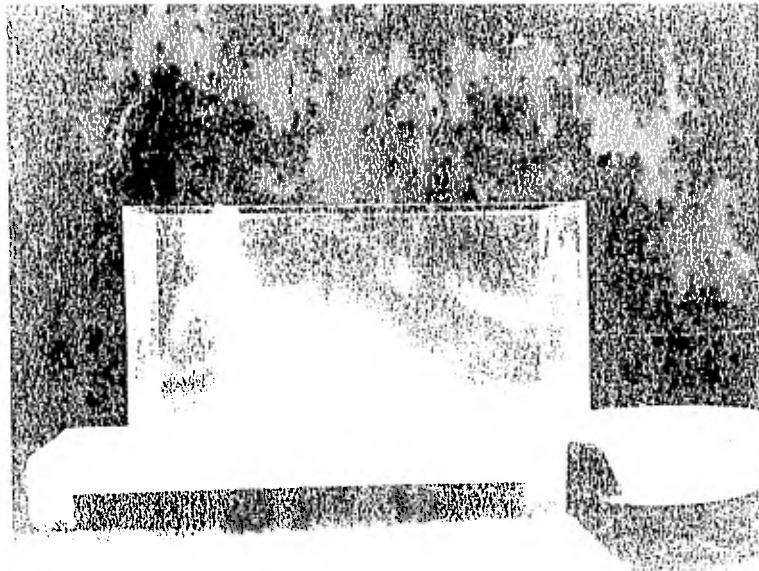


Foto 2.3 Modelo 2. Talud de arena sin drenes, antes de agregar agua

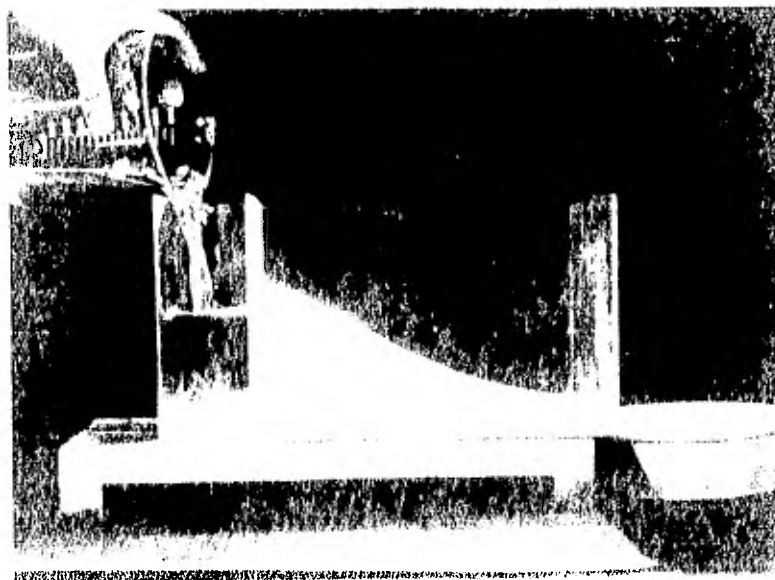


Foto 2.4 Vista del talud fallado, por falta de drenaje apropiado

MODELO 3 TABLESTACADO

3.1 Antecedentes

Las tablestacas ancladas son estructuras de retención, formadas por una pantalla de elementos de acero o de concreto reforzado que se empotran, haciendo penetrar una cierta profundidad en el terreno de cimentación. Estas estructuras son utilizadas en instalaciones portuarias, fluviales y marítimas, principalmente para formar muelles, dragando el terreno en el frente, hasta alcanzar el calado del proyecto, y colocando rellenos en el respaldo hasta la rasante de proyecto.

La estabilidad de una tablestaca anclada depende de su empotramiento en el terreno de cimentación y de la capacidad de su sistema de anclaje colocado cerca de su borde superior. Para determinar la profundidad de empotramiento, y con ella la longitud de los elementos, y para el diseño estructural de la tablestaca, es preciso conocer las presiones del suelo, en magnitud y distribución, las que dependen de la interacción suelo-estructura, es decir, del desplazamiento del terreno y la rigidez del tablestacado. Asímis

mo, deberá asegurarse la estabilidad del conjunto.

Por su profundidad de empotramiento, las tablestacas pueden ser de apoyo fijo o de apoyo libre, según se identifican en la Fig. 3.1, las primeras se llevan hasta una profundidad tal que se evite una falla por deslizamiento del extremo inferior, y sólo puede fallar por flexión o por deficiencia en el anclaje. Cuando no reúne estas condiciones la tablestaca es de apoyo libre.

Las tablestacas pueden ser de dragado o relleno según el procedimiento constructivo. En las de dragado primero se realiza su hincada y después se hace la excavación. En las de relleno generalmente se trata de ganar terreno y por ello se hincan dejando libre la altura necesaria para rellenar el área hasta la rasante de proyecto.

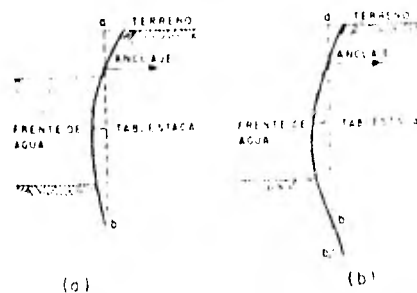


FIG. 3.1 Tablestacas ancladas
a) de apoyo libre
b) de apoyo fijo (Ref. 3)

Con el modelo de este inciso se pretende representar el trabajo de una tablestaca de apoyo libre, cuyo método de análisis se describe brevemente a continuación.

La presión que actúa en el respaldo es básicamente la propiciada por el estado activo; aún así, su distribución puede distorsionarse grandemente dependiendo del modo de deformarse de la estructura, que puede ser como uno de los mostrados en la Fig. 3.2.

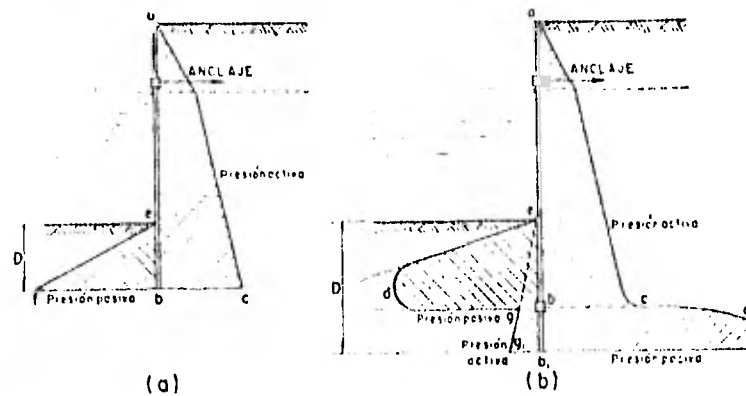


FIG. 32. Concepciones clásicas respecto al empuje de tierras sobre tablestacas ancladas

a) de apoyo libre
 b) de apoyo fijo

(Ref. 3)

La profundidad de empotramiento queda determinada por la presión pasiva requerida para soportar la estructura. El empuje pasivo resultante se acostumbra afectar por un factor de seguridad, para obtener una "resistencia de trabajo". Así, la profundidad de empotramiento, D se determina a partir de la suma algebraica de los momentos de los empujes pasivo y activo igualados a cero.

La fuerza de tensión que se transmite al anclaje debe ser tal que la suma de fuerzas horizontales, también sea igual a cero. La tablestaca y el muerto de anclaje deben mantener una separación que no permita que las zonas de corte se interfieran, lo que se cumple para las condiciones geométricas ilustradas en la Fig. 3.3.

La Fig. 3.4 muestra las cargas que actúan en una tablestaca anclada, para el caso en que esté hincada totalmente en arena y para cuando está hincada en arcilla.

