



24
60
Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

"ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LA CORTINA DE
LA PRESA DE ALBA (MPIO. LEON GTO.)"

Tesis Profesional

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

Rogelio Jaime García
Herales

MEXICO, 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.



Universidad Nacional
Autónoma

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-338

Señor ROGELIO JAIME GARCIA PERALES,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. Ing. Francisco Zamora Millán, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA CORTINA DE LA
PRESA EL ALBA (MPIO. LEON GTO.)"

- I Introducción.
- II La presa El Alba. Descripción de proyecto y forma en que se efectuó.
- III Estudios de mecánica de suelos. Para obtener parámetros de resistencia, a partir de muestras inalteradas, extraídas de la cortina.
- IV Análisis de estabilidad.
- V Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con 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 Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI PAZA HARLARA EL ESPIBITU"
Cá. Universitaria, 19 de Julio de 1982
EL DIRECTOR

JAVIER JIMENEZ ESPINO

JJE/OBLH/ser

I N D I C E

	Pag.
DEDICATORIAS	
INDICE	
SIMBOLOGIA	
I.- INTRODUCCION	1
II.- La Presa El Alba (Descripción del proyecto y forma en que se efectuó).	5
Estudios Preliminares.	
a) Visita de inspección	5
b) Estudios socio-económicos.	5
c) Estudios técnicos.	5
c.1) Topográfico	6
c.2) Geológico.	6
c.3) Hidrológico	6
c.4) Agrológico.	7
c.5) Mecánica de suelos.	7
d) Anteproyecto.	7
Estudios Definitivos.	
c) Estudios técnicos.	8
c.1) Topográfico	9
c.2) Geológico.	9
c.3) Mecánica de suelos.	10

d) Proyecto definitivo	11
III.- Estudios de Mecánica de Suelos. Para Obte- ner Parámetros de Resistencia a Partir de - Muestras Inalteradas, Extraídas de la Corti- na.	12
a) Clasificación al tacto	12
b) Granulometría.	12
c) Límite Líquido	13
d) Límite Plástico.	13
e) Contenido de humedad	14
f) Prueba de compactación Proctor Estándar. . .	14
g) Peso volumétrico del material colocado . .	14
h) Peso específico relativo de sólidos. . . .	15
i) Triaxial Rápida-Rápida	15
j) Parámetros de resistencia.	15
IV.- Análisis de estabilidad.	17
A) Insuficiencia del vertedor.	17
B) Licuación.	17
C) Tubificación	19
D) Agrietamiento.	23
1) Por tensión normal.	26
2) Por desplazamientos	26
3) Por torsión.	27
E) Deslizamiento o desconchamiento de taludes. .	29

a) Por esfuerzos efectivos.	30
b) Por esfuerzos totales.	30
F) Asentamientos.	32
V.- Conclusiones	33
Fotos, Figuras y Tablas.	s/n
BIBLIOGRAFIA	34

o

o

o

S I M B O L O G I A

L_L	Límite Líquido
L_P	Límite Plástico
$I_p = L_L - L_P$	= Índice de Plasticidad
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	
D_{60}	= Es el diámetro en mm, para el cual el 60% de -- las partículas son menores que ese diámetro.
D_{10}	= Es el diámetro en milímetros, para el cual el -- 10% de las partículas son menores que ese diáme <u>tro</u> .
C_u	Coefficiente de uniformidad
γ'_{so}	Peso volumétrico seco óptimo del suelo por unidad de volumen total, en ton/m ³ .
w_o	Humedad óptima que tiene el suelo en el peso <u>volumétrico</u> óptimo seco, en por ciento.
c	Cohesión del material, en ton/m ² .
ϕ	Angulo de fricción interna del material, en 0°C.
W_f	Peso de la dovela, en tons.
α	Angulo que se forma en la intersección de la <u>lí</u> nea de acción de W_f y el plano de falla, 0°C --

S I M B O L O G I A

(aparece asociado al número de la dovela).

T_i	Fuerza tangencial resistente, en tons.
N_i	Fuerza normal que la dovela ejerce sobre el plano de falla, en tons.
l_i	Longitud de la dovela en dirección de la falla, en metros.
\bar{p}_i	Esfuerzo normal que provoca la dovela sobre el plano de falla, en ton/m^2 .
$\bar{\bar{p}}_i$	Esfuerzo normal efectivo que provoca la dovela sobre el plano de falla, en ton/m^2 .
U_i	Presión de poro, en tons/m^2 .
S_i	Esfuerzo cortante total, en ton/m^2 .
\bar{S}_i	Esfuerzo cortante total efectivo, en ton/m^2 .

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

Las necesidades de agua de la República Mexicana hacen necesario conservarla impidiendo se pierda sin -- uso, por lo cual se ha pensado desde tiempos prehispáni -- cos, en construir elementos de retención de ella, aun - cuando se han realizado muchas obras hidráulicas, no -- han sido las necesarias.

En 1954 se inició la construcción de bordos a es -- cala nacional, aprovechando equipos que con valor de -- 3 millones de pesos, fueron embargados por el Banco de Crédito Ejidal a deudores morosos.

Cinco años más tarde en el régimen del Presidente Lic. Adolfo López Mateos, se estableció que es facultad de la Secretaría de Agricultura y Ganadería proyectar y ejecutar obras de bordeo, correspondiendo a la Dirección General de Ingeniería Agrícola la realización de estos - programas hasta el año de 1971.

Las obras así realizadas, atendían solamente a - programas de máxima urgencia, tales como pequeños alma -- cenamientos aprovechables para: Auxilio de riego, abre -- vadero y parcialmente uso doméstico. El 80% de estas - obras se hacían a través de contratistas, asignándolas previo concurso.

En el sexenio (1970-1976) del Lic. Luis Echeverría Álvarez, se elaboró un plan para ejecutar masivamente --- este tipo de obras al cual se le llamó "Plan Decenal de

cial Benito Juárez".

Así bajo los principios de "retener el agua... conservar el agua... arraigar al hombre...", el 11 de mayo de 1972 se inicia este plan en la ciudad de Zacatecas, -- cuya finalidad como ya se dijo es de: Irrigación, abreva dero, y esporádicamente uso doméstico.

El mencionado plan, inicialmente se coordinó entre la Secretaría de Agricultura y Ganadería -a través de la Dirección del Plan Presidencial Benito Juárez- y los go-- biernos estatales; correspondiendo a la primera la admi-- nistración de los estudios, proyectos y supervisión de la construcción, y, a los segundos la administración y operación de los equipos.

Más tarde, el gobierno federal asume la adminis-- tración total del Plan, para aliviar la sangría al era-- rio público de los estados.

Fueron diez y siete los estados iniciadores de -- este Plan: Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Guerrero, México, Morelos, Michoacán, Nuevo León, -- Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Coahuila, Jalisco y Zacatecas. A todos se les habilitó de un equipo de trabajo excepto los tres últimos a los que les to-- caron dos.

Cada equipo constaba de:

- 2 tractores 4D-4 (Caterpillar)
- 1 Rodillo compactador "Pata de Cabra"
- 2 Camiones de redilas
- 1 Camión de volteo
- 4 Pipas
- 1 Equipo de topografía, dibujo y campamento.

En esta primera etapa del Plan Juárez, se benefició a 11,257 familias ejidatarias, a través de: 10,353 hectáreas de riego, abrevadero para 74,038 y 130,226 cabezas de ganado mayor y menor respectivamente.

Para la primera etapa el Gobierno Federal hizo una inversión de 80 millones de pesos en la compra de los 20 equipos, desconociéndose la inversión que se hizo a nivel estatal.

El 24 de febrero de 1973, en Torreón, Coah., se inicia la segunda fase del Plan Juárez, el que amplía su zona de trabajo en 5 estados más, pasando de 17 a 22. Fueron beneficiadas 43,000 familias a través de: 45,000 hectáreas de riego de auxilio, y, en algunas zonas donde las condiciones ecológicas lo permiten con riego completo, abrevadero para 212,000 y 412,000 cabezas de ganado mayor y menor respectivamente.

El presupuesto para esta segunda etapa fue de -- \$ 448'250,000.00, además de 200 millones en la adquisición de equipo para aumentar a 74 el total de ellos. A este presupuesto es necesario adicionarle la inversión por concepto de salarios, que resultaría aproximadamente de 18% para generar 3,600 jornales-año, abatiendo -- simultáneamente la desocupación en el medio rural.

Fue tan extenso y complejo el programa, que actualmente se desconocen todos los trabajos realizados, ya por desorganización, ya porque se niega la información que pudiese existir al respecto.

Lo extenso del programa resultó nefasto, porque todas las obras que se realizaron contaron con poca o nula supervisión por parte de Ingeniería Agrícola. Lo que necesariamente trajo infinidad de obras mal construidas que a duras penas cumplen parte del cometido propuesto.

Por este temor, se inició por parte de la Secretaría una revisión de las obras de este Plan. Los puntos II, III, IV y V constituyen el análisis de una de estas revisiones.

II.- LA PRESA "EL ALBA". DESCRIPCION DEL PROYECTO Y --
FORMA EN QUE SE EFECTUO.

En el ejido de Albarradones, Municipio de León, Gto., se construyó la presa de "El Alba" para aprove---
char el escurrimiento del arroyo "El Molino".

De los resultados del estudio de mecánica de sue
los hecho a muestras obtenidos del corazón de la corti-
na, se concluye que la cortina es de sección homogénea
impermeable, con un chapeo de enrocamiento sobre el ta-
lud aguas arriba.

El proyecto de "El Alba", debió iniciarse con --
unos estudios preliminares (no se sabe si se hicieron)
que consisten en lo siguiente:

- a) Visita de Inspección.- La que debió hacer una
persona experta en presas de tierra; al sitio
propuesto para ubicar la boquilla y el vaso -
aceptándolos, rechazándolos o proponiendo una
modificación.
- b) Estudios Socioeconómicos.- En ellos se debió
analizar someramente el incremento a la pro-
ducción agropecuaria, ganadera, y los benefi-
cios que ella traería tanto a nivel local co-
mo regional.

- c.1).- Topográfico.- Se debió estudiar a partir de planos muy generales, el vaso, la boquilla y la zona de riego. Aceptando, rechazando o proponiendo enmiendas a su localización.
- c.2).- Geológicos.- Se debió iniciar los estudios a partir de una carta geológica de la zona, comprobándose la misma con una visita del Geólogo a la zona de la boquilla y del vaso, para tomar nota de posibles accidentes no consignados en la carta geológica.
- c.3).- Hidrológicos.- Esta información se debió obtener al ubicar la subcuenca tributaria, dentro de una cuenca mayor de la que forma parte, o extrapolando información de otra vecina, o aforando directamente en el cauce (esta solución para ser aplicable necesitaría recoger información diaria durante varios años). El proceso preliminar de estos datos en combinación con la zona de riego y la topografía del vaso, da como resultado las dimensiones preliminares de la cortina y del vertedor, --

c.4).- Agrológicos.- Se debió obtener la calidad de la tierra, las posibilidades de los cultivos, el rendimiento de la siembra, la magnitud de la zona de riego, etc. Aparentemente estos estudios eran los más sencillos de realizar, en este caso de la Presa del Alba, -- puesto que la zona de riego es -- una loma que se ve uniforme en -- cuanto a color y calidad aparente de sus tierras, una estimación -- acertada se puede realizar a partir de 3 ó 4 muestras --no se sabe si se realizaron estos estudios--.

c.5).- Mecánica de Suelos.- Se debió obtener la localización del Banco de Préstamo, volumen del mismo, distancia entre él y la boquilla, pruebas de campo para identificación tales como; reacción al agitado, resistencia en estado seco, tenacidad. Y tal vez algún pozo a cielo abierto en la boquilla.

d) Anteproyecto.- De los estudios preliminares se debe preparar un anteproyecto.

No se conoce si en los bordos del Plan Presidencial Benito Juárez se realizaron las etapas señaladas para el anteproyecto porque, -- la información que pudiese existir al respecto en la oficina pública correspondiente, se niega sistemáticamente. Se hayan realizado o no las etapas del proyecto, el hecho es que -- la Presa del Alba está terminada.

ESTUDIOS DEFINITIVOS.- Desconociéndose si en la Presa del Alba se realizaron o no estudios definitivos, se presentan las observaciones de la visita efectuada -- por el autor de este trabajo y se analizan fotografias del sitio.

Estudios Técnicos.

Dado que no se contó con información, en la visita realizada se obtuvieron las fotos 1 y 2 (fotos al final del trabajo), de ellas se desprende:

- 1ª) La capacidad del vaso no está aprovechada al máximo.
- 2ª) La captación de agua de la lluvia con el proyecto ejecutado probablemente sea la apropiada, porque información recabada en la zona indica que la obra de demasías ha vertido una vez en 6 años.

De 1 y 2 se puede inferir que la capacidad del --

vaso se fijó por el tamaño de zona de riego posible.

c).- Topográfico.- El levantamiento del vaso, boquilla y zona de riego con la respectiva liga entre ellos, debió haberse hecho para fundamentar: La capacidad del vaso, la altura de la cortina, el volumen de materiales para construir la cortina, la localización del vertedor, la longitud y localización de los canales principal y secundarios dentro de la zona de riego, así como el volumen de obra dentro de la propia zona de riego, y, por último los caminos de acceso tanto a la boquilla como a los Bancos de Préstamos y su intercomunicación para con estos estimados obtener la factibilidad económica de la obra.

d).- Geológicos.- El estudio de geología debe señalar dónde se puede colocar y dónde no se puede colocar las estructuras del proyecto; en caso de ser necesario alguna en un sitio no apropiado, es necesario mejorar el lugar con los refuerzos necesarios, -no se sabe si se hizo el análisis o nó-. Las fotos 3, 4 y 5 muestran al vertedor localizado sobre -

material arenoso con un simple chapeo de -- piedra acomodada, y, sin mortero alguno de - liga (ver fotos 6 y 7). En cuanto al canal de excedencias, corrió la misma suerte como se puede ver en las fotos 8 y 9.

e).- Mecánica de Suelos.- Terminados los estudios preliminares y desde el momento en que se - decidió continuar con el proyecto, se debió haber hecho:

1º.- Un plano de localización de Bancos de Préstamo, con los pozos exploratorios y sus respectivas profundidades, conociéndose así el volumen de los bancos y la distancia media entre ellos y la cortina.

2º.- Un estudio de las propiedades mecáni-- cas de los materiales de préstamo, pa-- ra después revisar la cortina en pro-- yecto a las posibles fallas por: asen-- tamientos, licuación, tubificación, -- agrietamiento y deslizamiento de talu-- des. Estos estudios generalmente se - realizan sobre la sección máxima pro-- puesta de la cortina en proyecto.

No se sabe si se realizaron o no estas

la Presa del Alba se llevó a cabo el estudio de suelos y de la estabilidad de la cortina, estudios que constituyen la parte principal de esta tesis.

d).- Proyecto Definitivo.- Es la acumulación de los estudios definitivos, que vaciados a planos deben servir como norma de construcción, pues en ellos se dan las especificaciones y procedimientos constructivos -La información de este proyecto en particular se ignora si se hizo-. Para realizar el análisis del proyecto, desde el punto de vista geotécnico, el autor de esta tesis recabó de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos los datos que se muestran en las figuras 2, 3, 4, 5, y 6 así como los planos 1, 2, 3, y 4; y obtuvo personalmente las figuras 1, 7 y 8.

III.- ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS PARA OBTENER PARAMETROS DE RESISTENCIA, A PARTIR DE MUESTRAS INALTERADAS, EXTRAIDAS DE LA CORTINA.

Se inician con la visita de un experto en la materia, para conocer las dimensiones de la cortina, a partir de las cuales optar por el tipo de equipo muestreador, el que deberá obtener muestras confiables inalteradas de todo el perfil de la cortina.

Obtenidas las muestras, se procede a su traslado al laboratorio, donde se guardarán en una bodega cerrada fresca, que cuente con un alumbrado constante a base de lámparas de luz ultravioleta, lo que evita el crecimiento de hongos en su exterior.

El estudio en laboratorio de las muestras de la cortina se hizo de la siguiente manera:

- a) Clasificación al Tacto.- A partir del cual se realiza la clasificación preliminar del material, para construir el perfil estratigráfico tentativo.
- b) Granulometría.- Estudio que se lleva a cabo mediante el uso de cribas, dando como resultado final la gráfica granulométrica, a partir de la cual se puede emitir un juicio aproximado sobre el comportamiento del suelo ante so-

c) Límite Líquido.- Esta prueba que se le hace a los suelos que pasan la malla # 40, da el contenido de humedad, en por ciento del peso del suelo seco para el cual dos secciones de una pasta de suelo -con ciertas dimensiones-, alcanzan apenas a tocarse sin unirse, cuando la taza que las contiene es sometida al impacto de 25 golpes verticales. Se ha encontrado - que para este estado, todo suelo tiene una --resistencia al esfuerzo constante debida a la cohesión de 25 gr/cm^2 .

d) Límite Plástico.- Aplicable a los materiales iguales a los enunciados en el inciso ante---rior. Es el contenido de humedad en por ---ciento del peso del suelo para el cual el suelo comienza a fracturarse cuando es amasado - en pequeños cilindros de 3 mm., haciendo ro--dar la masa de suelo entre la mano y una su--perficie lisa de vidrio.

La diferencia entre los valores de esos -límites da como resultado el "índice de plas--ticidad" (I_p).

Conocidos el límite líquido y el índice -de plasticidad, se procede a ubicar el mate--rial dentro de la Carta de Plasticidad -ideada

y formada por A. Casagrande-, y clasificar - el suelo.

e) Contenido de Humedad.- Es la cantidad de agua que tiene el suelo del cuerpo de la cortina, - y se coteja con el obtenido en la prueba de - compactación "Proctor".

f) Compactación Proctor Estándar.- Se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo, que ha sido compactado por - un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Esta prueba tiene por objeto:

f.1).- Determinar el peso volumétrico seco -- óptimo (γ'_s) que puede alcanzar un ma-terial, así como la humedad óptima (w_o) que tiene el suelo en ese peso volumé-trico.

f.2).- Determinar el Grado de Compactación -- que tiene actualmente la Cortina.

g) Peso Volumétrico del Material Colocado.- Los resultados de esta prueba deben compararse -- con los obtenidos en la Prueba de Compacta--ción Proctor Estándar, para juzgar su calidad

h) Peso Específico Relativo de Sólidos (Ss.).-

Se define como: $S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o}$

donde: γ_s = Peso volumétrico de sólidos

γ_o = Peso volumétrico del agua destilada.

i) Triaxial Rápida-Rápida.- A partir de las muestras inalteradas obtenidas en campo, se procede a realizar la prueba que consiste en:

1.1).- Labrar un lote de 4 probetas cilíndricas para cada punto de interés -ellas tienen ciertas dimensiones-.

1.2).- Saturación de ellas cuando menos durante 24 horas. Con ello se considera -- que se ha saturado la cortina, que es el caso crítico.

1.3).- Se prueban una por una, incrementando la presión de confinamiento para todas las probetas de cada lote -esta prueba es sin drenaje-.

j) Parámetros de Resistencia.- Teniendo en cuenta los puntos f, h e i, se procede a la obtención del ángulo de fricción interna del material - (ϕ), y, simultáneamente se obtiene la cohesión. (C).

Los valores de θ y de C se sustituyen en la ecuación de Coulomb $S = C + \bar{V} (\text{tg } \theta)$, dando como resultado el poder conocer las fuerzas resistentes en el análisis de estabilidad y que se comparan con las fuerzas motoras.

El análisis por deslizamiento llamado de Dovelas o Sueco se estudia posteriormente.

IV.- ANALISIS DE ESTABILIDAD.