En el modelo presentado sólo hay tirante en un lado de la tablestaca pues representa una excavación; en cambio para representar un muelle la tablestaca estaría separando dos niveles de agua y se tendría que

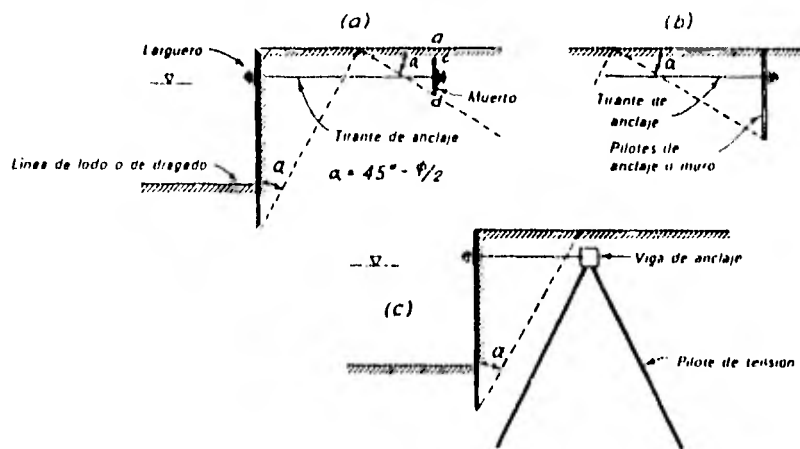


Figura 3.3 Tipos de anclajes para tablestacas. a) De muerto o placas. b) Muro anclaje o fila de pilotes. c) Viga de anclaje apoyada en pilotes inclinados. (Ref. 4)

considerar otra presión adicional a las de tierra, la correspondiente a la diferencia de presiones de agua a ambos lados de la tablestaca; esta presión es la identificada como P_2 en la Fig. 3.4. La diferencia puede deberse a fluctuaciones en la marea o a la infiltración del agua de lluvia después de una precipitación intensa. El desequilibrio en la carga hidráulica puede ocasionar una reducción en la presión pasiva de la zona empotrada, por lo que es importante determinar el efecto de dicho desequilibrio hidráulico.

Los comentarios anteriores se refieren al cálculo de presiones para el diseño de las tablestacas. Sin embargo, el análisis completo debe incluir la res-

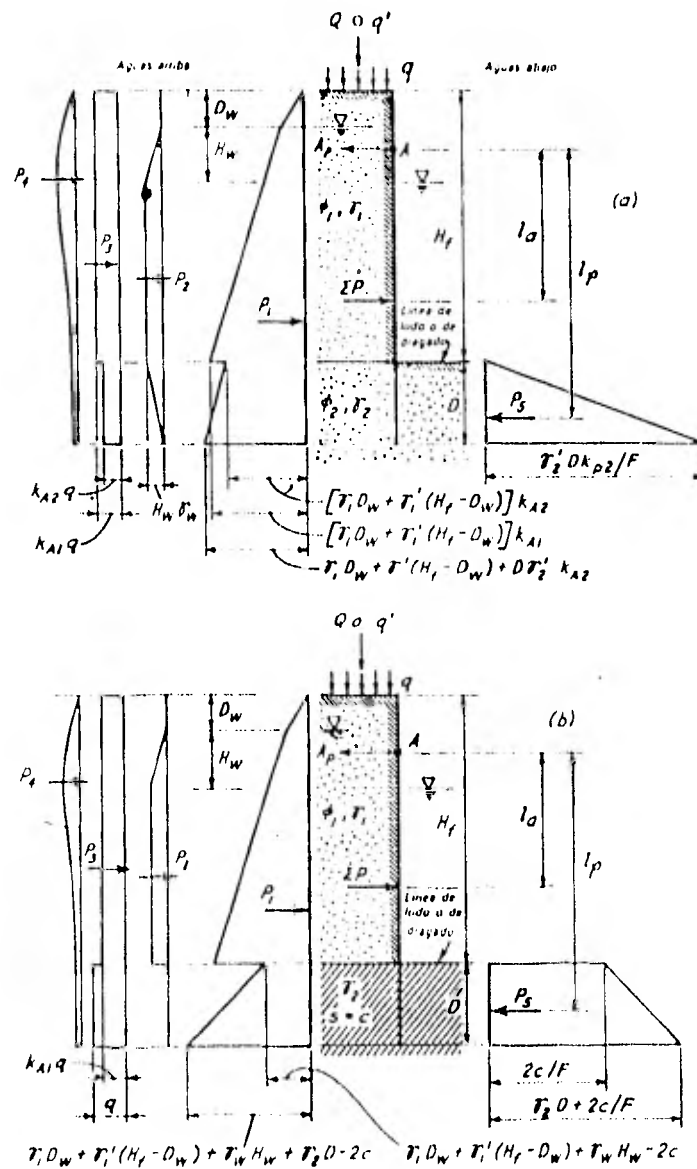


Figura 3.4 Carga contra una tablestaca anclada. a) Tablestaca con relleno de arena por arriba de la línea de drenado hundida en arena. b) Tablestaca con relleno de arena por arriba de la línea de drenado hundida en arena plástica. P_1 representa la presión horizontal resultante debida al peso del suelo tras la tablestaca. P_2 representa la presión horizontal no equilibrada del agua. P_3 es la presión lateral resultante debida a la sobrecarga uniformemente distribuida q por unidad de área. P_4 es la fuerza resultante debida a la carga concentrada Q o a la carga lineal q' que puedan actuar en la superficie del suelo tras la tablestaca. La fuerza resistente P_5 representa la porción movilizada de la presión pasiva del suelo, enfrente de la parte hundida de la tablestaca. (Ref. 4)

visión de la estabilidad de todo el conjunto frente a falla general, en la que la superficie de deslizamiento podría pasar a través del relleno de tierra y bajo el extremo inferior del tablestacado.

3.2 Descripción del modelo

El modelo consiste en una caja de acrílico de 10 x 30 cm en planta, altura de 15 cm y espesor de 0.32 cm (1/8"), además de una placa adicional de 20 x 15 cm que hará las veces de tablestaca (Fig. 3.5). El material utilizado como relleno es una arena de sílice fina, con porcentaje de finos de 32, que corresponde al grupo SP-SM del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

3.3 Instrucciones de manejo y funcionamiento

Se coloca la arena hasta una altura del orden de 7 cm en toda la caja y se introduce la tablestaca unos 2 cm en la arena, a una distancia aproximada de 10 cm con respecto a la pared. En el espacio vacío, en el respaldo, se coloca mas arena hasta unos 5 cm arriba del nivel anterior.

A continuación se hace funcionar el modelo vertiendo agua en el respaldo de la tablestaca hasta for

mar un tirante de agua. A medida que la arena se satura, se observa la formación de líneas de flujo en el lado de la "excavación", poco antes de saturarse totalmente la arena ocurre la falla de la tablestaca, con un giro hacia el frente. (ver fotos 3.1 y 3.2).

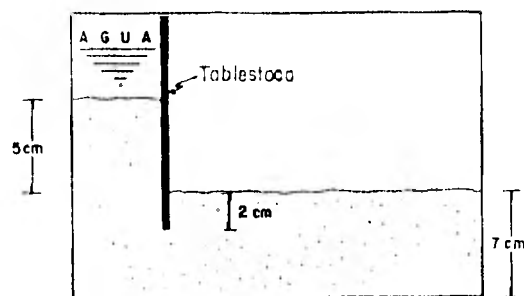


Fig. 3.5 A-3 Tablestacado



Foto 3.1 Vista del Modelo 3, con el suelo y la tablestaca, antes de la reproducción del fenómeno

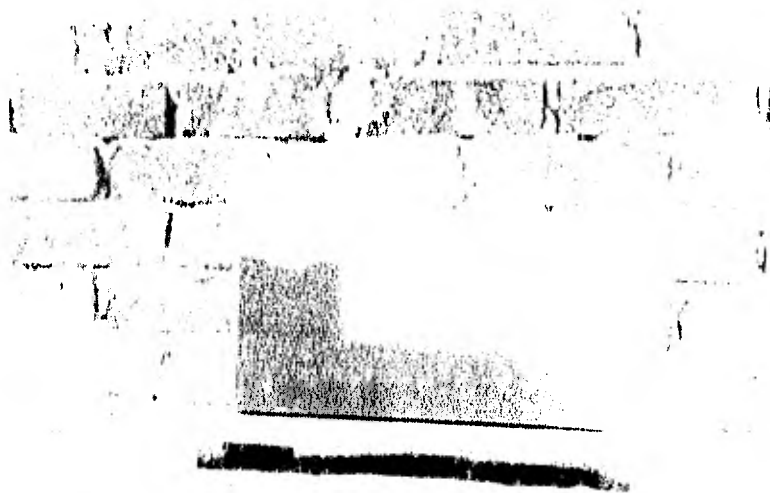


Foto 3.2 Tablestaca fallada, por falta de empotramiento

MODELO 4. SOCAVACION

4.1 Antecedentes

Se entiende por socavación el desgaste superficial del cauce de un río que se produce cuando ocurre una avenida. Esto es debido a que durante una creciente aumenta la velocidad del agua y por lo tanto su poder erosivo o capacidad de arrastre de los materiales del cauce. La intensidad del fenómeno en cada punto depende de la relación que existe entre la velocidad media del agua y la requerida para arrastrar las partículas que constituyen el fondo.