A partir de estudios realizados, se sabe -- que las posibles fallas de una cortina flexible son las siguientes:

- A).- Insuficiencia del vertedor.
- B).- Licuación.
- C).- Tubificación.
- D).- Agrietamiento.
- E).- Deslizamiento de taludes.
- F).- Asentamientos.

A).- Insuficiencia del vertedor.- El análisis y diseño del vertedor compete exclusivamente a la hidrología, y, puesto que revisaremos la cortina desde el punto de vista de mecánica de suelos, este análisis cae -- fuera de nuestro estudio.

B).- Licuación.- La falla por licuación "consiste en la pérdida rápida de la resistencia al esfuerzo cortante temporal o definitiva", se presenta en una forma tal que el material no desliza sobre planos, sino -- que toda la masa de suelo (durante unos instantes) fluye como un líquido, pudiendo presentarse taludes hasta de 10:1. Al ocurrir fallas de este tipo el material se comporta como fluido por lo que también a esta falla se le conoce como "falla por fluido" (ver fig. 10 A)

Los suelos susceptibles a este tipo de falla,-- son los finos no plásticos de estructura suelta que al saturarse fallan (arenas finas uniformes, limos no plásticos o de poca plasticidad, una combinación de ambos - limos, las arenas cuyo diámetro efectivo $D_{10} < 0.1$ mm. y $C_u < 5$, limos con $I_p < 6$). Algunas de las causas que provocan estas fallas más frecuentes son: Sismos, explosiones, el reacomodo de la cimentación (en caso de ser compresible el subsuelo) o de partículas internas - del cuerpo de la cortina.

La pérdida por resistencia se puede presentar - como: Decremento de los esfuerzos efectivos actuantes, por aumento de la presión de poro, lo que puede traer - como consecuencia un colapso estructural rápido (ver -- figura 9B).

Revisando la cortina en base a los estudios de mecánica de suelos, tenemos:

Teoría: $D_{10} < 0.1$ mm

$C_u < 5$

Obtenido $0.074 \leq D_{70} \leq 0.149$ mm

$\therefore D_{70} \gg \gg (D_{10} < 0.1 \text{ mm})$

$$\frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.074}{0.001} = 74 \gg \gg \gg 5$$

De donde D_{10} es un valor supuesto.

\therefore Por licuación la cortina es --

c).- Tubificación.- Todas las cortinas flexi---bles presentan un corazón relativamente impermeable, a través del cual se forma una red de flujo (fig. 10), la cual se puede modificar si se cambian las dimensiones o la colocación del corazón o si se introducen filtros -- dentro del mismo. Por medio de esa red de flujo se --- puede medir la energía que pierde el agua a través del corazón debido a la oposición que el mismo presenta, y, por ende la energía final en el talud abajas abajo o al hacer contacto con filtros internos. Esa energía final se trabaja en forma de gradiente hidráulico ($i_m = \frac{\Delta h}{\Delta L}$), -

que al compararlo con el gradiente hidráulico crítico - preestablecido ($i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \approx 1$), se llega a la siguiente expresión $F_{s/tubif} = \frac{i_{cr}}{i_m} \approx \frac{1}{i_m} \geq 5$ según Marsal

donde i_m = gradiente hidráulico máximo en el punto

i_{cr} = gradiente hidráulico crítico

Δh = pérdida de carga entre dos equipotenciales - consecutivas.

ΔL = Longitud entre dos equipotenciales consecu--tivas.

γ' = Peso volumétrico sumergido del material.

γ_w = Peso volumétrico del agua.

$F_{s/tubif}$ = Factor de seguridad a la tubificación.

Aplicando la expresión $F_{s/tubif}$ a el proyecto "El Alba" tenemos que:

$$i_{cr} \approx 1$$

$$i_m = \frac{8.60}{15 \times 1.56} = 0.37$$

$$F_{s/tubif} = \frac{1}{0.37} = 2.70$$

Aunque el valor de la relación es menor que 5 - se acepta.

Si el valor de la relación hubiese sido igual o menor que uno, la cortina estaría en peligro de falla - incipiente a la tubificación, la que se presenta inicialmente con el arrastre de los materiales ubicados en la zona estudiada, para después continuar (el arrastre), - en forma de tubo hacia el interior de la cortina, poniendo en peligro su estabilidad y a veces llevándola a la falla total (las figuras 10A, 10B y 10C, muestran la formación del tubo y su prevención mediante el uso de - filtros aguas abajo).

En base a estudios de cortinas que presentaron esta falla, se ha logrado clasificar el tipo de suelos que las formaban y que son: friccionantes, friccionantes finos permeables sin cimentación con $l_p < 10\%$, los suelos que además de cumplir el requisito anterior, son

tiene en las figuras 11 y 12.

Esos estudios también demostraron que parte de las fallas se deben a compactaciones deficientes hechas del lado seco del óptimo, lo que provocó lavado de sales al suelo y como consecuencia el flujo del mismo.

Otra causa importante se debe también a la existencia de estructura rígidas dentro del cuerpo de la cortina.

Todos estos estudios han conducido a expresiones "científico-empíricas". Una de ellas es la que se aplicó anteriormente.

S.A.R.H. propone para almacenamientos medianos la siguiente ecuación:

$$F_{s/tubif} = \frac{2C}{C_t + i} > 3$$

donde $F_{s/tubif}$ = factor de seguridad a la tubificación, adimensional.

C = Cohesión, en tons/m^2

C_t = Componente tangencial del peso de una partícula de material con volumen unitario, en tons.

i = Gradiente hidráulico, adimensional
= $\frac{\Delta h}{L_c}$

$$\text{Donde } \Delta h = \frac{H}{N_c}$$

H = Carga hidráulica total, en m.

N_c = Número de caídas de potencial, adimensional.

L_c = Longitud total del cuadro de frontera analizado, en m.

Si $F_{s/tubif} > 3$, solo se debe colocar material de transición.

Si $F_{s/tubif} < 3$, deberá diseñarse un filtro de acuerdo a la fig. 13A.

Aplicando el criterio de S.A.R.H. a la Presa del Alba tenemos:

$$F_{s/tubif} = \frac{2 (2.5)}{(1.8 \times \text{tg } 5^\circ) + 0.5} = 7.61$$

$\therefore 7.61 \gg 3$ "Solo se debe colocar material de transición".

Los bancos de materiales para formar el filtro - difícilmente presentan una graduación siquiera regular, y como diseñarlo en la obra resulta en general con un costo prohibitivo, S.A.R.H., ha optado por otra solución siempre y cuando:

a) No exista riesgo de agrietamiento.

b) La zona impermeable de la presa esté formada por arcillas de mediana a alta plasticidad, con talud mayor que 0.75 : 1, con objeto de que el gradiente hidráulico a la salida no sea capaz de producir arrastre de la arcilla; la solución que ha dado bastante buenos resultados es la de usar la "rezaga" como filtro.

"Rezaga" es el material fino producto de la explotación de un banco de roca. Algunas formas de colocar el filtro o rezaga en la cortina las tenemos en las figuras 10B y 10C.

D).- Agrietamiento.- Arthur Casagrande hace más de 20 años ya señalaba que la presencia de grietas en presas de tierra podía llegar a ser un problema serio.

Hasta hace poco tiempo se creía que esta falla se asociaba a presas mal construidas o cuando las condiciones geológicas y/o topográficas eran adversas. Sin embargo, la observación de presas agrietadas que habían sido bien construidas modificó la creencia inicial para reconocer que el agrietamiento es un problema común a las presas flexibles.

Pope (1967), Patrick (1967), Marsal y Ramírez de A. (1967), demuestran que las grietas ocurren por lo

El proceso se inicia durante el período primario de llenado del vaso, acelerando los asentamientos por saturación tanto de la cortina como de la cimentación (en este caso es roca). Por lo que en el problema que se analiza, el enfoque corresponde solo a la cortina -- que es de sección homogénea.

Las grietas ocurren principalmente sobre la --- cresta y en los taludes de la cortina, aunque perforaciones exploratorias demuestran que también se agrietan interiormente (estas grietas pueden resultar más peli-- grosas).

De acuerdo a la posición que guardan las grietas con respecto al eje de la cortina, se les conoce como "transversales y longitudinales", "exteriores e interiores".

Las grietas transversales externas o internas - resultan el caso más serio, ya que a través de ellas -- puede fluir el líquido degenerando el problema en uno - de tubificación. Generalmente estas grietas aparecen - en laderas escarpadas, por lo que en nuestro caso no se ve afectado.

La grieta longitudinal tanto externa como interna se propaga en la frontera de materiales que sufren - diferentes deformaciones.

La experiencia de 23 presas observadas por Sherard (1952), dió la pauta para dilucidar las principales causas del agrietamiento que 6 de ellas presentaron:

- a) Bajo contenido de agua en los materiales -- flexibles al tiempo de construir.
- b) Laderas escarpadas donde los materiales de construcción en orden decreciente susceptibles al agrietamiento resultan ser:
 - 1.- Limos inorgánicos y arcillas de baja a mediana plasticidad ($D_{50} = 0.02$ mm, $I_p = 15$).
 - 2.- Limos inorgánicos de baja compresibilidad y arenas finas.
 - 3.- Arenas y gravas con finos plásticos.
 - 4.- Arenas y gravas con finos no plásticos.
 - 5.- Limos inorgánicos y arcillas de baja a media plasticidad ($D_{50} = 0.02$ mm, $I_p = 20$)
 - 6.- Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.

Tamez y Springal (1960) llegaron a conclusiones similares a Sherard en cuanto a susceptibilidad.

Sainz Ortiz (1967) estudió el caso de un terra

un estrato de arcilla blanda; el citado terraplén presentó grietas longitudinales debido a grandes deformaciones que el mismo sufrió al deformarse la arcilla blanda.

Las grietas son el producto de esfuerzos cortantes que se generan por tres diferentes modos que son los siguientes: figuras 14A y 14B.

- 1.- "Por la tensión normal a que se someten dos superficies en contacto en su cara común", - ocurre generalmente: en las partes superiores de cortes verticales, en la base de terraplenes que descansan sobre una cimentación más deformable, en la corona de las presas de tierra y enrocamiento cerca de las laderas, internamente próximo a cambios abruptos en la pendiente de la ladera, también donde existen capas alternadas de materiales con propiedades esfuerzo-deformación diferentes; estas grietas aparecen casi siempre durante el período constructivo o al final del mismo, aunque también es una posible consecuencia de fuerzas dinámicas.
- 2.- "Por desplazamientos"; las superficies de las grietas se deslizan una sobre otra en -

dirección perpendicular a la arista de la grieta, y es causada por esfuerzos cortantes en la dirección del movimiento. Puede ocurrir también bajo condiciones planas de esfuerzo o deformación unitaria.

- 3.- "Por Torsión"; es una combinación de los casos 1 y 2. Se ha observado que la mayoría de estas fallas se inician: con grietas por tensión normal (causa 1) para arcillas blandas durante el proceso constructivo o al final de éste, después de muchos años si la arcilla de cimentación es preconsolidada.

Los esfuerzos que provocan agrietamiento los podemos asociar con alguno de los siguientes factores:

- a) Deformaciones debidas a peso propio de los materiales de la presa o en la cimentación.
- b) Cambios abruptos en la sección transversal del valle.
- c) Grandes deformaciones causadas por saturación de los materiales de la presa.
- d) Alta velocidad de deformación provocada

mente si los materiales sufren movimientos substanciales cuando se saturan.

e) Esfuerzos transitorios inducidos por temblores u otro tipo de carga dinámica.

f) Diferencias importantes en las propiedades mecánicas de los materiales en zonas o capas adyacentes.

Todo lo anterior lleva a adoptar las siguientes consideraciones para prevenir fallas por agrietamiento:

1).- Colocar los materiales de la zona impermeable dentro del rango 92-95% de peso volumétrico Proctor. De este modo se logra reducir la compresibilidad de los suelos y por consiguiente los asentamientos por compresión del terraplén.

2).- El grado de saturación que se obtenga al colocar los suelos impermeables, influye notablemente en la proporción del asentamiento total originado por compresión del terraplén. Es conveniente por esto lograr una saturación del material a colocar dentro del rango 92-97%.

Estas dos últimas consideraciones en vista de que el almacenamiento es pequeño y que por lo mismo difícilmente se saturará la cortina.

De las consideraciones discutidas en cuanto al agrietamiento, las dos últimas son aplicables al caso particular estudiado, dado que la compactación y la saturación con que se construyó la cortina están muy por debajo de ellos, aunque la cortina se ha comportado --- aparentemente bien, y posiblemente en el futuro seguirá igual por ser tan pequeña la altura de la sección máxima y porque las arcillas van de una plasticidad media a una plasticidad alta (ver planos del 1 al 4).

E).- Deslizamiento o Desconchamiento de Taludes.-
Fellenius y su equipo de investigadores estudiaron el fenómeno, tomando como base la falla ocurrida a muchos taludes formados por suelos cohesivo-friccionantes, los que deslizaron en forma de concha. Para efecto de análisis se idealizaron esos planos de falla con otros de forma cilíndrica, cuyas fuerzas motoras (peso de la dome la arriba de la línea de falla, sismo, fuerzas de filtración, etc.), provocan un giro teórico respecto a la vertical del eje del cilindro. Esas fuerzas motoras se equilibran, con las fuerzas resistentes que obran en ese posible plano de falla y cuyas magnitudes se calculan, haciendo uso de la ecuación de "Coulomb", la que toma en cuenta las propiedades mecánicas del suelo allí existentes.

miento de la Presa del Alba, se hizo uso del método Sueco (como también se le conoce al método de Fellenius), - con dos variantes válidas a las fuerzas motora-resistente, las que se comprueban mutuamente y que son:

- a).- "Esfuerzos Efectivos", que tiene en cuenta el peso del suelo húmedo, más el peso del suelo sumergido -solo el que está dentro de la red de flujo-, más la deducción de la presión de poro.
- b).- "Esfuerzos Totales", se analiza con el peso del suelo húmedo sin tener en cuenta si se halla fuera o dentro de la red de flujo, más el efecto de una fuerza de filtración provocada por el flujo a través de la masa de suelo, dicha fuerza de filtración existe en toda la masa de suelo sujeta a flujo pero solo se consideran las que se localizan dentro del cilindro en estudio y tienen la dirección del flujo.

La ecuación de Coulomb como sabemos es la siguiente:

$$\text{Para esfuerzos totales } S = C + \bar{V} (\text{tg } \theta)$$

$$\text{Para esfuerzos efvos. } \bar{S} = C + (\bar{V} - U)(\text{tg } \theta)$$

Donde S = Esfuerzo cortante total, en tons/m²,

\bar{S} = Esfuerzo cortante efectivo, en ton/m².

C = Cohesión del suelo, en ton/m².

\bar{V} = Esfuerzo normal en el plano de falla en estudio, --
en tn/m².

U = Presión de poro, en ton/m².

ϕ = Angulo de fricción interno del suelo, en grados C.

α = Angulo que aparece al lado del número de Dovelas --
(Ver tablas).

R = Radio del círculo en estudio.

Factor de seguridad:

Con esfuerzos totales

$$F_s = \frac{\sum_{(i)} (S_i L_i) R}{\left(\sum_{(i)} T_i \right) (R) + \sum_{(i)} (F_{f_i} R_i)} \geq 1.3$$

Con esfuerzos efectivos

$$F_s = \frac{\sum_{(i)} \bar{S}_i L_i}{\sum_{(i)} T_i} \geq 1.3$$

NOTA:- La simbología se puede ver en el plano No. 6.

El cálculo del valor del factor de seguridad, -
para diferentes círculos ya sea con esfuerzos totales o
efectivos, se consigna en las tablas 6 a 25. Dichos --
cálculos se hicieron con valores: medios, mínimos y má-
ximos de C y ϕ .

"Medios" en los que simple y llanamente se obtuvo la media aritmética total, discriminando los valores extremos.

"Mínimos" valores que comprenden el rango de la media aritmética total y menores a los que a su vez se les obtuvo la media (previa discriminación de valores - extremos), misma que recibió el valor de mínimos.

"Máximos", valores que comprenden el rango de la media aritmética total y mayores a los que a su vez se les obtuvo su media (previa discriminación de valores - extremos), misma que recibió el valor de máximo.

Las figuras 13b, 14c, 15 y 16 serán como complemento para el análisis y construcción de cualquier --- presa flexible.

F).- Asentamientos.- En las figuras 2, 3, 4, 5 y 6 se advierte que la cortina está cimentada sobre roca masiva, razón por la cual no es necesaria la discusión y revisión a esta posible falla.

V.- CONCLUSIONES.-

La revisión de la Presa El Alba dió los siguientes resultados:

Vertedor.- Hidráulicamente se supone que es --- aceptable, aunque se haya localizado sobre suelos arenosos sin más protección que un chapeo de piedra acumulada, es por ello que se propone revestirlo de concreto armado. En cuanto al canal de excelencias que se ha -- visto sometido a los efectos de la erosión (por hallarse ubicado sobre suelos gravo-arenosos y puesto que este fenómeno retroactiva hacia el vertedor), también se propone revestirlo de concreto armado, aunque sea par-- cialmente en la colindancia con la cubeta deflectora u otra estructura eliminadora de energía hidráulica.

La cortina en cuanto a: licuación, tubificación, agrietamiento, estabilidad de taludes y asentamientos - resulta estable según se fue demostrando para cada caso en particular. La única enmienda que se le propone es la de proteger la corona y el talud aguas abajo, mediante un revestido a base de terracería y la siembra de -- césped respectivamente, evitando así la pérdida de humedad y el peligro de agrietamiento.

B I B L I O G R A F I A

DIARIO DE MEXICO
Edición Especial XXIII Aniversario, 1973.

INGENIERIA DE SUELOS
Vol. I,
Rico-Castillo.
Edición 1976.

MECANICA DE SUELOS II
Juárez Badillo - Rico Rodríguez

SIMPOSIUM SOBRE ALMACENAMIENTOS PEQUEÑOS
México, Agosto de 1975.

SIMPOSIUM SOBRE ALMACENAMIENTOS PEQUEÑOS
México, Agosto de 1976.

PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO
Marzal-Reséndiz
Edición 1975.

PRIMER CONGRESO DE MECANICA DE SUELOS Y
CIMENTACIONES, VOLUMEN II.
Edición 1960.

REVISTA INGENIERIA HIDRAULICA, VOL. VI
No. 4, Edición 1977.

REVISTA INGENIERIA HIDRAULICA
"PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION
DE PRESAS DE TIERRA".
Enrique Tamez González
Edición 1965.

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS S.A.R.H.
Figuras 2,3,4,5, y 6.
Planos 1, 2, 3, y 4.



Foto # 1

Vista del Vaso-Cortina



Foto # 2

Vista del Vaso



Foto # 3

Vista del Vaso

Vista del Vaso



Foto 4
Vista del vertedor.



Foto 5
Detalle del Vertedor.



Foto 6
Detalle del Vertedor.