Para fines de cálculo los criterios más usuales consideran como características del material el diámetro medio, en el caso de suelos friccionantes, y el peso específico seco, en suelos cohesivos.

La magnitud de la socavación es principalmente importante conocerla para el proyecto de puentes y algunas estructuras fluviales. En este caso deben distinguirse cinco tipos diferentes de erosiones, cada una igualmente importante para determinar la profundidad

máxima de socavación total.

a) Socavación General

Es un desgaste superficial que se produce a todo lo largo de un cauce durante una avenida, se debe a la capacidad que tiene la corriente para arrastrar el material sólido del fondo, que es levantado y mantenido en suspensión durante un cierto tiempo y que vuelve a depositarse al ir disminuyendo la corriente. Una vez que el nivel de agua ha descendido, el perfil del fondo recupera prácticamente su forma y posición original, salvo en algunos lugares donde el cauce principal puede haber cambiado de lugar (Fig. 4.1.).

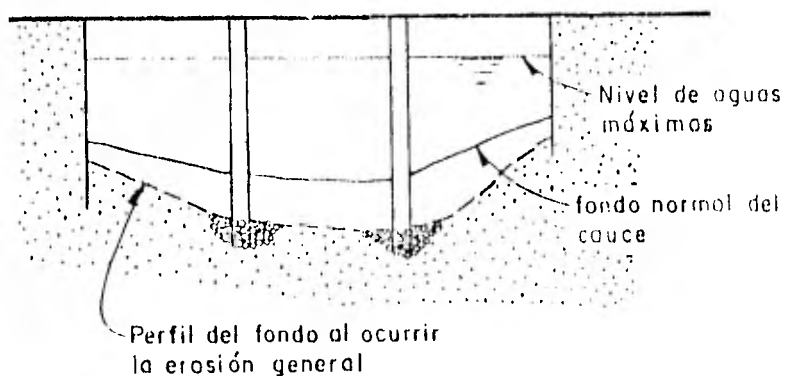


Fig 4.1 Socavación general. (Ref. 5)

b) Socavación Transversal

Es debida al aumento de velocidad que en ocasiones ocurre en una sección al reducirse el área hidráulica del cauce, por la presencia de pilas, estribos y terraplenes de acceso.

c) Socavación en el lado exterior de las curvas

En el lado exterior de los meandros la profundidad del cauce es mayor, debido a la acción de la corriente cuya energía ataca severamente al talud y arrastra al material del fondo hacia la zona interior de la curva. Esta profundidad en ocasiones, puede ser hasta tres veces mayor que en los tramos rectos del río.

d) Socavación local

Es causada por vórtices que se presentan frente a las pilas y estribos o cualquier obstáculo, generados por los cambios de dirección que produce la presencia de dichas estructuras en las líneas de corriente, Figs. 4.2 y 4.3.

e) Socavación aguas abajo de embalses

El descenso del fondo del río se debe a que las obras de este tipo impiden el paso libre de materia -

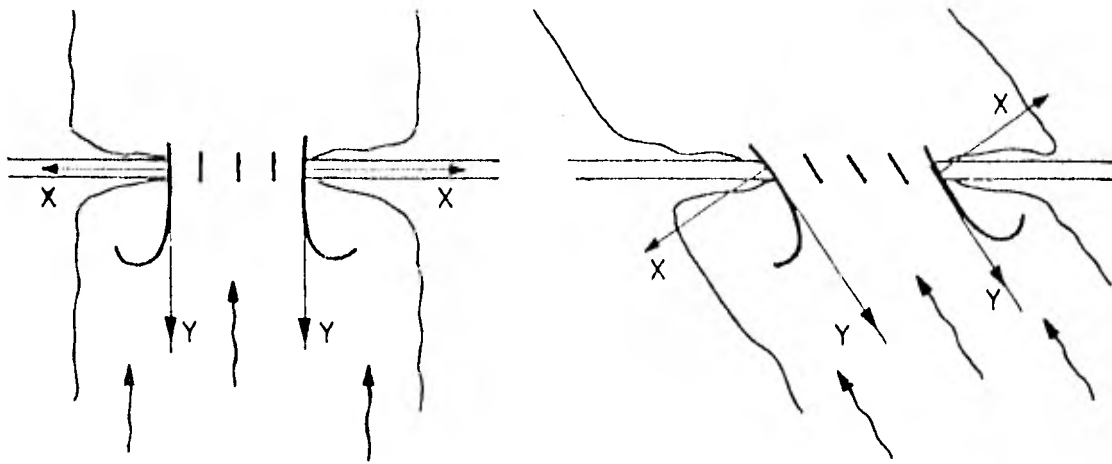
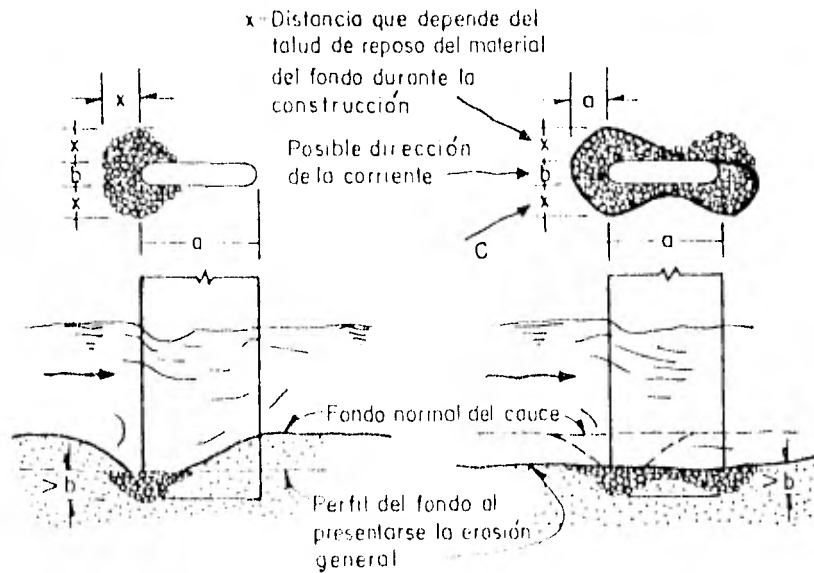


Fig 4.2 Colocación de los diques encauzadores respecto al eje longitudinal del puente y a la corriente (Ref.5)



- a. Ángulo de incidencia de cero grados. La línea gruesa del fondo indica que solo se presenta socavación local y no se tienen condiciones de socavación general.
- b. Ángulo de incidencia variable. La línea gruesa del fondo indica la condición de máxima erosión general.

Fig 4.3 Forma de colocar el foleo para evitar la socavación general (según Muzo y Sánchez) (Ref.5)

les sólidos. En estas condiciones, la corriente, casi libre de sedimentos al volver al río, arrastra el material del fondo de las secciones adyacentes a la estructura y no las repone, pues al salir de ésta carece de sólidos. De esta manera se produce un descenso gradual del fondo hasta el momento en que por disminuir la pendiente, la corriente ya no tiene capacidad suficiente para arrastrar más material.

4.2 Descripción del modelo

El modelo consta de una caja de 20 x 20 cm en planta y 20 cm de altura, es de placa de acrílico de 0.32 cm (1/8") de espesor, con una tapa de madera perforada al centro, donde se coloca un rotor como lo indica la Fig. 4.4

Para presentar el modelo se utiliza una arena fina uniforme (su distribución granulométrica se ilustra en la Fig. 4.5) y dos prismas pequeños de concreto (3.5 cm de diámetro por 15 cm de altura) que representan las pilas de un puente y se colocan al centro de la superficie del suelo.

4.3 Instrucciones de manejo y funcionamiento

Para la reproducción del fenómeno, el modelo se

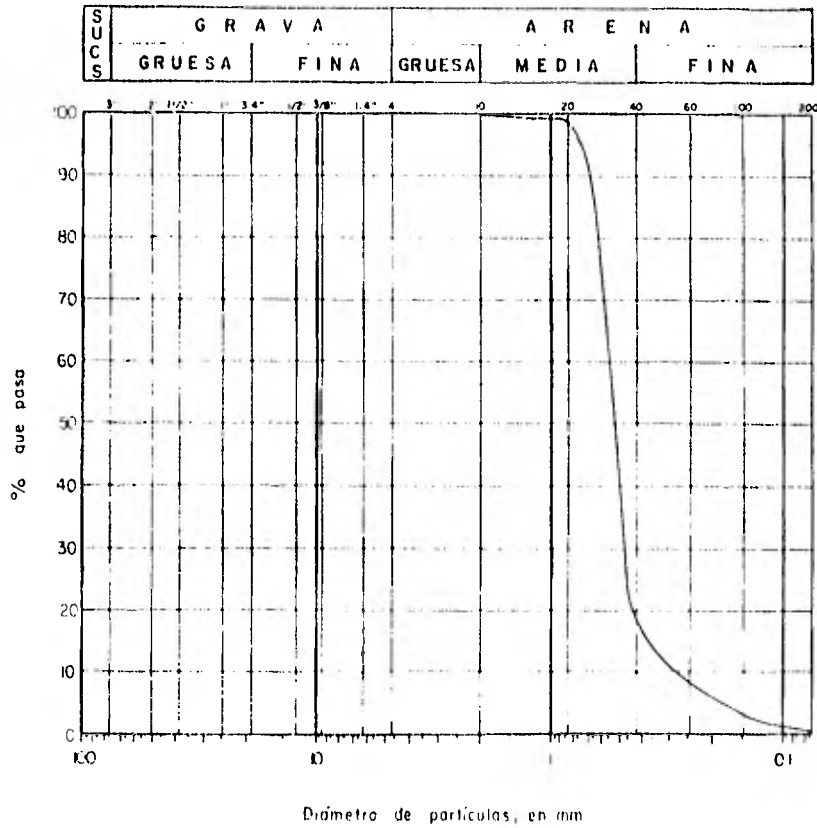


Fig. 45 Curva de distribución granulométrica

prepara colocando la arena y vaciando 2.5 lt de agua aproximadamente, hasta cubrir las aspas del rotor y las pilas.

Se recomienda que las pilas no se entierren demasiado con objeto de agilizar su falla.

Enseguida se pone en marcha el rotor y de inmediato se generará un movimiento turbulento del agua que en pocos minutos socavará el suelo adyacente a las pilas, provocando su falla. (ver fotos 4.1 y 4.2)

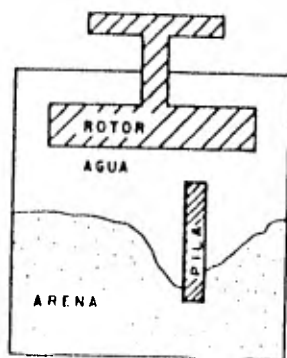


Fig. 4.4 Socavación



Foto 4.1 Modelo 4, preparado para reproducir el efecto de socavación

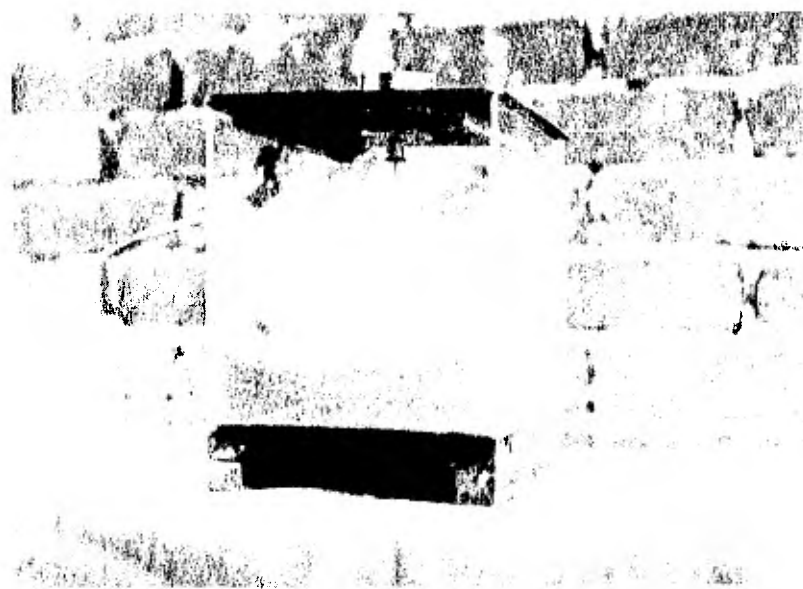


Foto 4.2 Falla de las "pilas" de un puente, generada por socavación

CAPITULO II

MODELOS DE DEFORMACION DE SUELOS

Esta parte del trabajo la componen tres modelos con los que se pretende ilustrar la deformación o asentamiento que puede generarse en un suelo al abatir el nivel freático y bajo el efecto de vibraciones.

Con el Modelo 5 se trata de reproducir el asentamiento de la superficie de un suelo arcilloso que se presenta al descender el nivel freático. El asentamiento ocurre porque se genera un incremento en la presión efectiva, pues en el suelo comprendido entre las posiciones original y final del nivel freático el peso volumétrico aumenta del valor correspondiente al peso sumergido al valor del peso del suelo saturado, produciendo una deformación acorde con su relación es fuerza-deformación.

Los modelos 6 y 7 se utilizan para reproducir el efecto de las vibraciones en suelos sin cohesión, p.

ej. arenas limpias, para los casos de material sumergido y de material seco. En arenas arriba del nivel freático el agua capilar les proporciona una "cohesión aparente", suficiente para evitar reacomodo de partículas; en cambio, en las arenas secas y en las que están sumergidas no existe esa "cohesión" y son fácilmente compactables, pues se densifican ante cualquier operación que genere vibraciones.

Entre los principales agentes que producen vibración y causan densificación en las arenas se citan: sismos, hincados de pilotes, voladeros, paso de ferrocarriles y máquinas cuya operación transmita al terreno fuerzas dinámicas no balanceadas.

MODELO 5. ASENTAMIENTOS POR DRENAJE

5.1 Antecedentes

Al observar los depósitos de material muy suave en el fondo de una masa de agua, por ejemplo un lago, se nota que el suelo reduce su volumen conforme pasa el tiempo y aumentan las cargas por sedimentación sucesiva. Al proceso de disminución de volumen de un suelo bajo cargas de larga duración, por ejemplo la debida a sedimentos sobre el suelo, se le llama proceso de consolidación. Este proceso implica disminución de la relación de vacíos y del contenido de agua.

Frecuentemente ocurre que durante el proceso de consolidación la posición relativa de las partículas sólidas sobre un mismo plano horizontal permanece esencialmente la misma, así el movimiento de las partículas puede considerarse sólo en dirección vertical llamándole consolidación unidimensional. En ésta el volumen de la masa disminuye pero los desplazamientos horizontales de las partículas son nulos.