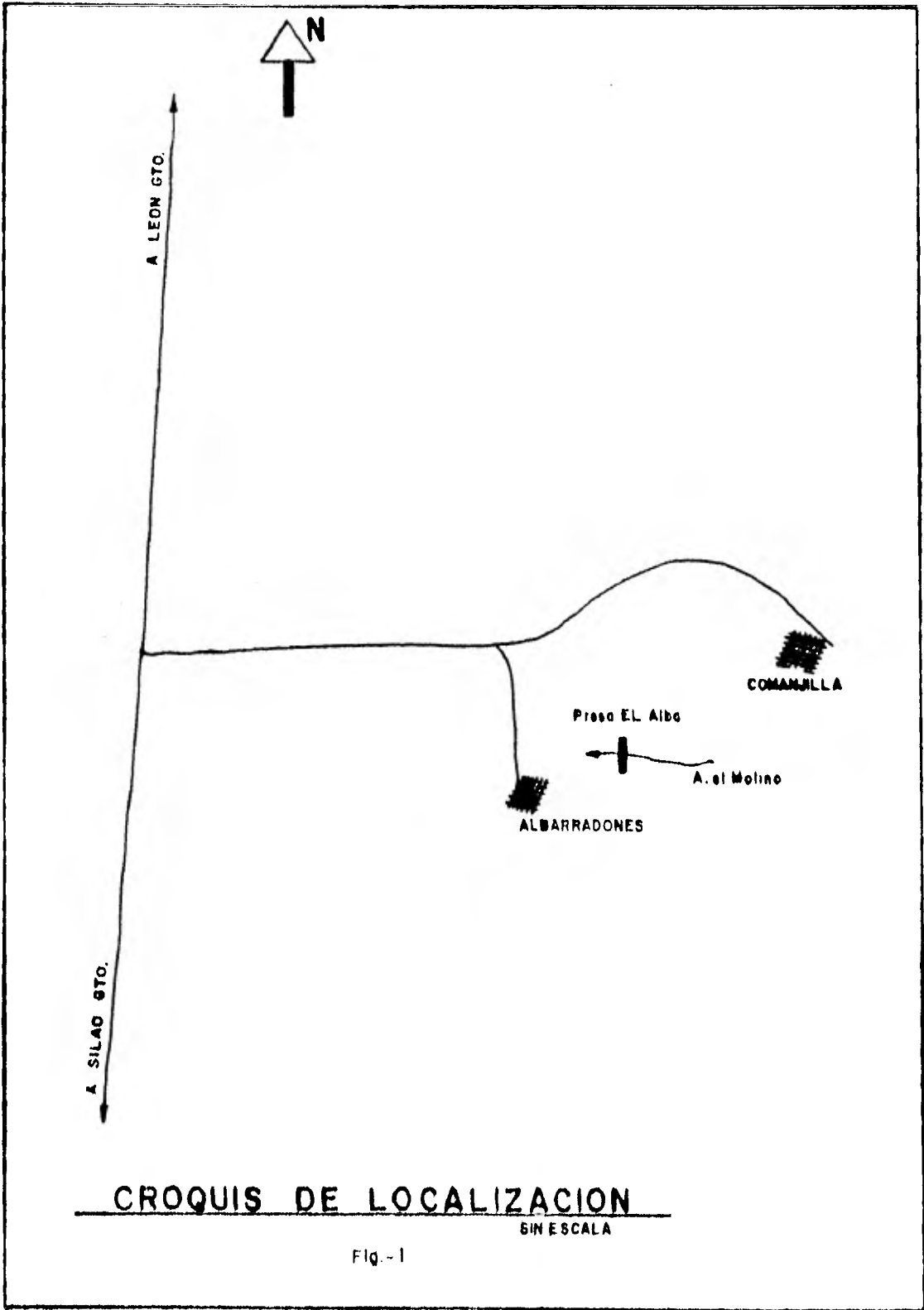


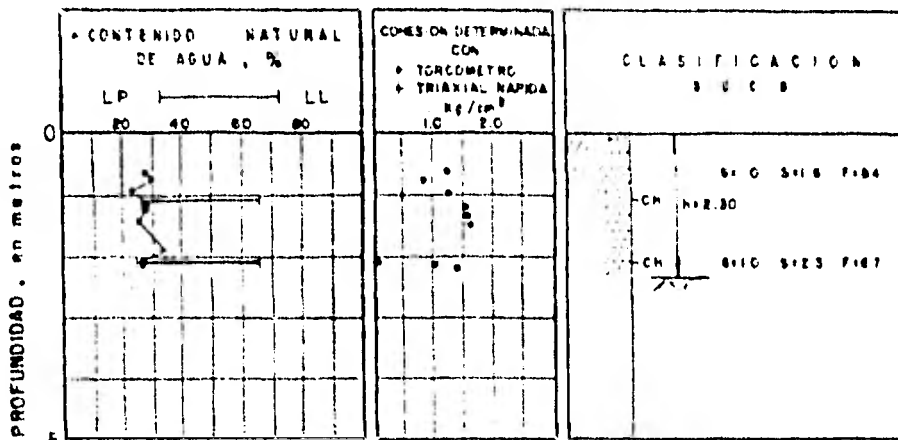
Foto 7
Plantilla del vertedor.

Foto 8
Vista del canal de
excedencias.



Foto 9
Acercamiento del canal de
excedencias.





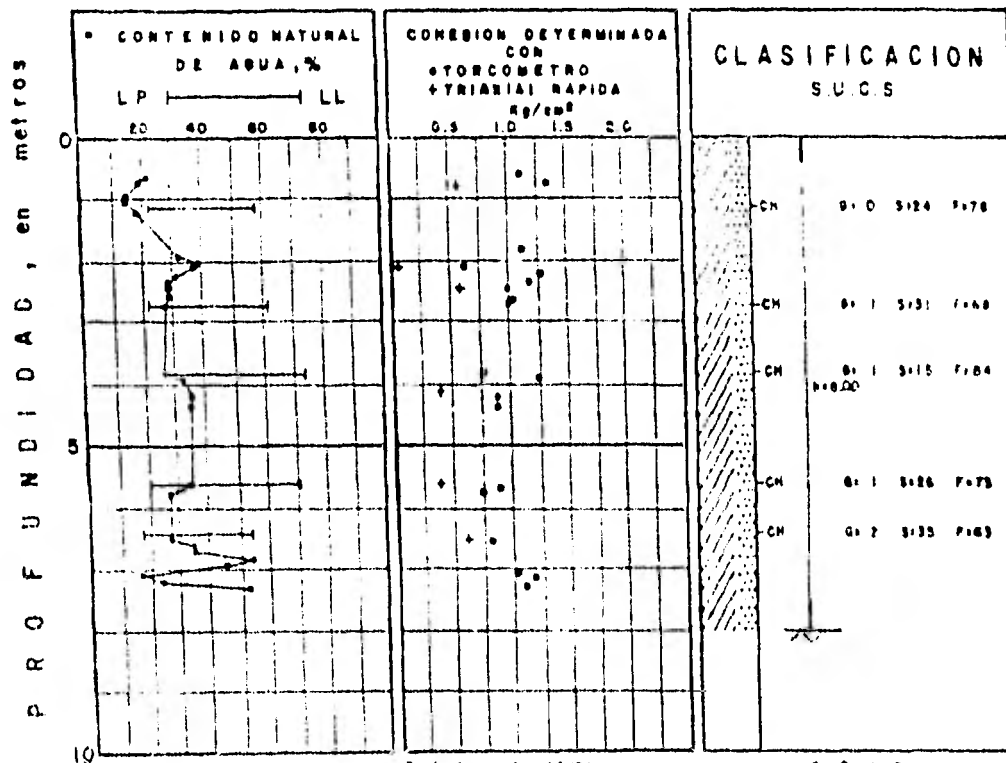
Prof. de sondeo S 90m

61% de Grava
51% de Arena
F104 de Fines
F: Altura de la
columna, en m

SIMBOLOGIA:

- RELLENO
- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA

PRESA EL ALBA		
ESTUDIO DEL SUBSUELO		
PERFIL ESTRATIGRAFICO		
SONDEO S-1		
FIG 2		MEXICO, D F



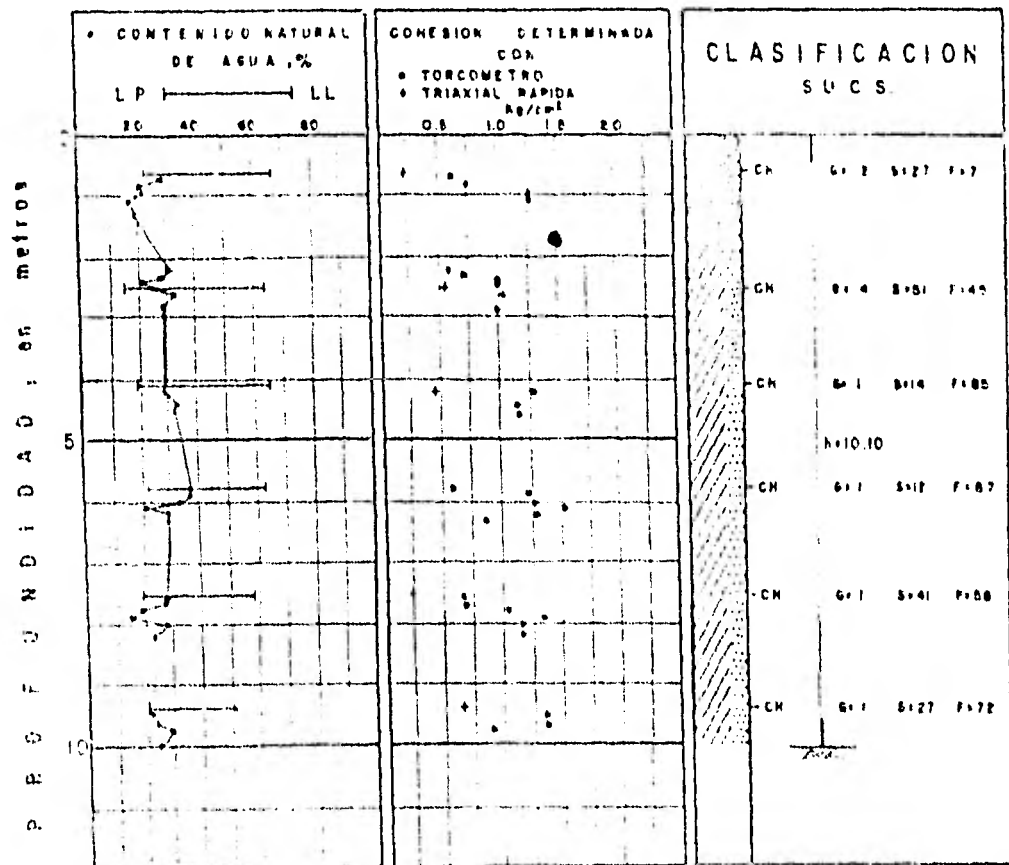
Perfil del sondeo 1215m

G = % de arena
 S = % de limo
 P = % de finos
 h = Altura de la columna, en m.

SIMBOLOGIA:

-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

PRESA EL ALBA		
ESTUDIO DEL SUBSUELO		
PERFIL ESTRATIGRAFICO		
SONDEO S-2		
FIG. 3		MEXICO, D.F.



Perfil del sondeo 1B 10m.

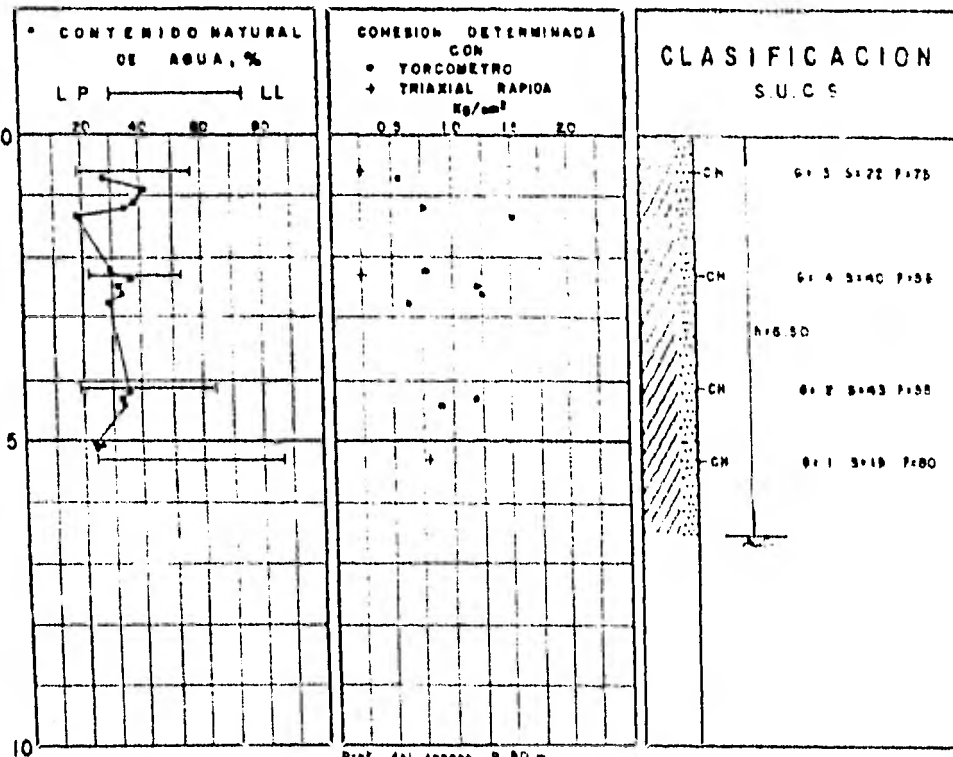
G: % de Grava
 S: % de Arena
 F: % de Fines
 1: Alrededor de 10
 2: 1-10, 50-100

SIMBOLOGIA:

- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVE

PRESA EL ALBA		
ESTUDIO DEL		SUBSUELO
PERFIL		ESTRATIGRAFICO
SONDEO		S-3
FIG 4		MEXICO, D.F.





P R O F U N D I D A D , e n m e t r o s



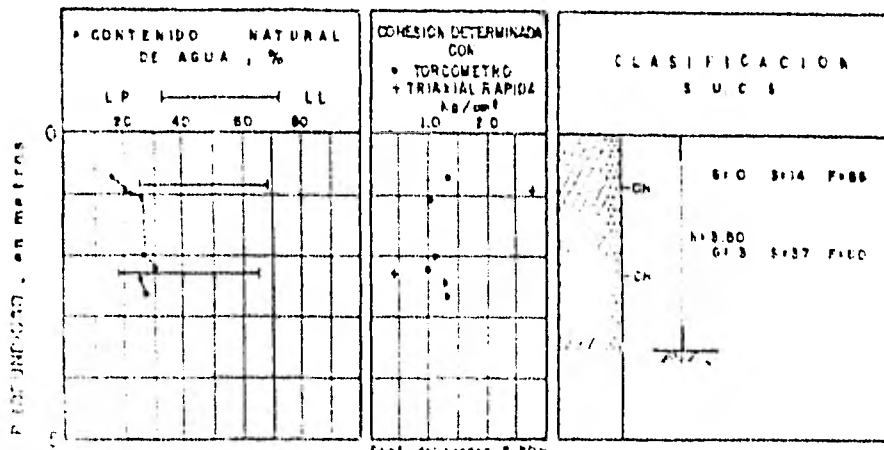
Prof. del sondeo 9 90 m.

G+ % de Graso
 S+ % de Arena
 F+ % de Fines
 h = Altura de la cortina, en m.

SIMBOLOGIA:

-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

PRESA EL ALBA		
ESTUDIO DEL		SUBSUELO
PERFIL		ESTRATIGRAFICO
SONDEO 5-4		
FIG 5		MEXICO, D.F.



Prof. del sondeo S. 20W

G% de Grava
S% de Arena
P% de Fines
M. Altura de la
cortina, etc.

SIMBOLOGIA:

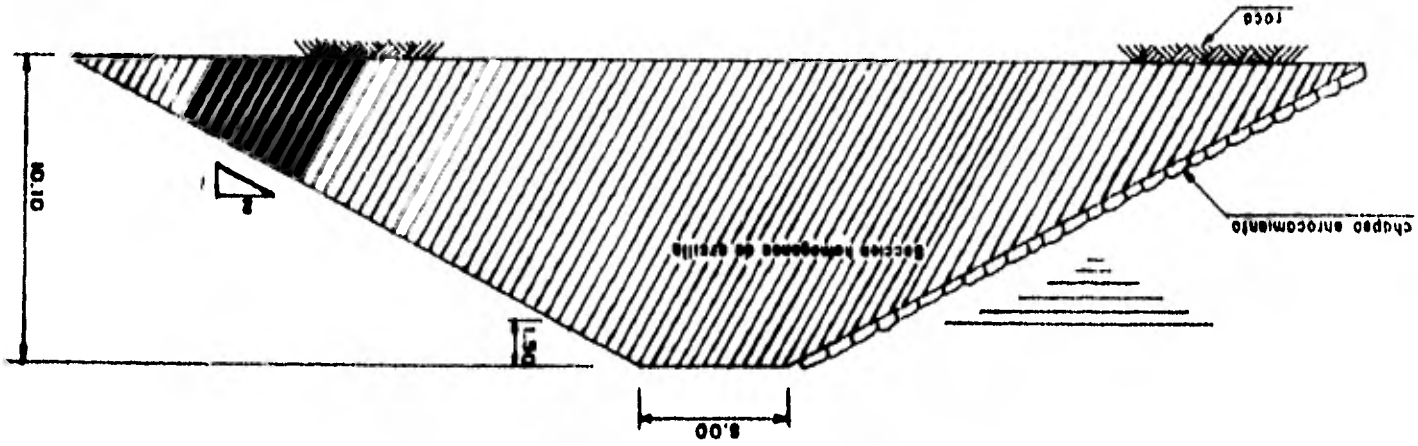
- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA

PRESA EL ALBA		
ESTUDIO	DEL	SUBSUELO
PERFIL ESTRATIGRAFICO		
SONDEO S-E		
FIG 6		MEXICO, D.F.

ESC. 1:800
ACOTS. EN MTS.

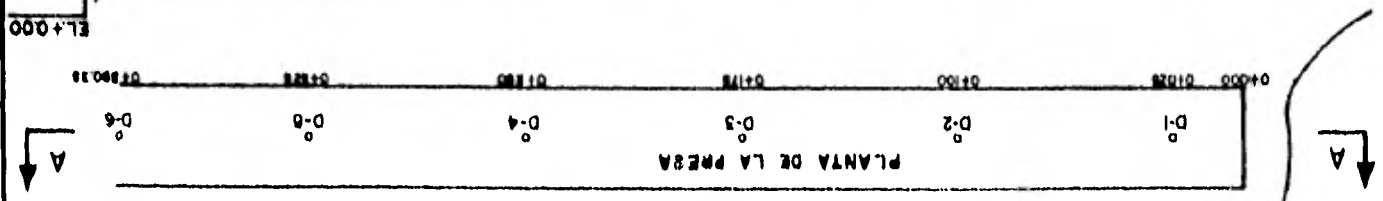
P R E S A E L A L B A
SECCION MAXIMA

Fig. - 7

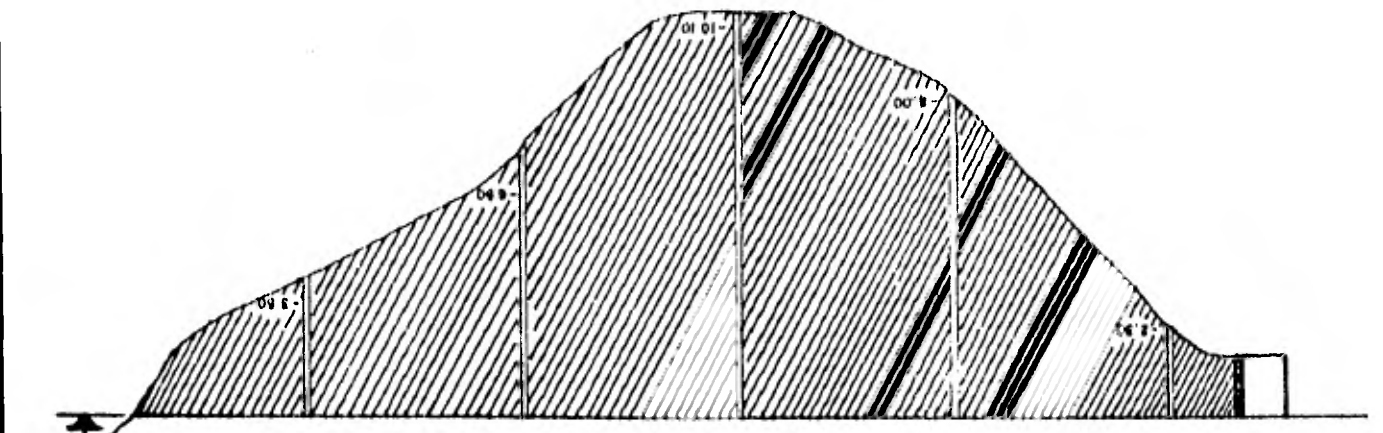


PRESA EL ALBA

A EL MOLINO



PLANTA DE LA PRESA



SECCION A - A

BOQUILLA DE LA CONTINA

Fig.-8

ESC. HOR. 1:2000
ESC. VERT. 1:100
ACOTS. EN MTS.