Las características de la consolidación de los

estratos de arcilla pueden investigarse cuantitativamente con aproximación razonable, realizando la prueba de consolidación unidimensional sobre especímenes representativos del suelo, extraídos en forma tan inalterada como sea posible. Se puede así calcular la magnitud y la velocidad de los asentamientos posibles debidos a las cargas aplicadas.

Desde luego, es cierto que en las pruebas de laboratorio hechas en muestras pequeñas se produce la consolidación en tiempos muy cortos, en comparación con el tiempo en que el estrato real de arcilla se consolidará bajo la carga de alguna estructura. De hecho en la aplicación de las teorías a la práctica de la mecánica de suelos, se supone que todas las constantes de consolidación son las mismas en el proceso rápido de laboratorio y en el que tiene lugar en la naturaleza.

5.2 Descripción del modelo

El modelo está formado por una caja de acrílico de 15 x 15 cm en planta y por 15 cm de altura, formada con placa de 0.32 cm (1/8") de espesor. En la parte inferior tiene una perforación de 1.27 cm (1/2"), en la que se conecta una manguera cuyo extremo opuesto

se une a un embudo, como lo indica la Fig. 5.1.

El modelo se complementa con pedacería de mica cortada en forma de círculos y rectángulos, con lo que pretende representarse un suelo arcilloso.

5.3 Instrucciones de manejo y funcionamiento

Para la representación se coloca la mica dentro del cubo y se hacen las conexiones de la manguera y el embudo. Se vierte agua en el embudo manteniendo este en alto, con objeto de que el agua escurra por gravedad, hasta que el agua alcance una cierta altura tal que ocasione que los fragmentos de mica floten. Los fragmentos de mica flotando representan un suelo blando.

Cuando se hace bajar el embudo se observa que el agua escurre hacia él, bajando su nivel en el cubo y provocando un asentamiento algo acelerado (ver Foto 5) de la superficie de la mica.

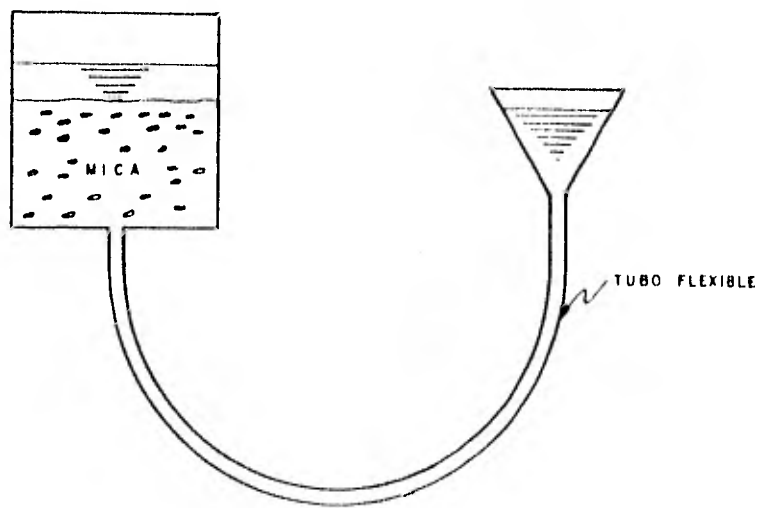


Fig. 5.1 Modelo de drenaje

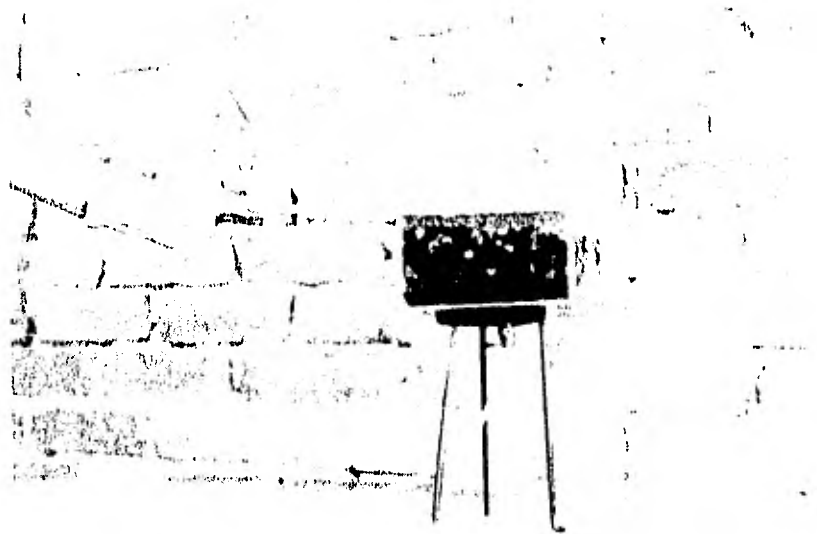


Foto 5.1 Agregado de agua al modelo, para crear un flujo ascendente y un estado de flotación a la mica

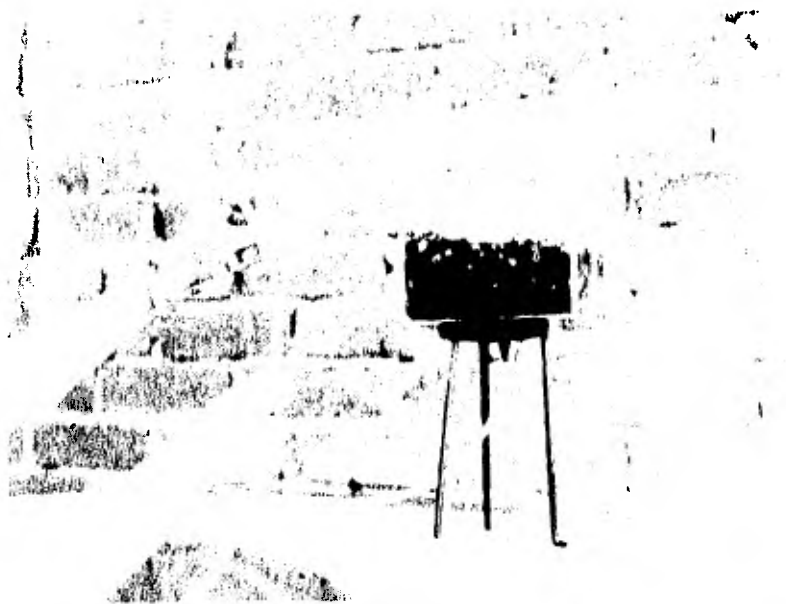


Foto 5.2 Inversión del flujo ahora hacia abajo, para representar el asentamiento de un suelo blando por abatimiento del nivel freático

MODELO 6. LICUACION

6.1 Antecedentes

Se entiende por licuación a la pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante, temporal o definitiva, que llega a presentarse en suelos finos no cohesivos saturados y sumergidos cuando son afectados por una vibración, dicho de otra forma, si un depósito de argna tiene estructura colapsable (suelta) y se somete a una perturbación (estática o cíclica) la estructura del material puede fallar si el incremento de presión generado en el agua es de magnitud tal que se anule el esfuerzo efectivo del suelo.

Geológicamente, los suelos susceptibles al fenómeno de licuación son: arenas o limos aluviales de deposición reciente, en estado muy suelto: abanicos aluviales, planicies de inundación, terrazas y diques naturales de aluvi6n fino.

Básicamente para el estudio de licuación se han desarrollado cuatro criterios.

- a) Relación de vacíos crítica (Casagrande, 1936)
- b) Aceleración crítica (Maslav, 1958)
- c) Relaciones empíricas (Cristian y Swiger, 1975
Seed, 1979).
- d) Ensayos cíclicos (Seed y Lee, 1966).

Se han identificado varias causas de licuación,
a saber:

- a) Incremento monolítico de esfuerzos
- b) Incremento monolítico de deformaciones
- c) Cargas cíclicas inducidas por maquinaria, tránsito
pesado, explosiones y otras.

En la Fig. 6.1 se muestran las envolventes de las curvas granulométricas de varios suelos que se han licuado. En la mayoría de los casos, los suelos han estado totalmente saturados, sin embargo, hay evidencia de licuación de suelos secos (depósitos de loess) bajo la acción de un sismo (Ref.6).

Como se aprecia en la figura mencionada, los suelos más susceptibles a licuarse son de granulometría uniforme y particularmente arenas limosas poco plásticas; si los limos son plásticos o el suelo tiene alto

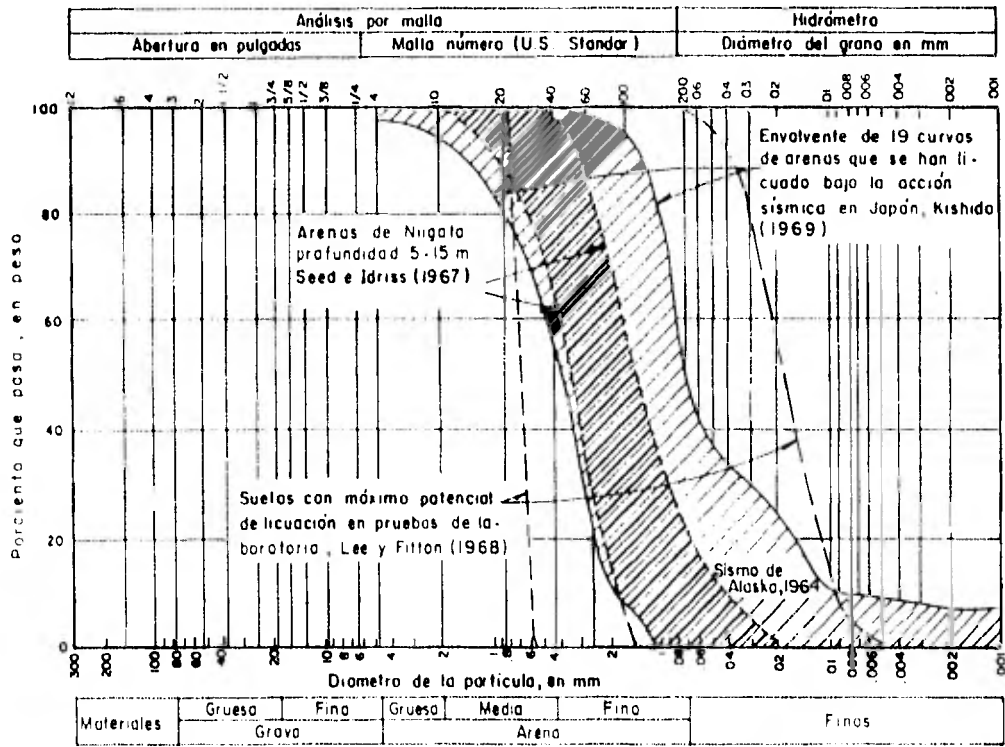


Fig. 6.1 Granulometrías de algunos suelos que se han licuado (Ref. 6)

contenido de arcilla , es poco probable que sean li-
cuables; asimismo, aluviones finos cementados ligera-
mente por acumulaciones de carbonatos y otros agen-
tes son poco susceptibles mientras no se rompa la li-
ga entre los granos. La mayoría de los suelos que
han experimentado este fenómeno tienen una compac-
dad relativa D_r menor de 60 %.

6.2 Descripción del modelo

El modelo lo forma una caja de acrílico de 30 x
15 cm en planta y 15 cm de altura, sin tapa; un vibra-
dor de corriente (timbre) y un prisma rectangular que
simula una estructura, (ver Fig. 6.2.).

En este caso se utiliza una arena de cuarzo cuya
distribución granulométrica está representada por la
curva de la Fig. 6.3.

6.3 Instrucciones de manejo y funcionamiento

En la caja de acrílico se coloca la arena, y con
ayuda de un embudo colocado en una de sus esquinas,
se le vierte agua lentamente, con objeto de satu-
rar la arena de abajo hacia arriba y evitar una pre-
via compactación. Una vez saturado el material se co-
loca el prisma al centro y el vibrador en la parte in-
ferior. (ver foto 6.1 y 6.2).

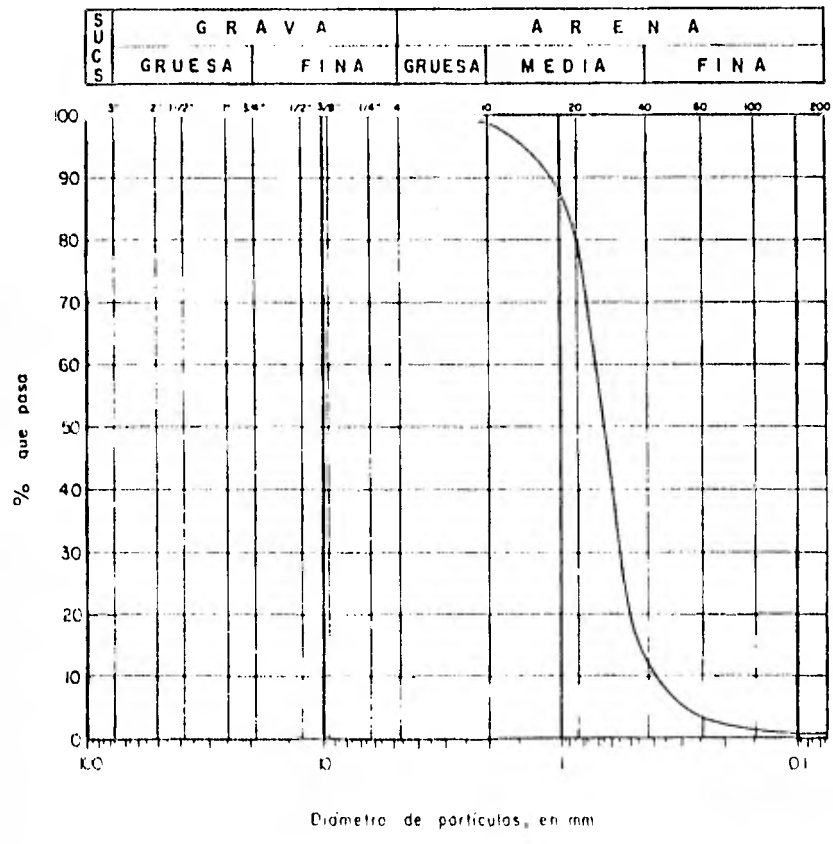


Fig 6.3 Curva de distribución granulométrica

Estando saturada la arena, al aplicar la vibración se logra densificarla, causando así una rápida expulsión de agua. El flujo de agua hacia afuera del suelo disminuye los esfuerzos efectivos, con lo que baja la capacidad de carga y por consiguiente ocurre la falla de la estructura.

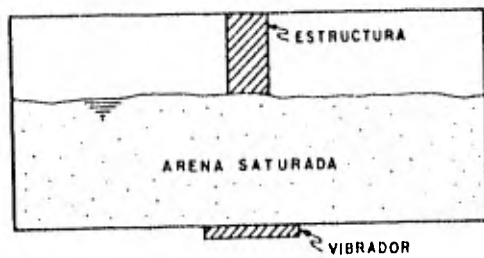


Fig. B-6 Licuación

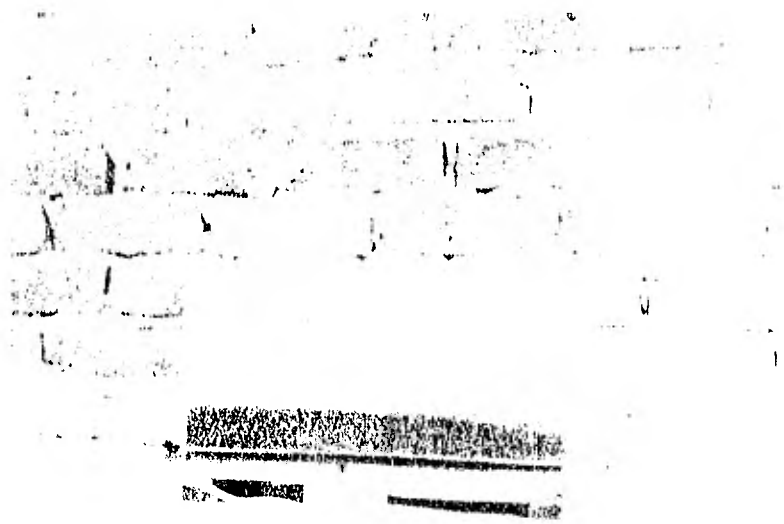


Foto 0.1 Representación de un cimiento des-
plantado en un suelo granular satu-
rado, previo a la aplicación de
fuerzas dinámicas