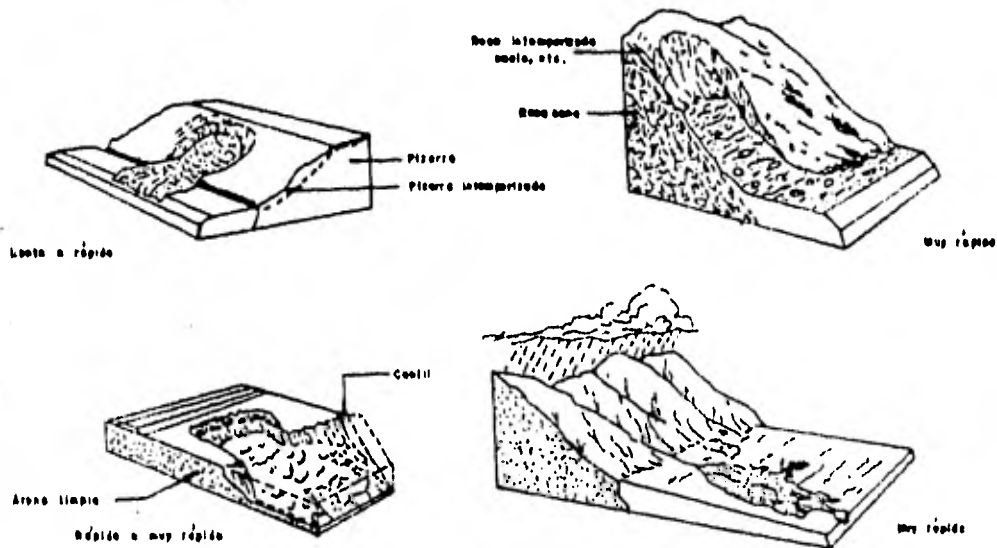


FIG. 9a Flujos en materiales húmedos
(Ingeniería de suelos I, Rico-Castillo edición 1976)

FIG. 9b Fallas por flujo del material

Sensibilidad de los suelos a la licuación	Suelos que pueden ser afectados por el tipo de falla indicada	Carácter de la deformación necesaria para iniciar el flujo	Cónditor y répido de la falla por flujo	Ejemplos de falla por flujo
ALTA SENSIBILIDAD. TIPO "A"	Arena en condición muy suelta; polvo de roca. (Lima)	Pequeñas deformaciones, tales como las producidas por asno e explosión, que afectan una gran masa.	Flujo rápido (unos minutos).	Fallas de terraplenes de ferrocarril, en Holanda (1918); flujos de limas en las montañas Laurentianas
BAJA SENSIBILIDAD. TIPO "B"	Arenas de río; polvo de roca. (Lima)	Grandes deformaciones que afectan a toda una gran masa; siempre falla de un estrato de arcilla transmitida a la arena superior.	Flujo rápido (unas minutos.)	Falla de Fort Peck; arena de río en la cimentación y arena de relleno hidráulico en el cuerpo de la presa.
BAJA SENSIBILIDAD. TIPO "C"	Arenas de río; polvo de roca; limas y arcillas estratigráficas; arcillas muy débiles al remojarse	Grandes deformaciones creadas progresivamente	Licuación progresiva hasta varios horas de duración dependiendo de la masa afectada.	Falla de los bordes del Mississippi; fallas en Holanda; fallas en limas y arcillas estratigráficas en excavaciones

A Las presiones de poro intrusivas creadas, por ejemplo, en una arcilla estratificada, pueden iniciar grandes deformaciones; sin embargo, estas presiones intrusivas son solamente causa indirecta de la licuación de las arenas de río, o de las arcillas superconsolidadas.

Ingeniería Hidráulica: Principios generales de diseño y abstracción de pruebas de tierra (E. Tomás González) 1968



- ① Material impermeable
- ② Material permeable fino, de buena graduación
- ③ Enrocamiento

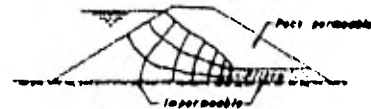
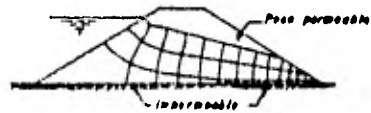


FIG 10.c Redes de flujo para condiciones de frontera frecuentes en presas de tierra



FIG.10.d Desarrollo de la tubificación
(Ingeniería Hidráulica Principios generales de diseño y construcción de tierra E Taméz González 1966)

FIG.11 Susceptibilidad de los suelos a la tubificación

Gran resistencia a la tubificación

1. Arcillas muy plásticas ($I_p > 15\%$), bien compactadas.

2. Arcillas muy plásticas ($I_p > 15\%$), deficientemente compactadas.

Resistencia media a la tubificación

3. Arenas bien graduadas o mezclas de arena y grava, con contenido de arcilla de plasticidad media ($I_p > 6\%$), bien compactadas.

4. Arenas bien graduadas o mezclas de arena y grava, con contenido de arcilla de plasticidad media ($I_p > 6\%$), deficientemente compactadas.

5. Mezclas no plásticas, bien graduadas y bien compactadas, de grava, arena y limo con ($I_p < 6\%$)

Baja resistencia a la tubificación

6. Mezclas no plásticas, bien graduadas y deficientemente compactadas, de grava, arena y limo con ($I_p < 6\%$).

7. Arenas limpias, finas, uniformes ($I_p < 6\%$), bien compactadas.

8. Arenas limpias, finas, uniformes ($I_p < 6\%$), deficientemente compactadas.

(Ingeniería de suelos I, Rico-Castillo edición 1976)

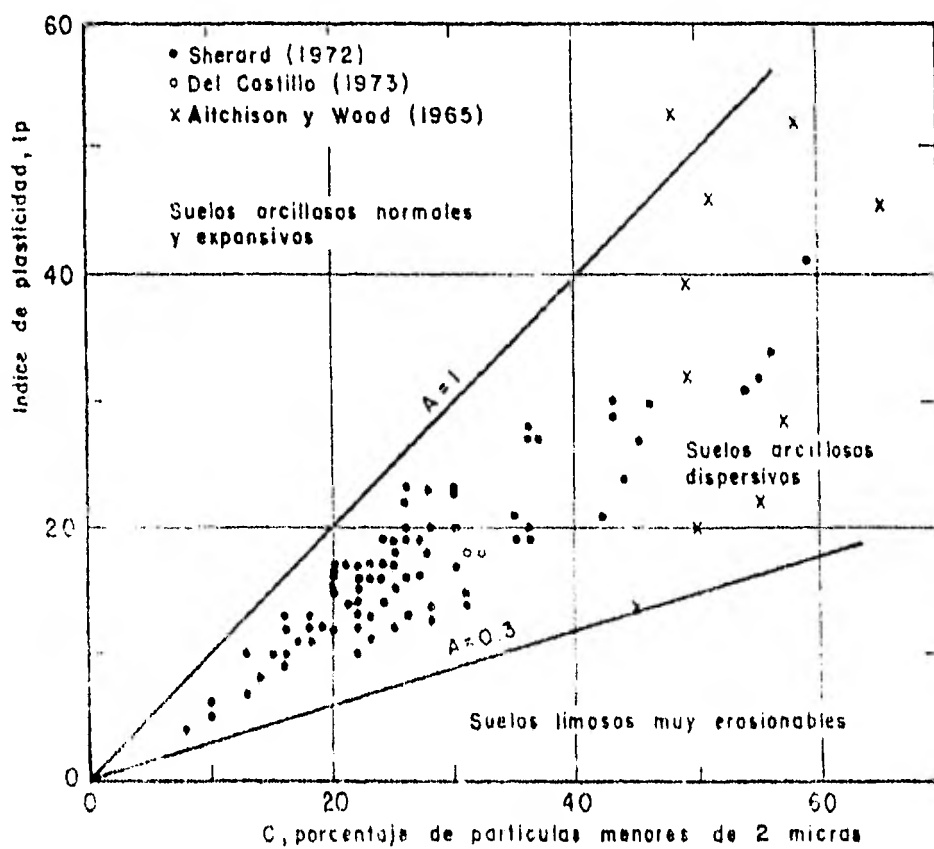


Fig.12 Actividad de los suelos constitutivos de presas homogéneas que han sufrido tubificación (identificación y uso de los arcillos dispersivos, por Daniel Reséndiz N., curso de actualización sobre diseño de presas, IPN, Dic. 1973.)

APENDICE. ESTABILIDAD DE TALUDES

Presas de sección homogénea formada con material cohesivo ($\gamma = 0$)

FIG. 13.b Criterio usual para diseño de protecciones de enrocamiento (según Sherard et al, 1963)

Altura máxima de los ocos, en pies	Tamaño medio mínimo (D_{50}) recomendado, en pies	Espesor del estrato recomendado, en pies
0-2	10	12
2-4	12	18
4-6	15	24
6-8	18	30
8-10	21	36

Altura, H, en m.	Talud	Banda libre H _{oc} , en m.	F _s /C
10.0	3.0:1	1.0	0.493
10.0	2.5:1	1.0	0.446
10.0	2.0:1	1.0	0.396
10.0	1.5:1	1.0	0.348
8.0	3.0:1	1.0	0.618
8.0	2.5:1	1.0	0.566
8.0	2.0:1	1.0	0.490
8.0	1.5:1	1.0	0.430
6.0	3.0:1	0.8	0.835
6.0	2.5:1	0.8	0.753
6.0	2.0:1	0.8	0.650
6.0	1.5:1	0.8	0.573
4.0	3.0:1	0.5	1.035
4.0	2.5:1	0.5	1.195
4.0	2.0:1	0.5	1.030
4.0	1.5:1	0.5	0.855
2.0	3.0:1	0.5	2.94
2.0	2.5:1	0.5	2.69
2.0	2.0:1	0.5	2.37
2.0	1.5:1	0.5	1.76

(Revista Recursos Hidráulicos vol III # 4 1977)
 El peso volumétrico supuesto es igual a 2 ton/m³
 F_s = Factor de seguridad,
 C = Cohesión, en ton/m²

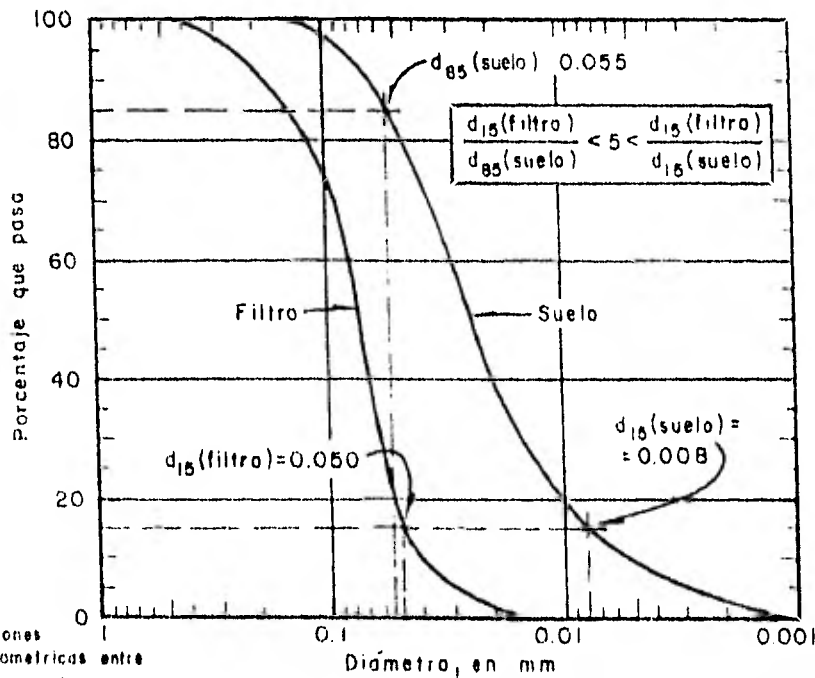


FIG. 13a Relaciones granulométricas entre filtro y suelo

(Revista Recursos Hidráulicos vol VI # 4 1977)

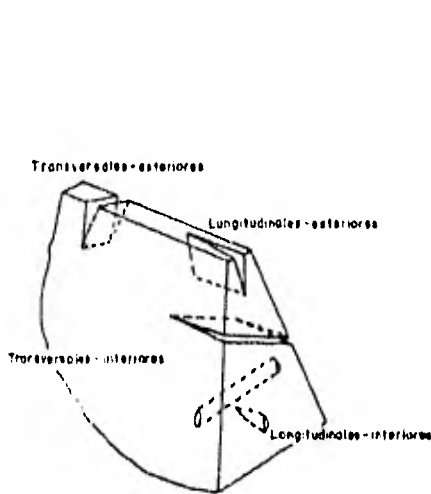


FIG. 14a Clasificación de las grietas en el corazón de una presa.
(Presas de tierra y enrocamiento Marsal-Resendiz 1975)

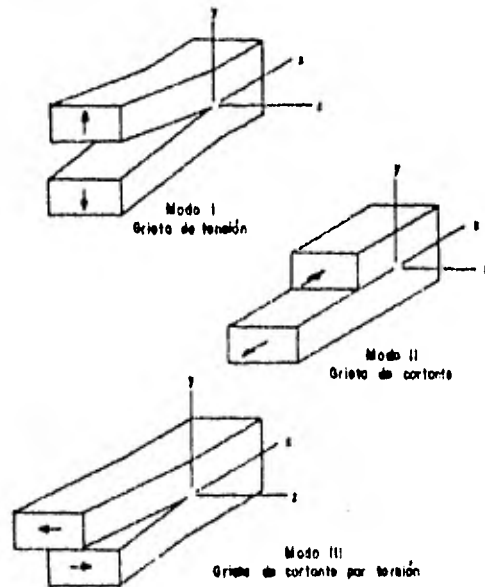


FIG. 14 b Modos básicos de desplazamiento de las superficies de la grieta
(Presas de tierra y enrocamiento Marsal-Resendiz 1975)

TIPO DE MALLA

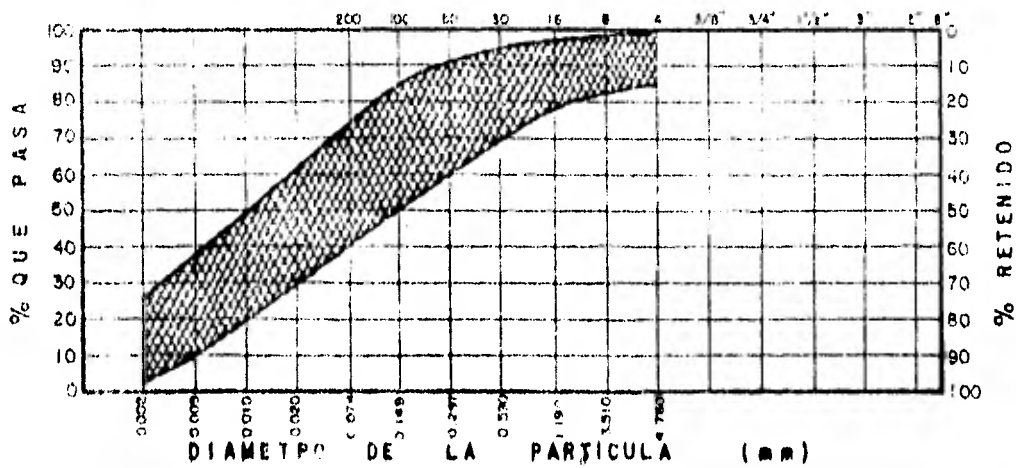


FIG. 14c Granulometría de los suelos más susceptibles al agrietamiento
(Ingeniería de suelos, Rico-Castillo edición 1976)

FIG. 15. COLOCACION DE MATERIALES EN PRESAS DE PEQUEÑA ALTURA

Tipo de material	Espesor capa suelta, en cm	Humedad de colocación, W_c	Energía de compactación	Compactador
Enrocamiento	50 a 100	No importante	Alta	Rodillo vibratorio
Arena, gravas o mezclas de ambos	30 a 50			
Arcillas y limos no expansivos; mezclas de ambos con arena y gravas	20 a 30	Deseable $W_c = W_o$ (Proctor estándar)	Proctor estándar	Rodillo pala de cobra
		Si $W_c < W_o$ y no hay agua para aumentar W_n	Mayor que Proctor	
Arcillas expansivos		Si $W_c > W_o$ y no es posible reducir W_n	Menor que Proctor a determinar en función de W_c	o rodillo neumático
		$W_c > W_o$ $W_c > W_n$		

W_n humedad natural en el préstamo
(Revista Recursos Hidráulicos Vol. VII # 4 1977)

FIG. 16 Resumen de las causas más importantes de fallas
(según Middlebrooks, 1953)

Causas de la falla parcial o total	Porcentaje del total
Desbordamiento	30
Flujo de agua	25
Deslizamientos	15
Fugas en conductos enterrados	13
Erosión en taludes	5
Otras causas	7
Causas desconocidas	5

Relación entre el porcentaje de fallas y edad de la presa

Edad de la presa, en años	Causas de la falla parcial o total			
	Desbordamiento	Fugas en conductos	Flujo de agua	Deslizamientos
0- 1	9	23	16	29
1- 5	17	50	34	24
5-10	9	9	13	12
10-20	30	9	13	12
20-30	13	5	12	12
30-40	10	4	6	11
40-50	9	0	6	0
50-100	3	0	0	0

Porcentaje de fallas en diferentes épocas

Años	Causas de la falla parcial				Total %
	Desbordamiento	Flujo de agua	Fugas en conductos	Deslizamientos	
1850-60	0	0	0	0	0
1860-70	0	0	7	0	1
1870-80	0	6	7	0	3
1880-90	6	4	11	3	5
1890-1900	12	11	21	3	13
1900-10	23	19	18	16	17
1910-20	22	15	18	23	21
1920-30	14	13	18	26	16
1930-40	11	8	0	23	10
1940-50	9	6	0	3	8
1950	3	8	0	3	4

■ Incluye todos los casos de comportamiento inadecuado, aun aquellas en que la causa no es conocida.