Foto 0.2 Representación de un cimiento des-
plantado en un suelo granular satu-
rado, previo a la aplicación de
fuerzas dinámicas

MODELO 7. ASENTAMIENTOS POR DENSIFICACION

7.1 Antecedentes

Los suelos gruesos susceptibles a asentarse son aquellos en los que los contactos entre los granos son relativamente escasos, trátase de naturales o artificiales. Esta situación puede ocurrir principalmente en suelos formados por arenas finas y limos no plásticos, cuyo tamaño y uniformidad de partículas imponen una velocidad de sedimentación baja formándose depósitos de estructura muy suelta. Las causas que pueden producir el desplazamiento de arenas secas son dos: incrementos de esfuerzos cortantes en el suelo y disminución de resistencia al corte por una vibración brusca sobre el suelo, tal como: un sismo, un impacto, fuerzas dinámicas generadas por máquinas, etc.

En arenas sueltas y secas pueden ocurrir fenómenos de desplazamiento por un mecanismo semejante al que ocurre en arenas saturadas (licuación), con la diferencia de que ahora la presión de poro se genera en el aire de los vacíos y no en el agua. Por lo tanto,

el desplazamiento de arenas en estado seco, sólo es posible si una masa de suelo grande de estructura suelta tiende a disminuir su volumen bruscamente en todos los puntos. Se conocen dos tipos de materiales que han sufrido estos desplazamientos: el Loess y la Roca; el primero fué en 1920, durante un temblor en Yanzú, China, donde un tramo de carretera deslizó 1600 m. En Rocas se presentaron dos deslizamientos uno en Elm, Suiza (1932) y otro en Alberta, Canadá (1903).

7.2 Descripción del modelo

Consta de una caja de acrílico de 30 x 15 cm en planta y 15 cm de altura, sin tapa, y un vibrador de corriente (timbre) que se coloca en la parte inferior del modelo como se indica en la Fig. 7.1.

Para reproducir el fenómeno se utiliza una arena media, de misma distribución granulométrica (Fig. 6.3) que la utilizada en el Modelo 6.

En la superficie de la arena se coloca un prisma rectangular que representa a una estructura por ejemplo un edificio.

7.3 Instrucciones de manejo y funcionamiento

Para representar el fenómeno se coloca la arena a volteo, de manera que la relación de vacíos sea la máxima posible y tratando de formar un abultamiento en el centro, colocando la estructura y el vibrador en en la forma ya indicada. (Foto 7.1).

Al empezar a funcionar el vibrador se observa como la arena comienza a desplazarse poco a poco, ocasionando deslizamientos alrededor de la estructura y por consiguiente un asentamiento y falla. (Foto 7.2)

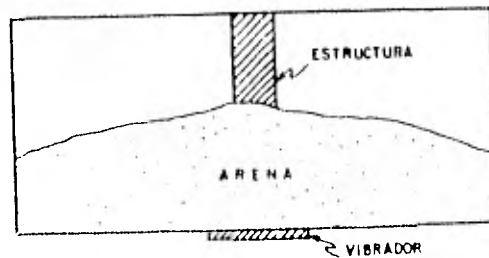


Fig. 5.1 Colocación del material



Foto 7.1 "Estructura" desplantada en suelo granular seco, en estado suelto

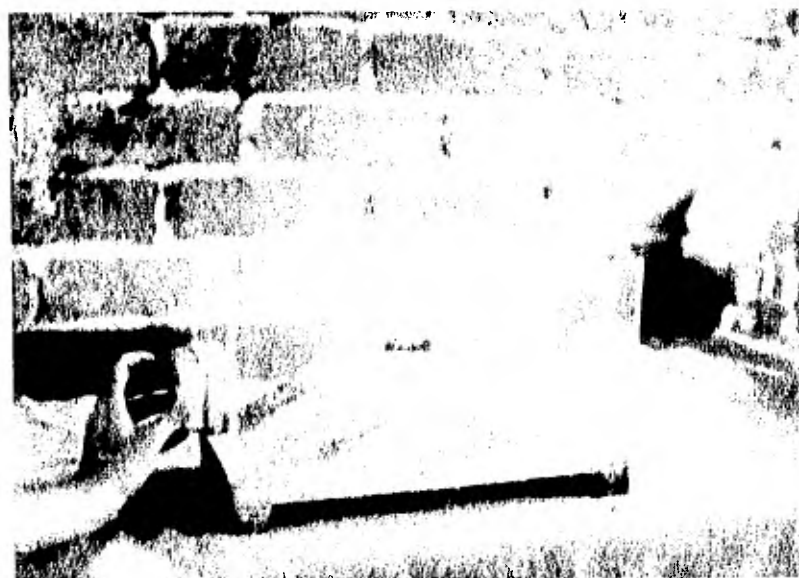


Foto 7.2 Talla de la "estructura" por la identificación del material, provocado al accionar el vibrador eléctrico.

MODELO 8. SEDIMENTACION

8.1 Antecedentes

Se entiende por sedimentación el proceso por el cual un material suspendido en un líquido se deposita en el fondo de éste.

Los suelos pueden ser residuales, si se encuentran en el sitio de la roca madre, o transportados, si algún agente los removió de ese sitio y los acarreoó para depositarlos lejos de él. De aquí que se diga que la sedimentación envuelve tres procesos, a saber: la erosión, el acarreo y la depositación de sedimentos.

En la naturaleza se distinguen dos clases de sedimentación, la marina y la continental. La primera origina los depósitos de litoral, los deltas, los depósitos de aguas someras o poco profundas y los depósitos de aguas profundas.

En la sedimentación continental se incluyen los depósitos fluviales, los lacustres, los eólicos y los depósitos glaciales.

En los litorales o zona de playa los materiales representativos de estos depósitos varían en tamaño desde gravas hasta arenas y limos, correspondiendo las gravas a cortes más o menos acantilados, las arenas a playas y bermas, limos y arcillas a zonas completamente protegidas: bahías y lagunas. Los materiales son arrancados de la costa o llevados por las corrientes. En un delta (depósitos de litoral o de aguas someras) se distinguen tres tipos de depósitos: los formados al chocar la corriente con el cuerpo de agua por lo regular son los más gruesos; los sedimentos arenosos con algunas gravas que constituyen el cuerpo principal del delta y los sedimentos del fondo constituidos principalmente por materiales arcillosos y limosos; este proceso se observa en pequeña escala en las grandes presas. Los materiales en zonas de aguas poco profundas son materiales finos que van siendo más y más finos a medida que están más lejos del litoral.

Esta depositación o sedimentación de materiales finos es la que se pretende ilustrar con el modelo de

este apartado, sobre todo la que ocurre en el mar.

En el mar la sedimentación detrítica tiene lugar fundamentalmente en los deltas, estuarios, playas, etc., donde a los fenómenos de velocidad de las corrientes procedentes del continente se suman fenómenos químicos de floculación, que aceleran la precipitación de las arcillas, las cuales por su tamaño podrían ser mantenidas indefinidamente en suspensión.

En el conocimiento de que los suelos finos están regidos por fuerzas de naturaleza eléctrica, se crea la tecnología de "estabilización de suelos", mediante la cual se realiza el intercambio catiónico, o sea la sustitución de los cationes del suelo por otros de mayor efectividad. En la Fig. 8.1 se muestra la estructura que puede presentar un suelo sedimentario, formado en agua salada, comparándola con la de otro depositado en agua dulce. El suelo depositado en agua salada flocculará más rápidamente definiendo una estructura mas abierta y, por lo tanto presentará un mayor contenido de agua y relación de vacíos.