Se respetan los valores de esta columna dados en la publicación original, a pesar de que su suma es 98 (debería ser 100)

REGISTRO DE CAMPO

Tabla-2

OBRA: SARM. POZO EN LA ALONJA 910
 POZO No. D-2, C.S. D. 1000
 TIPO DE SONDEO: RESORTADO
 OPERADOR: _____

FECHA DE INICIACION: NOY. 9, 1977
 FECHA DE TERMINACION: NOY. 10, 1977
 PERFORADORA: PERUMIL No. LCO. 1-9
 BOMBAS: VOYNO 3/6 No. LCO. 2-9

mue- stra No.	profundidad en m		tipo de herramienta		base		velocidad de rotación rpm		recuperación		CLASIFICACION DE CAMPO	OBSERVACIONES	
	inicial	final	pasos	muestra	inicial	final	15 m	30 m	m	%			
---	0.00	0.50	T. 0"	---					50	S/R	---	ARCILLA NEGRA POCO ARENOSA	
1	0.50	1.30	"	SHELBY					80	7.3	91	"	
---	1.30	1.80	"	---					50	S/R	---	"	
2	1.80	2.70	"	DENISON					90	8.0	99	"	
---	2.70	3.70	"	---					100	S/R	---	"	
3	3.70	4.50	"	SHELBY					60	6.0	85	"	
---	4.50	5.50	"	---					100	S/R	---	"	
4	5.50	6.40	"	DENISON					30	2.8	31	"	
5	6.40	7.30	"	SHELBY					90	9.0	100	"	
---	7.30	8.30	"	---					70	S/R	---	"	
6	8.30	8.30	MAHREL	N 2					50	1.7	5.7	ROCA IGNEA EXTRUSIVA CAFE, FRACTURADA	
7	8.30	8.90	"	"					60	4.6	7.5	ROCA IGNEA EXTRUSIVA CAFE, FRACTURADA	
8	8.90	9.50	"	"					60	1.2	4.8	"	
9	9.50	10.10	"	"					60	3.3	5.5	"	
10	10.10	10.40	"	"					40	1.4	3.5	"	
11	10.40	11.00	"	"					60	5.0	9.9	"	
12	11.00	12.15	"	"					115	5.3	4.6	"	

NIVEL FREATICO (m) _____ FECHA Y HORA _____
 OBSERVACIONES GENERALES: ESPESOR DE LA CORONA 0.00 m _____
 SE SOLTO LA MUESTRA Y SE RECUBRIO CON SHELBY _____
 _____ ADEJAE () _____ m _____
 PROFUNDIDAD DE PROYECTO _____ m
 PROFUNDIDAD REAL 12.15 m
 REVISO EN EL CAMPO _____
 REVISO EN LABORATORIO _____
 FECHA 10 NOY. 1977

REGISTRO DE CAMPO

Tabla-3

OBRA SARH PRESA EL ALBA, GTO
 POZO No. D-3 EST. 0+175
 TIPO DE SONDEO DISCONTINUO
 OPERADOR _____

FECHA DE INICIACION NOV. 7 1977
 FECHA DE TERMINACION NOV. 8 1977
 PERFORADORA PENDRILL No. ECO 1-8
 BOMBA MOYNO No. ECO 2-5

muestr No.	profundidad en m		tipo de herramienta		hora		penetración estándar para del martillo 64 kg altura de caída 75 cm numero de golpes en			long perfor m	recuperación		CLASIFICACION DE CAMPO	OBSERVACIONES
	inicial	final	avance	muestreo	inicial	final	15 cm	30 cm	15 cm		m	%		
---	0.00	0.50	T. 6"	---						0.50	S/R	---	ARCILLA NEGRA POCO ARENOSA	
1	0.50	1.40	---	SHELBY	13.30					0.90	0.72	80	" " " "	
---	1.40	2.00	T. 6"	---						0.60	S/R	---	" " " "	
2	2.00	2.90	---	DENISON	13.50					0.90	0.84	93	" " " "	
---	2.90	4.00	T. 6"	---						1.10	S/R	---	" " " "	
3	4.00	4.70	---	SHELBY	13.30					0.70	0.60	86	" " " "	
---	4.70	6.70	T. 6"	---						1.00	S/R	---	" " " "	
4	5.70	6.40	---	DENISON	16.25					0.70	0.60	86	" " " "	
---	6.40	7.40	T. 6"	---						1.00	S/R	---	" " " "	
5	7.40	8.30	---	SHELBY	17.25					0.90	0.80	89	" " " "	
---	8.30	9.50	T. 6"	---						1.00	S/R	---	" " " "	
6	9.30	10.10	---	DENISON	8.25					0.80	0.72	90	" " " "	
7	10.10	10.70	BARRIL	NA	10.00					0.60	0.44	73	ANDESITA FRACTURADA, CAFE CLARO	
8	10.70	11.10	"	"	10.40					0.40	0.24	60	" " " "	
9	11.10	11.70	"	"	11.15					0.60	0.26	43	NEOLITA CAFE CLARO, POCO FRACTURADA	
10	11.70	12.30	"	"	12.00					0.60	0.46	77	" " " "	
11	12.30	12.90	"	"	12.45					0.60	0.53	89	" " " "	
12	12.90	13.50	"	"	13.30					0.60	0.55	58	" " " "	
13	13.50	14.10	T. 2 1/8"	TLISO	14.00		1.0	3.0	2.7	0.50	0.24	40	LIMO CAFE CLARO	
14	14.10	14.70	"	"	14.35		2.6	2.9	4.3	0.50	0.45	75	" " " "	
15	14.70	15.10	"	"	15.30		3.3	80/25	---	0.40	0.26	65	LIMO CAFE CLARO, POCO ARENOSO	

NIVEL FREATICO (m) _____ FECHA Y HORA _____ PROFUNDIDAD DE PROYECTO _____ m
 OBSERVACIONES GENERALES _____ ESPESOR DE CORTINA 10.10 m PROFUNDIDAD REAL 15.10 m
 _____ ESPESOR DE ROCA DE 10.10 A 13.40 _____ REVISO EN EL CAMPO _____
 _____ ADEME () _____ m REVISO EN LABORATORIO _____
 _____ FECHA _____

REGISTRO DE CAMPO

Tabla-4

OBRA SARN PRESA EL ALPA, DTQ.
 POZO No. D-5 ESJ. 04250
 TIPO DE SONDEO DISCONTINUO
 OPERADOR _____

FECHA DE INICIACION NOV. 4 1977
 FECHA DE TERMINACION NOV. 5 1977
 PERFORADORA PENORILL No. ECO 1-8
 BOMBA MOYNO 1/6 No. ECO 2-5

mas tro No.	profundidad en m		tipo de herramienta		hora		penetración estándar peso del martillo 64 kg altura de caída 25 cm numero de golpes en			long. perf. m	recuperación		CLASIFICACION DE CAMPO	OBSERVACIONES
	inicial	final	avanza	muestreo	inicial	final	15 cm	10 cm	15 cm		m	%		
---	0.00	0.50	T. 6'	---						0.50	S/R	---	ARCILLA NEGRA	
1	0.50	1.40	---	DENISON						0.90	0.87	96		
---	1.40	2.00	T. 6"	---						0.60	S/R	---		
2	2.00	2.90	---	SHELBY						0.90	0.75	81	CON ARENA	
---	2.90	4.00	T. 6"	---						1.10	9R	---		
3	4.00	4.50	---	DENISON						0.50	0.40	80		
---	4.50	5.00	T. 6"	---						0.50	S/R	---		
4	5.00	5.90	---	SHELBY						0.90	0.60	66		
---	5.90	6.50	T. 6"	---						0.60	S/R	---		
5	6.50	7.10	---	DENISON						0.60	0.15	25	ANDESITA FRACTURADA CAPE, EMPACADA EN ARENA ARCILLOSA	
6	7.10	7.60	T. 2 1/2"	B N X						0.50	0.12	24	ANDESITA MUY FRACTURADA EMPACADA EN ARENA ARCILLOSA	
7	7.60	8.10	"	"						0.50	0.22	44	ANDESITA MUY FRACTURADA EMPACADA EN ARENA ARCILLOSA	
8	8.10	8.60	"	"						0.50	0.10	20	ANDESITA MUY FRACTURADA EMPACADA EN ARENA ARCILLOSA	
9	8.60	9.20	"	"						0.60	0.47	78	ANDESITA CAPE	
10	9.20	9.80	"	"						0.60	0.44	73		

NIVEL TREATICO (m) _____ FECHA Y HORA _____ PROFUNDIDAD DEL PROYECTO _____ m
 OBSERVACIONES GENERALES ESPESOR DE CORTINA 5.50 m FRECUENCIA REAL 9.80 m
 REVISO EN EL CAMPO _____
 REVISO EN LABORATORIO _____
 ADELAL () _____ m FECHA 12. NOV. 1977

REGISTRO DE CAMPO

Tabla-5

OBRA: SARRIENA EL LA BA. 810
 POZO No. DE LA ESTACION
 TIPO DE SONDEO
 OPERADOR

FECHA DE INICIACION: 3 NOV 1977
 FECHA DE TERMINACION: 4 NOV 1977
 PERFORADORA: PENDING No. ECO: 1-B
 BOMBA: MOYNO 3/6 No. ECO: 2-B

mvs No	profundidad en m		tipo de herramienta		hora		presión en atmósfera presión en columna de agua altura de columna de agua			long cuello m	interoperación		CLASIFICACION DE CAMPO	OBSERVACIONES
	inicial	final	avance	investiga	inicial	final	Presión	Altura	Presión		m	s		
---	0.30	0.30	T 6"	---						0.50	S/R	---	ARCILLA NEGRA CON ARENA	
1	0.30	1.30	---	DENISON						0.80	0.50	77		
---	1.30	1.80	T 6"	---						0.50	S/R	---		
2	1.30	2.70	---	DENISON						0.90	0.90	100		
---	2.70	3.50	T 6"	---						0.80	S/R	---		
3	3.50	3.80	---	ELISO						0.30	0.20	85	TOBA LIMO ARENOSO CAFE CLARO	
---	3.80	4.10	---	DENISON						0.30	S/R	---		
4	4.10	4.43	---	ELISO						0.33	0.33	100		
---	4.43	4.70	---	---						0.27	S/R	---		
5	4.70	5.01	---	ELISO						0.31	0.20	74		
---	5.01	5.30	T 6"	---						0.29	S/R	---		

NIVEL FREATICO (m) _____ FECHA Y HORA _____
 OBSERVACIONES GENERALES: ESPESOR DE LA CORONA 1.50 m _____
 PROFUNDIDAD DE PROYECTO _____ m
 PROFUNDIDAD REAL 5.30 m
 REVISO EN EL CAMPO _____
 REVISO EN EL LABORATORIO _____
 ADEME () _____
 FECHA 10 NOV 1977

CIRCULO N° 8 (Subpresión)

DOVELA	W _i	T _i -w _i cosα	N _i -w _i cosα	L _i	G _i =N _i /L _i	U _i	U _i =U _i -U _i	S _i	S _i /L _i
11.2°- 1	0.895	-0.173	0.878	1.24	0.71	0.58	0.16	3.48	4.32
4.3°- 2	8.882	-0.498	6.663	2.31	2.84	1.67	1.27	3.69	8.29
4.0°- 3	8.071	0.863	8.082	1.70	4.74	2.65	2.19	3.69	6.27
11.8°- 4	11.939	2.381	11.899	2.05	5.71	3.18	2.55	3.73	7.86
20.2°- 5	13.815	4.660	12.887	2.14	6.93	3.38	2.88	3.73	7.86
29.8°- 6	13.832	8.811	12.039	2.30	6.23	3.08	2.18	3.69	8.49
39.2°- 7	12.443	7.859	9.647	2.59	3.72	2.26	1.47	3.61	8.38
50.5°- 8	8.536	6.886	5.430	3.22	1.69	0.80	0.89	3.55	11.43
61.0°- 9	1.809	1.582	0.877	2.47	0.36	0.00	0.36	3.50	8.66

Σ 50.12

Σ 72.43

Análisis con valores medios

$$F_s = \frac{72.43}{30.12} = 2.40$$

Con Subpresión

$$R_s = 13.88$$

Tabla 6

DOVELA	W _i	Ti·W _i cosα	Ni·W _i cosα	L _i	Q _i =Ni/L _i	U _i	Q _i =Q _i -U _i	S _i	S _i L _i	S _i	S _i L _i
11.2°- 1	0.896	-0.173	0.678	1.24	0.71	0.66	0.16	2.48	3.08	5.84	6.99
4.3°- 2	6.582	-0.498	6.663	2.31	2.84	1.57	1.27	2.57	5.94	6.80	13.40
4.0°- 3	8.071	0.663	8.052	1.70	4.74	2.58	2.19	2.64	4.49	5.93	10.08
11.8°- 4	11.939	2.381	11.699	2.05	5.71	3.16	2.55	2.67	5.47	5.99	12.28
20.2°- 5	13.615	4.660	12.687	2.14	5.93	3.36	2.58	2.67	5.71	5.99	12.88
28.6°- 6	13.632	5.811	12.039	2.30	5.23	3.06	2.18	2.64	6.07	5.93	13.64
39.2°- 7	12.443	7.859	9.847	2.59	3.72	2.28	1.47	2.59	6.71	5.83	15.10
60.6°- 8	8.536	6.586	5.430	3.22	1.69	0.80	0.80	2.54	6.18	5.79	16.92
61.0°- 9	1.809	1.582	0.877	3.47	0.36	0.00	0.36	2.50	6.18	5.67	14.00
		30.12						201.83		116.83	

Re = 13.86

Análisis con valores mínimos

$$F_c = \frac{51.83}{30.12} = 1.72$$

Análisis con valores máximos

$$F = \frac{116.83}{30.12} = 3.88$$

Tabla 7

CIRCULO Nº 8 (F) R₀ = 13.85

DOVELA	W _i	T _i w _i cosα _i	N _i w _i cosα _i	L _i	U _i = N _i /L _i	S _i	S _i L _i	No. cuerdas	ΔL	Δh	N _i	P _i · N _i
1	0.400	-0.077	0.392	1.24	0.32	3.49	4.33	8'	1.40	0.60	10.72	4.90
2	2.943	-0.222	2.934	2.31	1.27	3.59	8.30	8	2.60	0.61	11.13	17.68
3	3.610	0.252	3.601	1.70	2.12	3.68	6.26	7	2.10	0.61	11.13	14.26
4	5.339	1.066	6.232	2.06	2.98	3.73	7.64	6	1.70	0.61	11.13	11.64
5	6.868	2.264	6.163	2.14	2.88	3.76	8.08	9	1.60	0.61	11.20	10.26
6	7.452	3.669	6.486	2.30	2.82	3.76	8.64	10	1.1.30	0.61	11.35	7.20
7	7.613	4.955	6.087	2.59	2.34	3.71	9.60	19	1.1.28	0.61	11.56	6.34
8	7.096	6.478	4.514	3.22	1.40	3.61	11.61	14	1.1.06	0.61	12.52	7.67
9	1.809	1.562	0.677	2.47	0.36	3.49	8.64	16	1.65	0.61	12.66	12.93
		Σ 18.94				Σ 78.07		20	1.60	0.61	12.90	11.90
								21	1.35	0.61	12.90	10.62
								23	1.25	0.61	12.90	9.64
								25	1.20	0.61	12.90	9.44
								27	1.1.23	0.61	13.08	4.79
								28	2(1.3)	0.61	13.67	2.17
								29	2(1.28)	0.61	13.67	2.00
								30	25(1.2)	0.61	13.67	2.60

Análisis con valores medios

$$F_s = \frac{(78.07)(13.85)}{144.79 + 118.94(13.85)} = 2.49$$

Σ 144.79

Tabla 8

DOVELA	Wi	Ti-wicoes	Ni-wicoes	Li	Ch-Ni/Li	Si	SiLi	Si	SiLi	No cuadro	ΔL	Δh	Ri	Ff·Ri
1	0.400	-0.077	0.392	1.24	0.32	2.50	3.10	5.67	7.03	5'	1.40	0.30	10.72	4.50
2	2948	-0.222	2934	2.31	1.27	2.57	6.94	6.80	13.40	6	2.60	0.61	11.13	17.65
3	3610	0.252	3601	1.70	2.12	2.64	4.49	5.92	10.06	7	2.10	0.61	11.13	14.26
4	5339	1065	5232	2.05	2.55	2.67	5.47	5.99	12.28	8	1.70	0.61	11.13	11.54
5	6565	2264	6163	2.14	2.88	2.70	5.78	6.03	12.90	9	1.50	0.61	11.20	10.25
6	7452	3669	6486	2.50	2.82	2.69	6.19	6.03	13.87	10	1.13	0.61	11.35	7.20
7	7813	4958	6057	2.89	2.34	2.66	6.89	5.96	15.44	19	5(1.25)	0.61	11.58	5.34
8	7096	5475	4514	3.22	1.40	2.58	8.31	5.82	16.74	14	5(2.06)	0.61	12.52	7.87
9	1809	1582	0.877	2.47	0.36	2.50	6.18	5.67	14.00	16	1.65	0.61	12.85	12.93
			118.94				452.35		1117.72	20	1.50	0.61	12.90	11.80
										21	1.35	0.61	12.90	10.62
										23	1.25	0.61	12.90	9.84
										25	1.20	0.61	12.90	9.44
										27	5(1.2)	0.61	13.08	4.79
										28	2(1.3)	0.61	13.67	2.17
										29	2(1.25)	0.61	13.67	2.08
										30	25(1.2)	0.61	13.67	2.80

Re = 13.85

Análisis con valores mínimos

$$F_s = \frac{(52.35)(13.85)}{(118.94)(13.85) + 144.79} = 1.78$$

Análisis con valores máximos

$$F_s = \frac{(1117.72)(13.85)}{(118.94)(13.85) + 144.79} = 4.00$$

144.79

Tabla 9

CIRCULO N° 6 (Subpresión)

DOVELA	Wi	T=Wilson	Ni=Wilson	Li	Ui= Ni/Li	Ui	Ui= di-Ui	Si	SiLi
17.3°- 1	0.271	- 0.081	0.259	0.84	0.40	0.32	0.08	3.47	2.22
12.0°- 2	4.432	- 0.921	4.335	2.08	2.10	1.30	0.80	3.54	7.29
4.2°- 3	9.791	- 0.712	9.766	2.13	4.58	2.80	2.08	3.68	7.84
3.8°- 4	12.287	0.820	12.230	1.89	6.47	3.38	3.12	3.79	7.16
10.0°- 5	15.551	2.704	15.315	2.08	7.43	3.95	3.48	3.82	7.87
19.5°- 6	17.107	5.710	16.125	2.13	7.67	3.95	3.62	3.84	8.18
23.3°- 7	17.508	8.577	16.263	2.30	6.63	3.62	3.01	3.77	8.67
39.8°- 8	16.332	10.056	12.170	2.54	5.07	2.75	2.32	3.70	9.40
48.8°- 9	12.987	9.762	8.536	3.04	2.81	1.37	1.44	3.61	10.97
61.0°- 10	6.049	5.290	2.933	4.52	0.85	0.00	0.65	3.52	15.91

41.21

85.51

Análisis con valores medios

$$F_s = \frac{85.51}{41.21} = 2.07$$

Con Subpresión

$$R_6 = 14.58$$

Tabla 10

DOVELA	Wi	Ti wsen α	Ni w cos α	Li	Qi = Ni/Li	Ui	Qi = Qi - Ui	Si	Si Li	Si	Si Li
17.3° - 1	0.271	-0.081	0.269	0.64	0.40	0.82	0.08	2.48	1.69	5.63	3.60
12.0° - 2	4.432	-0.921	4.335	2.06	2.10	1.30	0.80	2.53	5.21	5.74	11.82
4.2° - 3	9.791	-0.712	9.766	2.13	4.58	2.50	2.08	2.63	5.60	5.92	12.81
3.6° - 4	12.267	0.820	12.230	1.89	6.47	3.35	3.12	2.72	5.14	6.07	11.47
10.0° - 5	15.551	2.704	15.315	2.08	7.43	3.95	3.48	2.75	5.67	6.12	12.61
19.5° - 6	17.107	5.710	16.125	2.13	7.67	3.95	3.62	2.76	5.88	6.14	13.08
29.3° - 7	17.508	8.577	15.263	2.30	6.63	3.62	3.01	2.71	6.23	6.06	13.92
38.8° - 8	16.332	10.056	12.870	2.54	5.07	2.75	2.32	2.65	6.73	5.95	16.11
48.8° - 9	12.967	9.762	8.536	3.04	2.81	1.37	1.44	2.58	7.84	5.83	17.72
61.0° - 10	6.049	5.290	2.933	4.52	0.65	0.00	0.65	2.52	11.39	5.71	25.81