8.2 Descripción del modelo

El modelo está constituido por cinco tubos de acrílico, de 5 cm de diámetro, 25 cm de altura y

0.3 cm de espesor, colocados en dos placas de acrílico como lo indica la Fig. 8.2. Los materiales utilizados en este modelo son los siguientes, material (1), arena media cuarzosa; material (2), arena fina; material (3) limo; material (4) arcilla con cal; y material (5), arcilla con sal. En cada uno de los tubos, se coloca uno de estos materiales, procurando ordenarlos de la misma manera que se citan para hacer más objetiva la reproducción del fenómeno.

8.3 Instrucciones de manejo y funcionamiento

Para el funcionamiento del modelo y representación del fenómeno se recomienda que al colocar los materiales en sus respectivos tubos todos lleven la misma proporción de material y que los materiales (4) y (5) estén bien mezclados.

Una vez colocado el material se llenan con agua a un nivel fijado previamente y se taponan, enseguida se procede al funcionamiento, que consiste en agitar los tubos, de manera de crear una turbulencia en ellos, y en colocarlos en el portatubos, sobre la mesa. El fenómeno empezará a reproducirse de inmediato y se apreciará cómo disminuye la velocidad de sedimentación de las partículas más gruesas a las más finas.

En éstas se observará, además, que la arcilla mezclada con cal flocculará más rápidamente que la que se mezcló con sal. (ver fotos 8.1 y 8.2)

Formación de los suelos

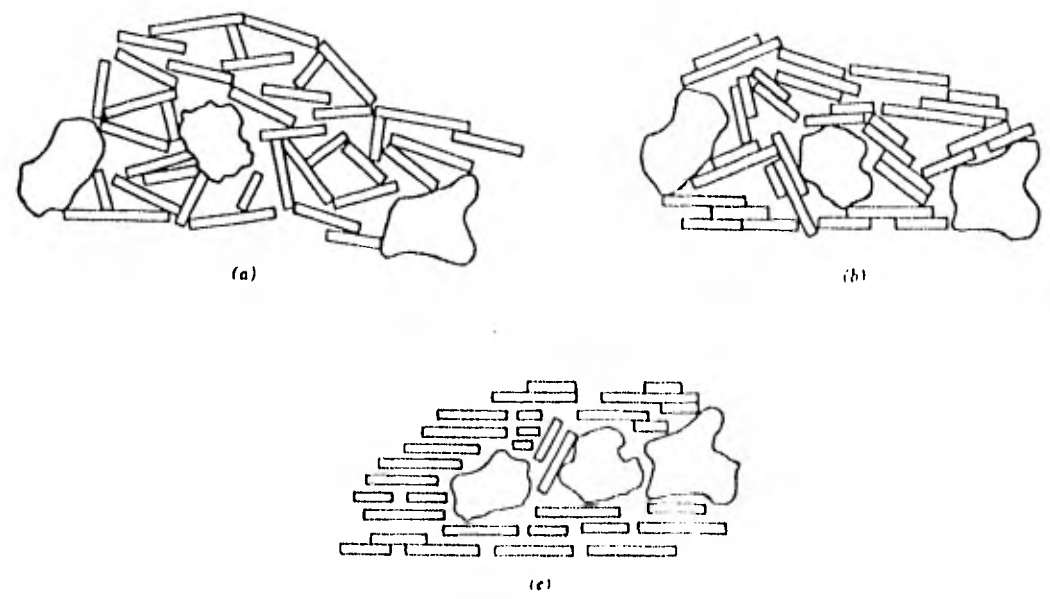


Fig. 8.1 Estructura de un suelo natural. a) Depósito inalterado en agua salada. b) Depósito intacto en agua dulce. c) Suelo remoldeado. (Ref. 7).

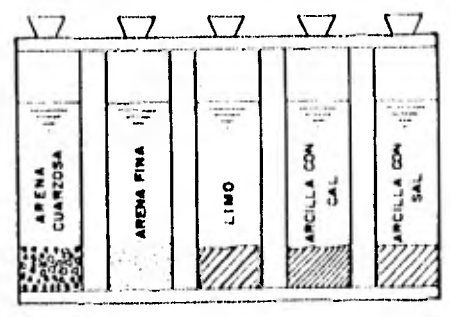


Fig. 8.2 Velocidad de sedimentación

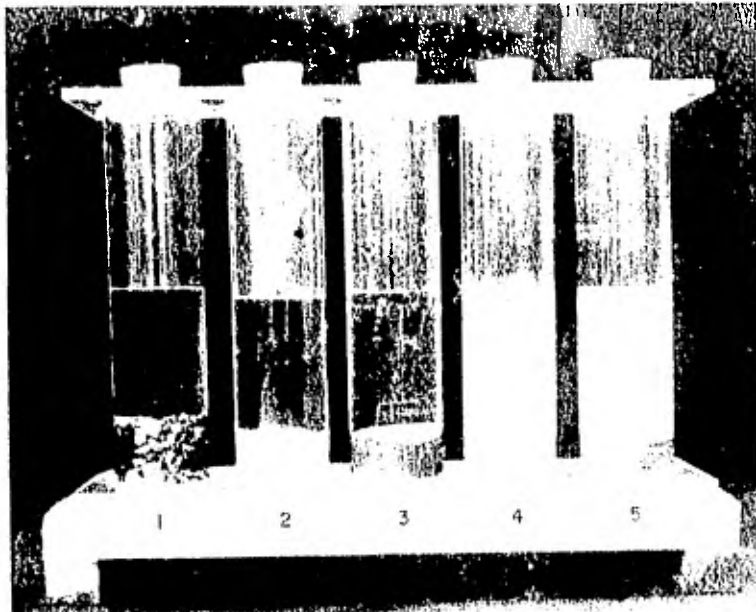


Foto 8.1 Materiales sedimentados sin flocculante

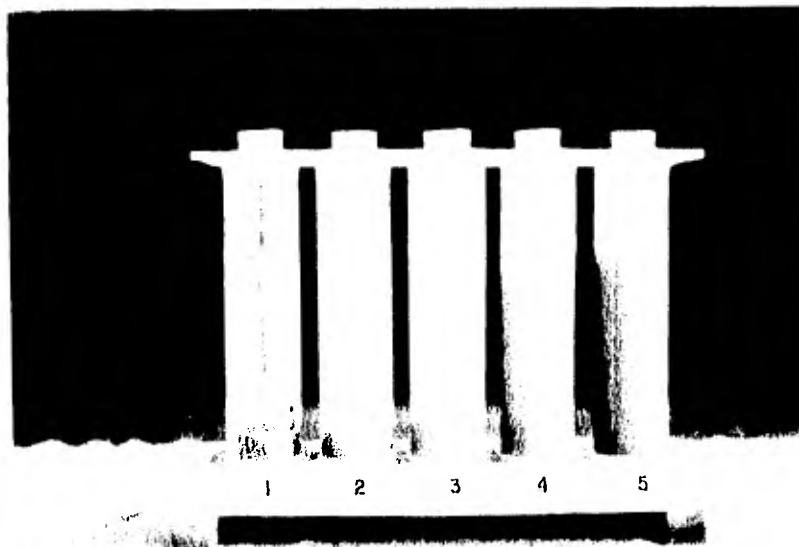


Foto 8.2 Sedimentación de los materiales, después de añadir deflocculante a las arcillas de las probetas 4 y 5 y de agitar las suspensiones

REFERENCIAS

1. Barber E. S. y R. S. Krizek, Soil Mechanics Demonstrations, III, C.P.M.S.I.F.
2. Juárez B. E y A. Rico, Mecánica de Suelos Tomo III, Flujo de Agua en Suelos.
3. Juárez B. E y A. Rico, Mecánica de Suelos Tomo II, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos.
4. Peck R. B., W. E. Hanson y T. H. Thornburn, Ingeniería de Cimentaciones
5. Maza A. S. A., Socavación en Cauces Naturales, Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México.
6. X Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Tomo I noviembre 1981.
7. Lambe W. T. y R. V. Whitman, Mecánica de Suelos.