Σ 41.21

Σ 61.28

Σ 137.76

$$R_6 = 14.58$$

Análisis con valores mínimos

$$F_6 = \frac{61.28}{41.21} = 1.49$$

Análisis con valores máximos

$$F_6 = \frac{137.76}{41.21} = 3.34$$

Tabla II

CIRCULO Nº 6 (Ff) R=14.58

DOVELA	Wi	Ti=Wi sen α	Ni=Wi cos α	Li	Qi=Ni/Li	Si	SiLi	No cuadro	ΔL	Δh	RI	Ff · RI
1	0,121	-0,036	0,116	0,64	0,18	3,48	2,23	4	1,30	0,26	11,02	3,72
2	1,982	-0,412	1,939	2,06	0,94	3,58	7,33	5	2,80	0,61	11,63	19,06
3	4,378	-0,318	4,367	2,13	2,06	3,67	7,83	6	2,60	0,61	11,65	18,45
4	5,482	0,367	5,470	1,89	2,89	3,78	7,11	7	2,10	0,61	11,63	14,90
5	7,471	1,297	7,367	2,06	3,57	3,83	7,90	8	1,70	0,61	11,63	12,06
6	8,917	2,976	8,405	2,13	3,95	3,87	8,25	9	1,50	0,61	11,63	10,64
7	10,078	4,937	8,786	2,30	3,82	3,86	8,88	10	1,30	0,61	11,88	7,54
8	10,632	6,546	8,378	2,54	3,30	3,70	9,40	11	1,12	0,61	11,97	5,48
9	10,217	7,691	6,726	3,04	2,21	3,63	11,22	12	1,06	0,61	13,14	10,42
10	5,977	6,227	2,898	4,52	0,64	3,53	15,94	13	1,06	0,61	13,38	13,45
								14	1,65	0,61	13,43	13,52
								15	1,50	0,61	13,43	12,29
								16	1,35	0,61	13,43	11,06
								17	1,25	0,61	13,43	10,24
								18	1,20	0,61	13,43	9,83
								19	0,50	0,30	13,66	2,06
								20	4(2(16)	0,61	14,43	1,13
								21	2(16)	0,61	14,43	2,64
								22	5(135)	0,61	14,43	3,56
								23	6(13)	0,61	14,43	6,87

Σ 28,28

Σ 86,09

Análisis con valores medios

$$F_b = \frac{(86,09)(14,58)}{189,70 + (28,28)(14,58)} = 2,08$$

Σ 189,70

Tabla 12

DOVELA	Wi	Ti·wten	Ni·wcos	Li	Ui = Ni/Li	Si	SiLi	Si	SiLi	No cuadro	ΔL	Δh	Ri	F _s ·Ri
1	0.121	-0.036	0.116	0.64	0.18	2.48	1.69	6.65	3.62	4	1.30	0.26	11.02	3.72
2	1.982	-0.412	1.939	2.06	0.94	2.54	5.23	6.76	11.87	5	2.80	0.61	11.63	19.86
3	4.378	-0.318	4.367	2.13	2.05	2.63	5.60	6.91	12.69	6	2.60	0.61	11.63	16.45
4	6.482	0.367	6.470	1.89	2.89	2.70	6.10	6.04	11.42	7	2.10	0.61	11.63	14.90
5	7.471	1.297	7.357	2.06	3.57	2.75	6.67	6.13	12.63	8	1.70	0.61	11.63	12.06
6	8.917	2.976	8.406	2.13	3.95	2.78	6.92	6.19	13.18	9	1.50	0.61	11.63	10.64
7	10.078	4.937	8.788	2.30	3.82	2.77	6.37	6.17	14.19	18	8(1.30)	0.61	11.88	7.54
8	10.632	6.546	8.378	2.84	3.30	2.73	6.93	6.09	15.47	19	6(1.26)	0.61	11.97	5.48
9	10.217	7.691	6.728	3.04	2.21	2.65	6.06	6.94	18.06	13	5(2.60)	0.61	13.14	10.42
10	6.977	6.227	2.898	4.62	0.64	2.52	11.39	6.71	25.81	14	8(2.06)	0.61	13.38	13.46
		28.28				61.89		138.84		15	1.65	0.61	13.43	13.52
										20	1.50	0.61	13.43	12.29
										21	1.38	0.61	13.43	11.08
										23	1.25	0.61	13.43	10.24
										26	1.20	0.61	13.43	9.83
										27	0.80	0.30	13.66	2.05
										24	4(2(1.6))	0.61	14.43	1.13
										25	2(1.5)	0.61	14.43	2.64
										28	3(1.35)	0.61	14.43	3.56
										29	6(1.30)	0.61	14.43	8.87
														= 109.70

$$R_6 = 14.68$$

Análisis con valores mínimos

$$F_s = \frac{(61.89)(14.68)}{(28.28)(14.68) + 109.70} = 1.50$$

Análisis con valores máximos

$$F_s = \frac{(138.84)(14.68)}{(28.28)(14.68) + 109.70} = 3.36$$

Tabla 13

CIRCULO Nº 9 (Subpresión)

DOVELA	Wi	Ti=Wi/ok	Ni=nicos	Li	Qi=Ni/Li	Ui	Qi-Qi-Ui	Si	Si/Li
20.0°- 2	1.832	-0.662	1.712	1.60	1.07	0.83	0.14	3.47	5.55
14.5°- 3	7.688	-1.925	7.443	2.08	3.58	2.00	1.58	3.63	7.55
5.8°- 4	17.100	-1.644	17.079	2.68	6.44	3.47	2.97	3.77	9.99
6.8°- 6	31.094	3.620	30.895	3.32	9.31	4.50	4.81	3.96	13.15
17.5°- 7	21.397	6.434	20.406	2.11	9.67	4.72	4.95	3.98	8.40
26.0°- 8	22.031	9.688	19.801	2.24	8.84	4.28	4.56	3.94	8.83
35.0°- 9	21.252	12.190	17.910	2.46	7.08	3.60	3.48	3.82	9.40
45.7°-10	18.574	13.286	12.980	2.87	4.52	2.35	2.17	3.69	10.89
57.4°-11	11.047	9.299	5.963	3.90	1.53	0.46	1.07	3.87	13.92
68.8°-12	0.638	0.592	0.229	1.48	1.55	0.00	1.55	3.62	5.36

Σ 50.79

Σ 92.74

$$Rq = 14.08$$

Análisis con valores medios

$$Fq = \frac{92.74}{50.79} = 1.83$$

Con subpresión

Tabla 14

DOVELA	Wi	Ti-wicos ²	Ni-wicos ⁴	Li	Qi=Ni/Li	Ui	Qi-Qi-Ui	Si	SiLi	Si	SiLi
20.8°- 2	18.52	-0.652	1.712	1.60	1.07	0.83	0.14	2.48	3.97	5.84	9.02
14.5°- 3	7.688	-1.925	7.443	2.08	3.58	2.00	1.58	2.60	5.41	5.85	12.17
5.5°- 4	17.188	-1.644	17.079	2.65	6.44	3.47	2.97	2.71	7.18	6.05	16.05
6.8°- 6	31.094	3.520	30.895	3.32	9.31	4.50	4.81	2.85	9.48	6.31	20.85
17.5°- 7	21.397	6.434	20.406	2.11	9.67	4.72	4.95	2.86	6.03	6.33	13.26
26.0°- 8	22.031	9.658	19.801	2.24	8.84	4.28	4.56	2.83	6.34	6.28	14.07
35.0°- 9	21.252	12.190	17.410	2.48	7.08	3.60	3.48	2.75	6.77	6.13	16.08
45.7°- 10	18.574	13.286	12.980	2.87	4.52	2.35	2.17	2.64	7.58	5.93	17.02
57.4°- 11	11.047	9.299	5.963	3.90	1.53	0.46	1.07	2.55	9.95	5.77	22.50
68.8°- 12	0.635	0.892	0.229	1.48	1.55	0.00	1.55	2.59	3.83	5.84	5.64

Σ 50.79

Σ 66.52

Σ 148.84

$$Ry = 14.08$$

Análisis con valores mínimos

$$F_b = \frac{66.52}{50.79} = 1.31$$

Análisis con valores máximos

$$F_b = \frac{148.84}{60.79} = 2.93$$

Tabla 15

CIRCULO Nº 9 (F_f) R_g=14.08

DOVELA	W _i	Ti _{wisen} α _i	Ni _{wisen} α _i	L _i	Q _i = Ni/L _i	Si	Si L _i	No cuadro	ΔL	Δh	R _i	F _f · R _i
2	0.819	-0.291	0.765	1.60	0.48	3.61	6.62	3'	1.20	0.28	10.25	3.44
3	3.436	-0.861	3.328	2.08	1.60	3.63	7.55	4	3.10	0.61	11.03	20.86
4	7.752	-0.743	7.718	2.65	2.91	3.76	9.98	5	2.80	0.61	11.03	18.84
6	15.614	1.768	15.515	3.32	4.67	3.95	13.11	6	2.60	0.61	11.10	17.60
7	11.817	3.563	11.270	2.11	5.34	4.02	8.48	7	2.10	0.61	11.10	14.22
8	13.181	5.779	11.847	2.24	5.29	4.01	8.99	8	1.70	0.61	11.10	11.51
9	13.922	7.986	11.405	2.46	4.64	3.95	9.71	9	1.50	0.61	11.20	10.25
10	13.044	9.903	9.674	2.87	3.37	3.81	10.94	18	.8(1.30)	0.61	11.46	7.27
11	10.129	8.527	5.468	3.90	1.40	3.61	14.07	19	.6(1.25)	0.61	11.64	5.32
12	0.635	0.892	0.229	1.48	0.15	3.48	5.14	12	.6(2.80)	0.61	12.83	10.96
								13	.9(2.60)	0.61	13.24	18.90
								14	2.06	0.61	13.24	16.64
								15	1.85	0.61	13.24	13.33
								20	1.50	0.61	13.24	12.11
								21	1.35	0.61	13.24	10.24
								23	1.25	0.61	12.96	9.88
								22	.7(2.1)	0.61	14.38	1.93
								24	2(1.6)	0.61	14.38	2.81
								25	2(1.6(1.5))	0.61	14.38	1.40

736.21

293.89

$$F_s = \frac{(93.59) (14.08)}{208.18 + (36.21)(14.08)} = 1.84$$

Con F_f

Análisis con valores medios

1208.18

Tabla 16

DOVELA	Wi	Tiwi senα	Niwi cosα	Li	Gi=Ni/Li	Si	SiLi	Si	SiLi	No cuadro	ΔL	Δh	Ri	Fp · Ri
2	0.819	-0.291	0.765	1.80	0.48	2.61	4.02	5.69	9.10	3'	1.20	0.20	10.25	3.44
3	3.438	-0.861	3.328	2.08	1.60	2.60	5.41	5.85	12.17	4	3.10	0.61	11.03	20.85
4	7.752	-0.743	7.716	2.66	2.91	2.70	7.16	6.04	16.01	5	2.80	0.61	11.03	18.84
6	15.614	1.768	15.614	3.32	4.67	2.64	9.43	6.29	20.88	6	2.60	0.61	11.10	17.80
7	11.817	3.653	11.270	2.11	5.34	2.89	6.10	6.39	13.48	7	2.10	0.61	11.10	14.22
8	13.181	5.779	11.847	2.24	5.29	2.89	6.47	6.38	14.29	8	1.70	0.61	11.10	11.81
9	13.922	7.986	11.405	2.46	4.64	2.64	6.99	6.29	15.47	9	1.50	0.61	11.20	10.25
10	13.844	9.903	9.674	2.87	3.37	2.74	7.86	6.10	17.81	18	1.0(1.3)	0.61	11.46	7.27
11	10.129	8.627	5.468	3.90	1.40	2.57	10.02	5.82	22.70	19	1.6(1.25)	0.61	11.64	5.32
12	0.836	0.692	0.229	1.48	0.15	2.48	3.67	5.64	8.35	12	5(2.60)	0.61	12.83	10.96
		Σ 36.21					Σ 67.13		Σ 149.96	13	9(2.60)	0.61	13.24	18.90
										14	2.06	0.61	13.24	16.64
										15	1.65	0.61	13.24	13.33
										20	1.50	0.61	13.24	12.11
										21	1.35	0.61	13.24	10.90
										23	1.25	0.61	12.96	9.88
										22	15(7.21)	0.61	14.38	1.33
										24	2(1.6)	0.61	14.38	2.81
										25	2(8.15)	0.61	14.38	1.40

Σ 208.18

Rg = 14.08

Análisis con valores mínimos

$$F_s = \frac{(67.13)(14.08)}{(36.21)(14.08) + 208.18} = 1.32$$

Análisis con valores máximos

$$F_s = \frac{(149.96)(14.08)}{(36.21)(14.08) + 208.18} = 2.94$$

Tabla 17

CIRCULO N° 3 (Subpresión)

DOVELA	Wi	Tiwisand	Niawicosa	Li	Ui=Ni/Li	Ui	Ui=Ui-Ui	Si	SiLi
28.8°- 2	0.111	-0.054	0.097	0.40	0.24	0.20	0.04	3.46	1.38
23.3°- 3	4.012	-1.893	4.424	2.20	2.01	1.43	0.58	3.52	7.76
15.7°- 4	11.125	-3.004	10.711	2.10	5.10	3.00	2.10	3.68	7.73
5.5°- 5	25.576	-2.450	25.456	3.04	8.37	4.32	4.05	3.88	11.81
6.3°- 7	33.976	3.748	33.769	3.05	11.07	5.18	5.89	4.08	12.44
16.0°- 8	25.468	7.019	24.482	2.09	11.71	5.26	6.45	4.14	8.64
24.0°- 9	26.333	10.718	24.073	2.21	10.90	4.97	5.93	4.08	9.02
33.0°-10	25.918	14.115	21.737	2.42	8.96	4.30	4.68	3.95	9.56
42.5°-11	21.950	14.829	16.184	2.74	5.91	3.25	2.66	3.74	10.24
54.0°-12	13.473	10.900	7.919	3.50	2.26	1.50	0.76	3.54	12.39
65.0°-13	2.087	1.891	0.882	2.58	0.34	0.00	0.34	3.73	9.62

Σ 55.82

Σ 100.58

Análisis con valores medios

$$F_s = \frac{100.58}{55.82} = 1.80$$

Con Subpresión

$$R_3 = 14.80$$

Tabla 18

DOVELA	Wl	Tan sen α	Nl = W cos α	Li	Ul = Nl / Li	U1	U1 = U1 - U1	S1	S1 Li	S1	S1 Li
28.8° - 2	0.111	- 0.484	0.097	0.40	0.24	0.20	0.04	2.47	0.99	5.63	2.25
23.3° - 3	4812	- 1.893	4.424	2.20	2.01	1.43	0.58	2.52	5.54	5.70	12.54
16.7° - 4	11.125	- 3.004	10.711	2.10	5.10	3.00	2.10	2.64	5.54	5.92	12.43
5.5° - 5	25.576	- 2.450	25.458	3.04	8.37	4.32	4.05	2.79	8.48	6.20	18.88
6.3° - 7	33.976	3.748	33.769	3.05	11.07	5.18	5.89	2.94	8.97	6.47	19.73
16.0° - 8	25.468	7.019	24.482	2.09	11.71	5.26	6.45	2.98	8.23	6.66	13.69
24.0° - 9	26.353	10.718	24.073	2.21	10.90	4.97	5.93	2.94	6.50	6.47	14.30
33.0° - 10	25.918	14.115	21.737	2.42	8.98	4.30	4.68	2.84	6.87	6.29	15.22
42.5° - 11	21.950	14.829	16.184	2.74	5.91	3.25	2.66	2.68	7.34	6.00	16.44
54.0° - 12	13.473	10.900	7.919	3.50	2.26	1.50	0.76	2.63	8.86	5.73	20.05
65.0° - 13	2.087	1.891	0.882	2.58	0.34	0.00	0.34	2.50	6.45	5.67	14.63

Σ 55.82

Σ 71.77

Σ 160.13

Análisis con valores mínimos

$$F_s = \frac{71.77}{55.82} = 1.29$$

$$R_3 = 14.80$$

Análisis con valores máximos

$$F_s = \frac{160.13}{55.82} = 2.87$$

$$R_3 = 14.80$$

Tabla 19

CIRCULO N°3 (Ff) R3 = 14.80

DOVELA	Wi	Tiwi senα	Niwi cosα	Li	Qi=Ni/Li	Si	Si Li	No cuadro	ΔL	Δh	Ri	Ff · Ri
2	0.050	-0.024	0.044	0.40	0.11	3.47	1.39	3	3.40	0.61	10.66	21.88
3	2.182	-0.882	1.976	2.20	0.90	3.66	7.82	4	3.10	0.61	10.74	20.31
4	4.975	-1.343	4.790	2.10	2.28	3.70	7.77	6	2.80	0.61	10.74	18.34
5	12.449	-1.193	12.392	3.04	4.08	3.89	11.82	6	2.60	0.61	10.78	17.10
7	18.219	2.010	18.106	3.08	5.94	4.08	12.45	7	2.10	0.61	10.78	13.61
8	14.718	4.056	14.148	2.09	6.77	4.17	8.71	8	1.70	0.61	10.78	11.18
9	16.203	6.590	14.801	2.21	6.70	4.16	9.20	9	1.50	0.61	10.80	9.88
10	17.128	9.328	14.365	2.42	5.94	4.08	9.88	11	.5(3.15)	0.61	12.68	11.99
11	15.520	10.485	11.443	2.74	4.18	3.90	10.68	12	.9(2.80)	0.61	13.28	20.41
12	11.003	8.901	5.232	3.50	1.49	3.62	12.66	13	2.60	0.61	13.28	21.06
13	2.087	1.891	0.882	2.58	0.34	3.50	9.02	14	2.06	0.61	13.28	16.69
								15	1.65	0.61	13.28	13.37
								18	.8(1.30)	0.61	11.02	6.99
								19	.4(1.25)	0.61	11.10	2.78
								20	1.50	0.61	12.93	11.83
								21	.5(1.35)	0.61	12.65	6.21
								17	.15(2.00)	0.61	14.53	3.46
								22	.2(2.10)	0.61	14.53	3.72

Σ 39.85

Σ 101.40

Σ 230.00

Analisis con valores medios

$$F_s = \frac{(101.40)(14.80)}{(39.85)(14.80) + 230} = 1.83$$

Tabla 20

DOVELA	Wi	Tiwisena	Niwisena	Li	Qi=Ni/Li	Si	SiLi	Si	SiLi	No cuadro	ΔL	Δh	Ri	Ff · Ri
2	0.050	- 0.024	0.044	0.40	0.11	2.48	0.99	5.64	2.26	3	3.40	0.61	10.55	21.88
3	2.152	- 0.852	1.976	2.20	0.90	2.54	5.69	5.75	12.65	4	3.10	0.61	10.74	20.31
4	4.975	- 1.543	4.790	2.10	2.28	2.65	5.67	5.95	12.50	5	2.80	0.61	10.74	18.34
5	12.449	- 1.193	12.392	3.04	4.08	2.79	8.48	6.21	18.88	6	2.60	0.61	10.78	17.10
7	18.219	2.010	18.108	3.05	5.94	2.94	8.97	6.47	19.73	7	2.10	0.61	10.78	13.81
8	4.718	4.056	14.148	2.09	6.77	3.01	6.29	6.59	13.77	8	1.70	0.61	10.78	11.18
9	16.203	6.590	14.801	2.21	6.70	3.00	6.63	6.58	14.54	9	1.50	0.61	10.80	9.88
10	17.128	9.328	14.385	2.42	5.94	2.94	7.11	6.47	15.66	11	.5(3.15)	0.61	12.66	11.99
11	15.520	10.485	11.443	2.74	4.18	2.80	7.67	6.22	17.04	12	.9(2.60)	0.61	13.28	20.41
12	11.003	8.901	5.232	3.50	1.49	2.59	9.07	5.83	20.41	13	2.60	0.61	13.28	21.06
13	2087	1891	0.882	2.58	0.34	2.50	6.45	5.67	14.63	14	2.06	0.61	13.28	16.69
		39.85				72.82			162.07	15	1.65	0.61	13.28	13.37
										18	.8(1.30)	0.61	11.02	6.99
										19	.4(1.25)	0.61	11.10	2.78
										20	1.50	0.61	12.93	11.83
										21	.5(1.35)	0.61	12.68	5.21
										17	.15(2.60)	0.61	14.53	3.46
										22	.2(2.10)	0.61	14.53	3.72
														230.00

$$R_3 = 14.80$$

Análisis con valores mínimos

$$F_B = \frac{(72.82)(14.80)}{(39.85)(14.80) + 230.00} = 1.31$$

Análisis con valores máximos

$$F_B = \frac{(162.07)(14.80)}{(39.81)(14.80) + 230.00} = 2.93$$

Tabla 21

CIRCULO Nº 1 (Subpresión)

DOVELA	Wi	Ti=wi sen α	Ni=wi cos α	Li	Ui=Ni/Li	Ui	Ui=Ui-Ui	Si	SiLi
35.4° 3	0.247	-0.142	0.202	0.60	0.34	0.33	0.01	3.46	2.08
29.5° 4	6.024	-2.920	6.269	2.33	2.26	1.62	0.64	3.53	8.22
21.0° 5	13.098	-4.694	12.228	2.13	6.74	3.23	2.51	3.72	7.93
14.0° 6	18.916	-4.201	18.443	2.05	9.00	4.48	4.52	3.93	8.06
4.7° 7	27.391	-2.150	27.306	2.31	11.82	6.38	6.44	4.13	9.58
4.7° 8	23.777	1.460	23.742	1.73	13.72	6.83	7.09	4.29	7.42
10.5° 9	30.080	5.481	29.578	2.04	14.50	6.00	8.50	4.35	8.88
16.6° 10	31.779	10.172	30.107	2.13	14.13	6.93	8.20	4.32	9.20
27.0° 11	30.480	13.842	27.165	2.26	12.07	6.52	6.55	4.15	9.33
36.0° 12	26.028	15.299	21.057	2.47	8.52	4.66	3.87	3.87	9.55
46.0° 13	19.201	13.811	13.339	2.94	4.54	3.36	1.19	3.58	10.51
57.0° 14	6.458	5.418	3.517	3.53	1.00	1.50	-0.50	0.00	0.00

Σ 51.36

Σ 88.68

Analisis con valores medios

$$F_s = \frac{88.68}{51.36} = 1.73$$

Con Subpresión

$$R = 14.00$$

Tabla 22

DOVELA	Wi	Ti=wi sen α	Ni=wi cos α	Li	Oi=Ni/Li	Ui	Oi=Oi-Ui	Si	Si Li	Si	Si Li
35.4° 3	0.247	-0.142	0.202	0.60	0.34	0.33	0.01	2.47	1.48	5.62	3.37
29.5° 4	6.024	-2.920	5.269	2.33	2.26	1.62	0.64	2.52	5.07	5.71	13.30
21.0° 5	13.098	-4.694	12.228	2.13	5.74	3.23	2.51	2.67	5.69	5.98	12.74
14.0° 6	18.916	-4.201	18.443	2.05	9.00	4.48	4.52	2.83	5.80	6.27	12.86
4.7° 7	27.391	-2.160	27.306	2.31	11.82	5.38	6.44	2.98	6.88	6.55	15.13
4.7° 8	23.777	1.480	23.732	1.73	13.72	5.83	7.89	3.10	5.36	6.75	11.68
10.5° 9	30.080	5.481	29.578	2.04	14.50	6.00	8.50	3.14	6.41	6.84	13.98
18.6° 10	31.779	10.172	30.107	2.13	14.13	5.93	8.20	3.12	6.65	6.80	14.48
27.0° 11	30.488	13.842	27.165	2.25	12.07	5.52	6.55	2.99	6.73	6.56	14.76
36.0° 12	26.028	15.299	21.057	2.47	8.52	4.65	3.87	2.78	6.87	6.18	15.26
46.0° 13	19.201	13.811	15.339	2.94	4.54	3.35	1.19	2.56	7.53	5.79	17.02
57.0° 14	6.458	5.416	3.517	3.53	1.00	1.50	-0.50	—	—	—	—

Σ 51.36

Σ 65.27

Σ 144.54

R1 = 14.80

Análisis con valores mínimos

$$F_6 = \frac{65.27}{51.36} = 1.27$$

Análisis con valores máximos

$$F_6 = \frac{144.54}{51.36} = 2.81$$

Tabla 23

CIRCULO Nº 1 (F_f) R_i = 14.80

DOVELA	W _i	Ti.wisen	Ni.wicos	L _i	G _i = Ni/L _i	Si	SiLi	No cuadro	ΔL	Δh	R _i	F _f , R _i
3	0.110	-0.063	0.090	0.60	0.15	3.48	2.09	1	0.90	0.30	9.68	2.61
4	2.694	-1.308	2.356	2.33	1.01	3.88	8.31	2	0.85 (3.8)	0.61	10.27	19.17
5	6.378	-2.208	5.988	2.13	2.80	3.78	7.99	3	3.40	0.61	10.28	21.28
6	9.726	-2.160	9.483	2.08	4.63	3.98	8.09	4	3.10	0.61	10.28	19.38
7	14.899	-1.170	14.883	2.31	6.43	4.13	9.55	5	2.80	0.61	10.28	17.81
8	13.660	0.827	13.534	1.73	7.82	4.28	7.40	6	2.60	0.61	10.28	16.26
9	17.870	3.286	17.572	2.04	8.61	4.38	8.90	7	2.10	0.61	10.28	13.13
10	19.748	6.322	18.710	2.13	8.78	4.38	9.33	8	1.70	0.61	10.28	10.63
11	19.338	8.779	17.230	2.26	7.66	4.28	9.69	9	9 (1.5)	0.61	10.50	18.85
12	16.618	9.768	13.444	2.47	5.44	4.03	9.95	10	6 (3.4)	0.61	12.60	15.68
13	12.661	9.100	8.789	2.94	2.99	3.77	11.08	11	3.15	0.61	13.10	25.17
14	4.281	3.590	2.331	3.53	0.66	3.53	12.46	12	2.80	0.61	13.10	22.37
		Σ 34.68					Σ 104.74	13	2.60	0.61	13.10	20.78
								14	2.06	0.61	13.10	18.46
								15	1.65	0.61	12.42	12.50
								16	1.81 (2.7)	0.61	14.60	3.61
								17	1.81 (2.6)	0.61	14.60	3.47

$$F_s = \frac{(104.74)(14.80)}{(14.80)(34.66) + 248.63} = 2.03$$

Análisis con valores medios

Σ 248.63

Tabla 24

DOVELA	Wi	Ti:wi/Σ	Ni:wi/Σ	Li	Ui=Ni/Li	Si	SiLi	Si	SiLi	No cuado	ΔL	Δh	Ri	Ff·Ri
3	0.110	-0.063	0.090	0.60	0.15	2.48	1.49	5.64	3.38	1	0.90	0.30	9.65	2.61
4	2.694	-1.306	2.356	2.33	1.01	2.55	5.94	5.77	13.44	2	.85(3.6)	0.61	10.27	19.17
5	6.278	-2.286	5.955	2.13	2.80	2.69	5.73	6.02	12.82	3	3.40	0.61	10.28	21.26
6	9.28	-2.160	9.483	2.06	4.63	2.84	5.82	6.29	12.89	4	3.10	0.61	10.25	19.38
7	14.899	-1.170	14.853	2.31	6.43	2.98	6.88	6.54	16.11	5	2.60	0.61	10.25	17.61
8	13.60	0.827	13.534	1.73	7.82	3.09	6.35	6.74	11.66	6	2.60	0.61	10.25	16.26
9	17.870	3.256	17.572	2.04	8.61	3.15	6.43	6.86	13.99	7	2.10	0.61	10.25	13.13
10	19.749	6.322	18.710	2.13	8.78	3.17	6.75	6.81	14.61	8	1.70	0.61	10.25	10.63
11	19.538	8.779	17.230	2.25	7.66	3.08	6.93	6.72	16.12	9	.9(1.5)	0.61	10.50	18.66
12	16.618	9.758	13.440	2.47	5.44	2.90	7.16	6.40	15.81	10	6(3.4)	0.61	12.60	15.68
13	12.651	9.100	8.789	2.94	2.99	2.71	7.97	6.05	17.79	11	3.15	0.61	13.10	25.17
14	4.281	3.590	2.331	3.53	0.66	2.82	8.89	5.71	2.016	12	2.80	0.61	13.10	22.37
		34.66				75.34			166.68	13	2.60	0.61	13.10	20.78
										14	2.06	0.61	13.10	16.40
										15	1.85	0.61	12.42	12.80
										16	.15(2.7)	0.61	14.60	3.61
										17	.15(2.6)	0.61	14.60	3.47

22 48.63

$$Ri = 14.80$$

Análisis con valores mínimos

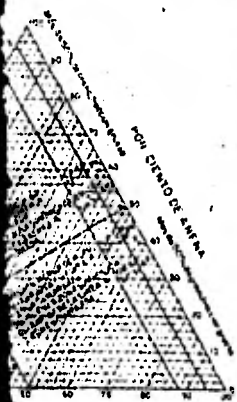
$$F_s = \frac{(75.34)(14.80)}{(34.66)(14.80) + 248.63} = 1.46$$

Análisis con valores máximos

$$F_6 = \frac{(166.68)(14.80)}{(34.66)(14.80) + 248.63} = 3.24$$

Tabla 25

IDENTIFICACION



INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL TRIANGULO

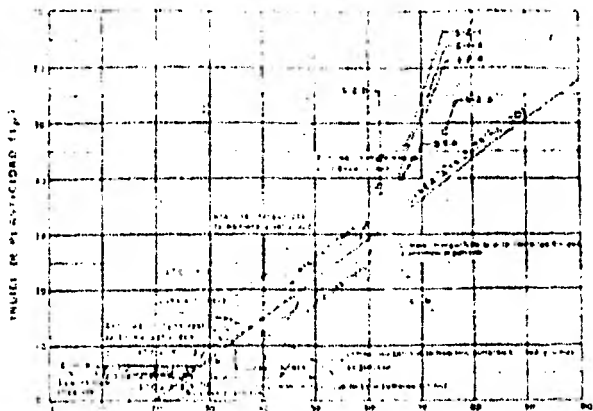
- 1) Si la muestra es de tipo homogéneo, se debe clasificar en función de su composición.
- 2) Si la muestra es de tipo heterogéneo, se debe clasificar en función de su composición y de la presencia de fragmentos de rocas.

Usar la parte inferior del triángulo para la parte que corresponde a la muestra de tipo homogéneo y la parte superior para la muestra de tipo heterogéneo.

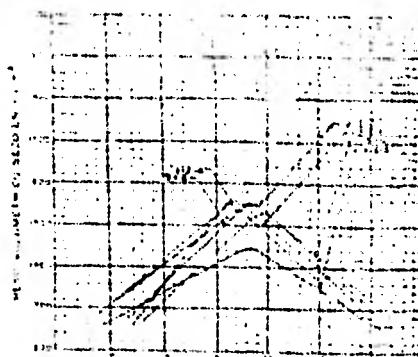
SIGNIFICADO DE LOS SIMBOLOS

Suave	G	P M H M C C C C C C
Medio	S	
Limo	M	
Argento	C	
Gravoso	G	
Gravoso	G	
Gravoso	G	
Gravoso	G	
Gravoso	G	
Gravoso	G	
Gravoso	G	

CARTA DE ELASTICIDAD



COMPACTACION PROCTER



LA CORTINA

CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

COMPRESION		TENSION		DEFORMACION		NOTAS	
W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00
70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00
60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

COMPRESION		TENSION		DEFORMACION		NOTAS	
W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)	W (%)
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00
70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00
60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

NOTAS GENERALES

ROGELIO JAIME SANCIA PERALES

FACULTAD DE INGENIERIA

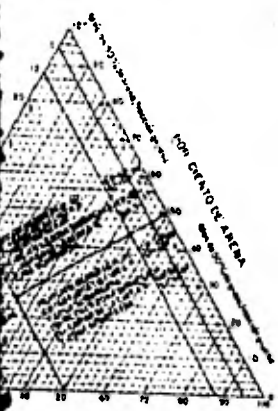
U N A M

1982

PUNTA DEL ALBA

Lago, Guaymas

ORDEN DE IDENTIFICACION

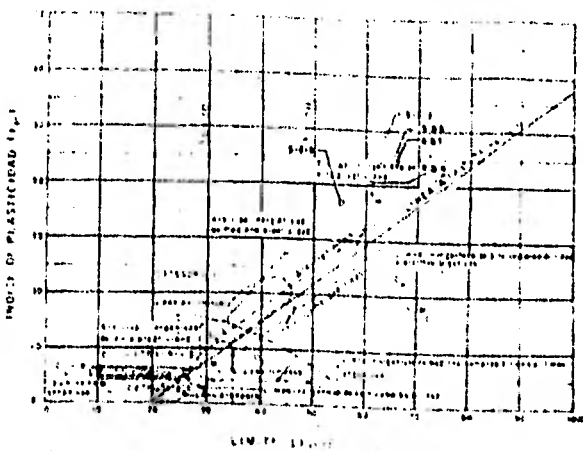


INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL TRIANGULO
 1.- Se comprime el suelo en el triángulo...
 2.- Se toma el punto de equilibrio...
 3.- Se toma el punto de equilibrio...
 4.- Se toma el punto de equilibrio...

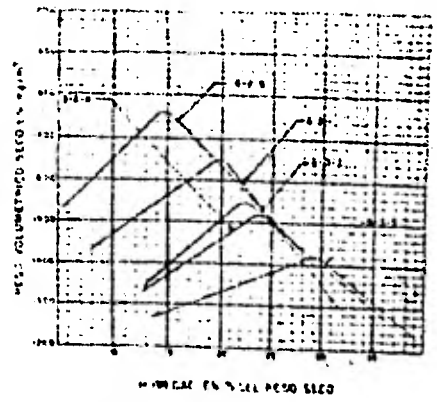
- LEYENDA DE LOS SÍMBOLOS
- Grava G
 - Arena A
 - Limo L
 - Argila C
 - Suelos orgánicos O
 - Carbón S
 - Peso específico e
 - Composición
 - Si se procesa
 - Moisture

ORIENTACION DE GRAVA

CARTA DE PLASTICIDAD



COMPACTACION PROCTOR



CAS DE LA CORTINA

COMPRESION TRIAXIAL		COMPRESION RELATIVA		NOTAS
σ _v	σ _h	σ _v	σ _h	
1000	0	1000	0	MUESTRA NATURAL
1000	100	1000	100	MUESTRA NATURAL
1000	200	1000	200	MUESTRA NATURAL
1000	300	1000	300	MUESTRA NATURAL
1000	400	1000	400	MUESTRA NATURAL
1000	500	1000	500	MUESTRA NATURAL
1000	600	1000	600	MUESTRA NATURAL
1000	700	1000	700	MUESTRA NATURAL
1000	800	1000	800	MUESTRA NATURAL
1000	900	1000	900	MUESTRA NATURAL
1000	1000	1000	1000	MUESTRA NATURAL
1000	1100	1000	1100	MUESTRA NATURAL
1000	1200	1000	1200	MUESTRA NATURAL
1000	1300	1000	1300	MUESTRA NATURAL
1000	1400	1000	1400	MUESTRA NATURAL
1000	1500	1000	1500	MUESTRA NATURAL
1000	1600	1000	1600	MUESTRA NATURAL
1000	1700	1000	1700	MUESTRA NATURAL
1000	1800	1000	1800	MUESTRA NATURAL
1000	1900	1000	1900	MUESTRA NATURAL
1000	2000	1000	2000	MUESTRA NATURAL
1000	2100	1000	2100	MUESTRA NATURAL
1000	2200	1000	2200	MUESTRA NATURAL
1000	2300	1000	2300	MUESTRA NATURAL
1000	2400	1000	2400	MUESTRA NATURAL
1000	2500	1000	2500	MUESTRA NATURAL
1000	2600	1000	2600	MUESTRA NATURAL
1000	2700	1000	2700	MUESTRA NATURAL
1000	2800	1000	2800	MUESTRA NATURAL
1000	2900	1000	2900	MUESTRA NATURAL
1000	3000	1000	3000	MUESTRA NATURAL
1000	3100	1000	3100	MUESTRA NATURAL
1000	3200	1000	3200	MUESTRA NATURAL
1000	3300	1000	3300	MUESTRA NATURAL
1000	3400	1000	3400	MUESTRA NATURAL
1000	3500	1000	3500	MUESTRA NATURAL
1000	3600	1000	3600	MUESTRA NATURAL
1000	3700	1000	3700	MUESTRA NATURAL
1000	3800	1000	3800	MUESTRA NATURAL
1000	3900	1000	3900	MUESTRA NATURAL
1000	4000	1000	4000	MUESTRA NATURAL
1000	4100	1000	4100	MUESTRA NATURAL
1000	4200	1000	4200	MUESTRA NATURAL
1000	4300	1000	4300	MUESTRA NATURAL
1000	4400	1000	4400	MUESTRA NATURAL
1000	4500	1000	4500	MUESTRA NATURAL
1000	4600	1000	4600	MUESTRA NATURAL
1000	4700	1000	4700	MUESTRA NATURAL
1000	4800	1000	4800	MUESTRA NATURAL
1000	4900	1000	4900	MUESTRA NATURAL
1000	5000	1000	5000	MUESTRA NATURAL

CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL		NOTAS
σ _v	σ _h	
1000	0	
1000	100	
1000	200	
1000	300	
1000	400	
1000	500	
1000	600	
1000	700	
1000	800	
1000	900	
1000	1000	
1000	1100	
1000	1200	
1000	1300	
1000	1400	
1000	1500	
1000	1600	
1000	1700	
1000	1800	
1000	1900	
1000	2000	
1000	2100	
1000	2200	
1000	2300	
1000	2400	
1000	2500	
1000	2600	
1000	2700	
1000	2800	
1000	2900	
1000	3000	
1000	3100	
1000	3200	
1000	3300	
1000	3400	
1000	3500	
1000	3600	
1000	3700	
1000	3800	
1000	3900	
1000	4000	
1000	4100	
1000	4200	
1000	4300	
1000	4400	
1000	4500	
1000	4600	
1000	4700	
1000	4800	
1000	4900	
1000	5000	

ROGELIO JAIME GARCIA PENALES
 FACULTAD DE INGENIERIA
 U N A M
 1982

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA DE INGENIERIA
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

BLOQUE DE IDENTIFICACION

INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL TRIANGULO

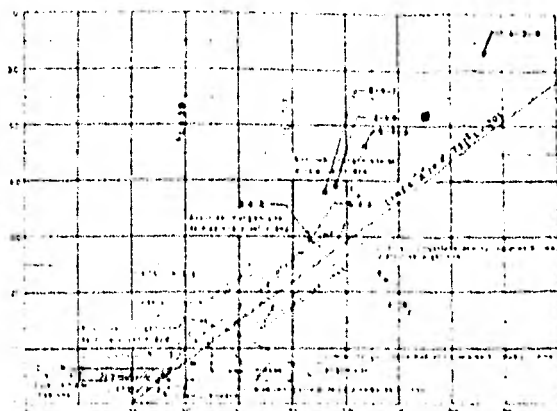
1. Se muestra el 100% de la masa seca.
2. Se muestra el 100% de la masa húmeda.
3. Se muestra el 100% de la masa líquida.

Usar la gráfica para determinar el porcentaje de agua en el suelo.

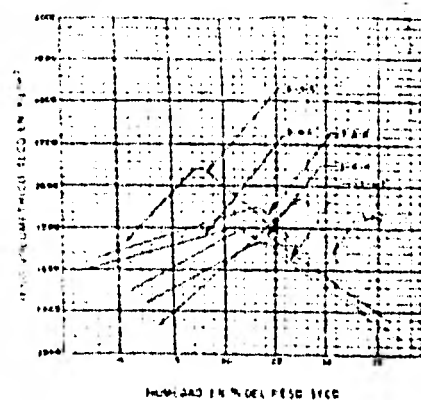
SIGNIFICADO DE LOS MEDIDOS

- Cilindro C
- Área A
- Línea M
- Gráfica G
- Suelo orgánico S
- Terzo T
- Peso húmedo P
- Comprimido C
- Sin gradiente G
- Multiplicado M

CARTA DE PLASTICIDAD



COMPACTACION PROCTOR



POR CIENTO DE GRASA

HUMEDAD EN % DEL PESO SECO

ESTADÍSTICAS DE LA CORTINA

GRUPO	COMPACTACION	EN	TRAYectoria	TIPO DE PAVIMENTACION	SECCION	NOTAS
0.01	1000	1000	1000	1000	1000	
0.02	1000	1000	1000	1000	1000	
0.03	1000	1000	1000	1000	1000	
0.04	1000	1000	1000	1000	1000	
0.05	1000	1000	1000	1000	1000	
0.06	1000	1000	1000	1000	1000	
0.07	1000	1000	1000	1000	1000	
0.08	1000	1000	1000	1000	1000	
0.09	1000	1000	1000	1000	1000	
0.10	1000	1000	1000	1000	1000	

CONSTRUCCION DE UNIDIMENSIONAL

GRUPO	COMPACTACION	EN	TRAYectoria	TIPO DE PAVIMENTACION	SECCION	NOTAS
0.11	1000	1000	1000	1000	1000	
0.12	1000	1000	1000	1000	1000	
0.13	1000	1000	1000	1000	1000	
0.14	1000	1000	1000	1000	1000	
0.15	1000	1000	1000	1000	1000	
0.16	1000	1000	1000	1000	1000	
0.17	1000	1000	1000	1000	1000	
0.18	1000	1000	1000	1000	1000	
0.19	1000	1000	1000	1000	1000	
0.20	1000	1000	1000	1000	1000	

ROGELIO JAIME GARCIA PERALES

FACULTAD DE INGENIERIA

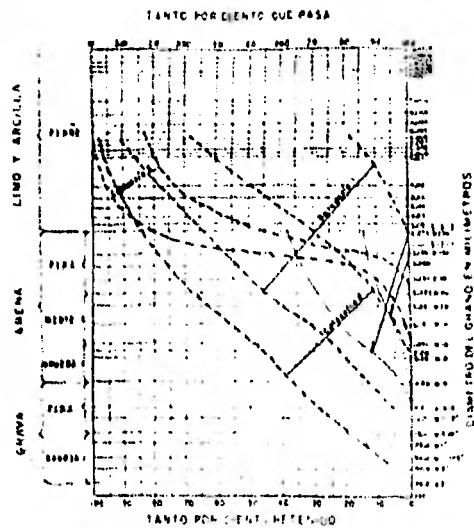
UNAM

1982

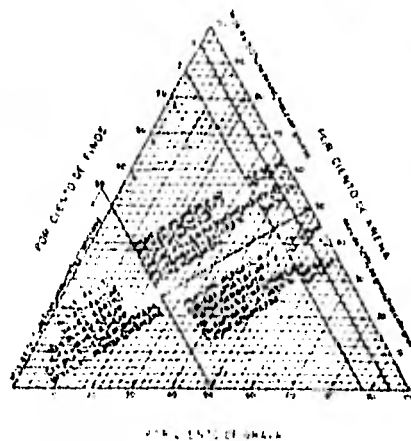
PRESA EL ALBA

Logo, Guaymas

GRAFICA GRANULOMETRICA



TRIANGULO DE IDENTIFICACION



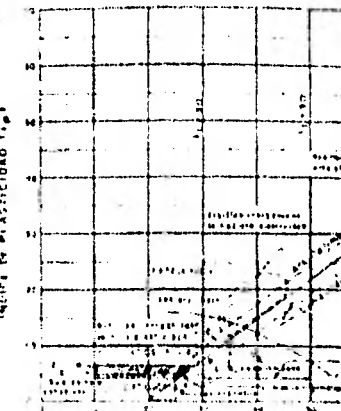
INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL TRIANGULO

Este triángulo de identificación se utiliza para clasificar los suelos de acuerdo con el porcentaje de arena, limo y arcilla que contiene. El triángulo está dividido en regiones que corresponden a los tipos de suelos.

Para utilizar el triángulo se debe seguir el siguiente procedimiento:

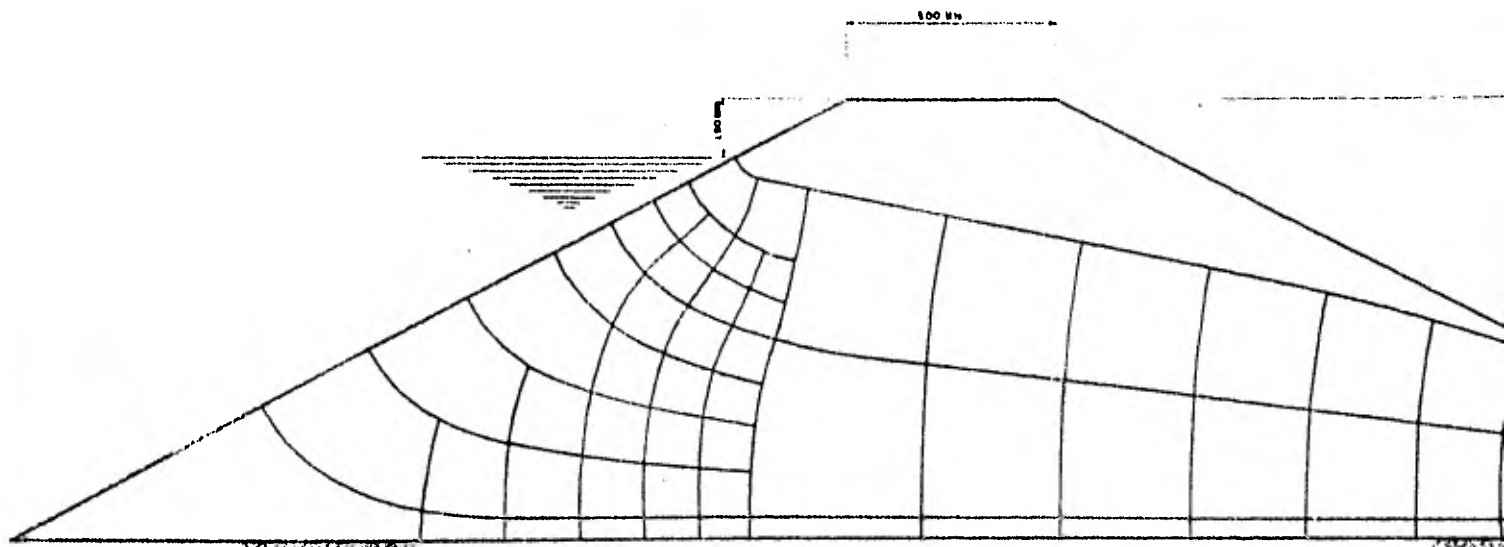
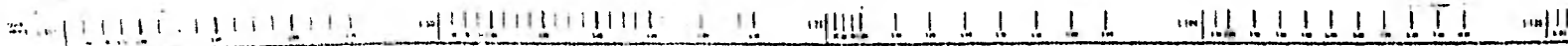
ESCALA DE LOS TIPOS DE SUELOS

- Suave S
- Limo L
- Limosa M
- Barro B
- Barro negro BN
- Barro BL
- Barro compacto BC
- Compaction C
- Barro grisado BG
- Barro gredoso GR



RESUMEN DE CARACTERISTICAS DE LA CORTINA

ESTRATIGRAFIA	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	LIQUIDEZ (%)	OTRAS CARACTERISTICAS	NOTAS
1	0.00 - 0.50	TIPO DE SUELO	ARENA: 70, LIMO: 20, ARCILLA: 10	15	25		
2	0.50 - 1.00	TIPO DE SUELO	ARENA: 60, LIMO: 30, ARCILLA: 10	18	28		
3	1.00 - 1.50	TIPO DE SUELO	ARENA: 50, LIMO: 40, ARCILLA: 10	20	30		
4	1.50 - 2.00	TIPO DE SUELO	ARENA: 40, LIMO: 50, ARCILLA: 10	22	32		
5	2.00 - 2.50	TIPO DE SUELO	ARENA: 30, LIMO: 60, ARCILLA: 10	25	35		
6	2.50 - 3.00	TIPO DE SUELO	ARENA: 20, LIMO: 70, ARCILLA: 10	28	38		
7	3.00 - 3.50	TIPO DE SUELO	ARENA: 10, LIMO: 80, ARCILLA: 10	30	40		
8	3.50 - 4.00	TIPO DE SUELO	ARENA: 5, LIMO: 85, ARCILLA: 10	32	42		
9	4.00 - 4.50	TIPO DE SUELO	ARENA: 2, LIMO: 90, ARCILLA: 8	35	45		
10	4.50 - 5.00	TIPO DE SUELO	ARENA: 1, LIMO: 95, ARCILLA: 4	38	48		

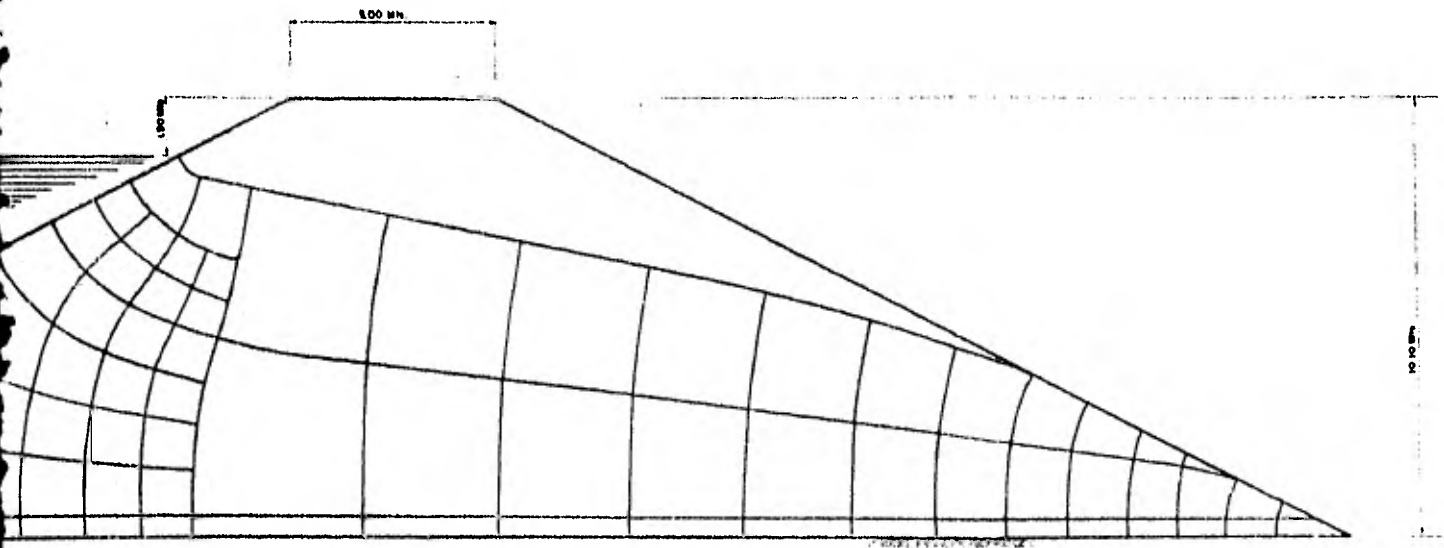
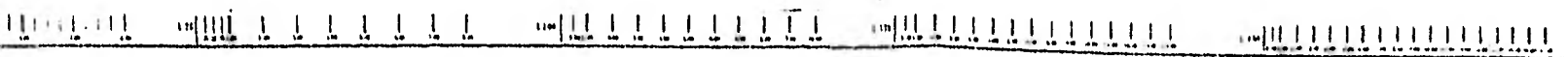


APSA

RED DE FLUJO A PRESA LLENA
(SECCION MAXIMA) EDC 1000

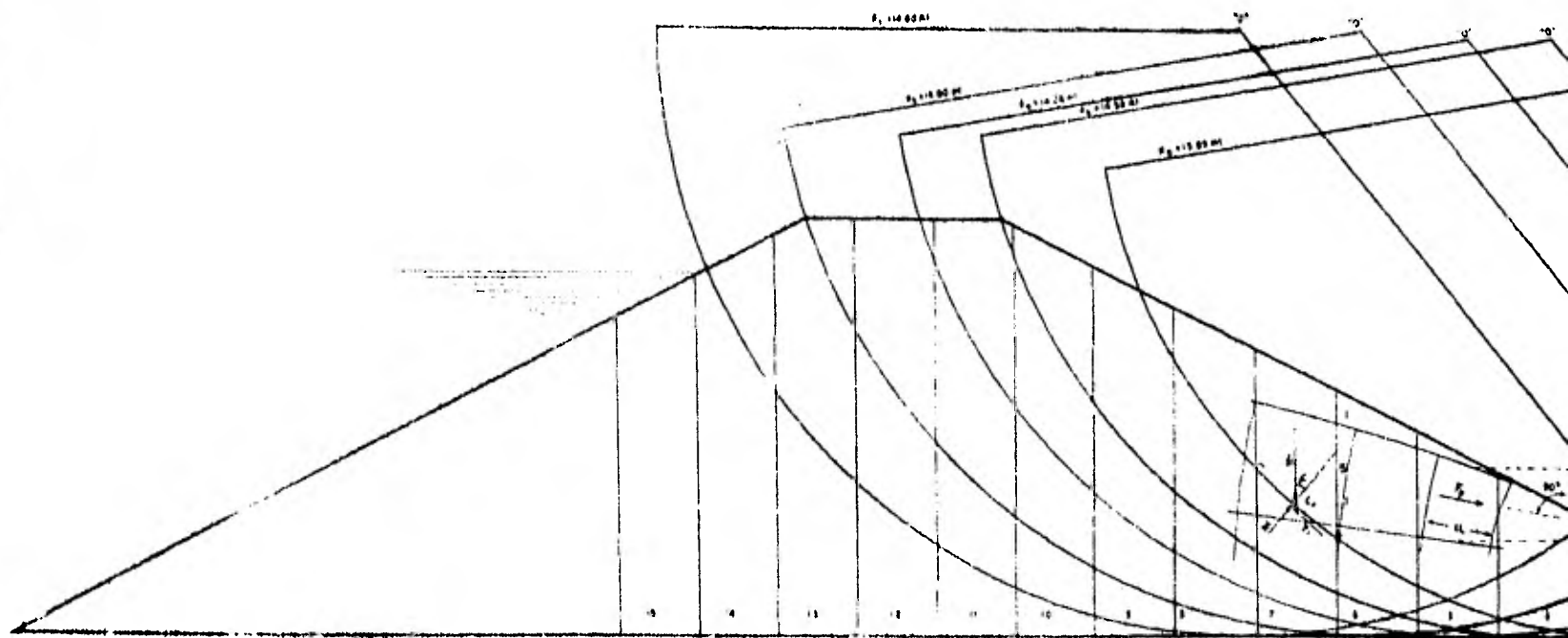
NO.	DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD	NOTAS
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9



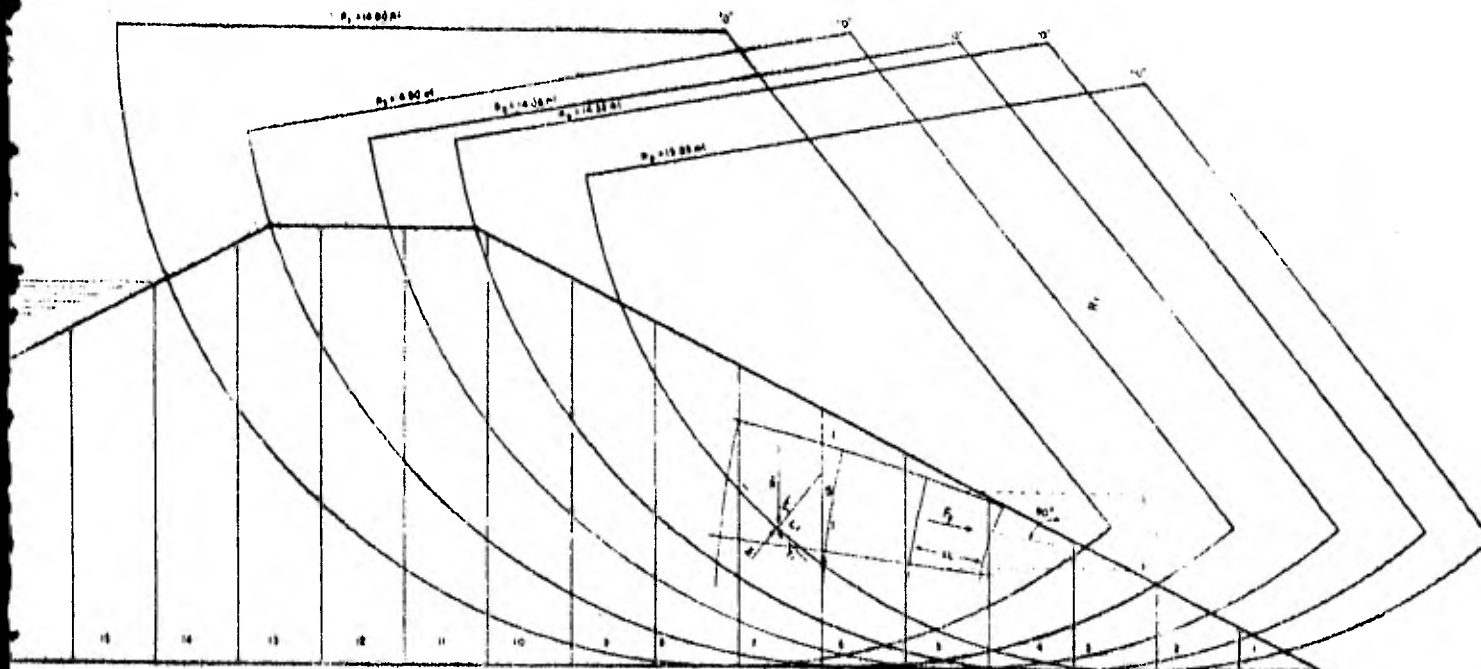
RED DE FLUJO A PRESA LLENA
(SECCION MAXIMA) ESC 1:500

PRESA EL ALBA LEON 470		
ROSELIO JAMES BARRERA PERALES FACULTAD DE INGENIERIA UNAM		
TITULO PLANO N° 1	FECHA 1980	ESCALA 1:500



CIRCULOS DE FALLA CRITICOS A PREBA LLENA
 (DIRECCION MAXIMA) ESC. 1:400

NO.	FECHA	CONFECCION DEL DISEÑO
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		



CIRCULOS DE FALLA CRITICOS A PRESA LLENA

(SECCION PARALELA)

ENC. 125

PRESA EL ALBA
LEON 1960

RODELIO JAMES BANCIA FERRASO

PROFESOR DE INGENIERIA CIVIL

ESCALA 1:100

PLANO Nº 6

