



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
"ACATLAN"

7693352-9



"CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION
DE LA CORTINA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO
DEL P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA"
(CARACOL, GRO.)

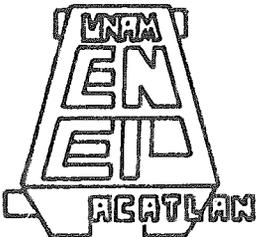
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ANGEL RAMIREZ GARCIA

M-0078741





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
ACATLÁN

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLÁN
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI/061/1985

SR. ANGEL RAMIREZ GARCIA
Alumno de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e.

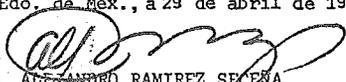
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha, 4 de marzo de 1985, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Control de Calidad en la Construcción de la Cortina de Tierra y Enrocamiento del P. H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa (Caracol, Gro.)", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Generalidades del proyecto.
- II.- Cortina de Tierra y Enrocamiento.
- III.- Criterios de Diseño respecto de los requerimientos de cada material.
- IV.- Selección de materiales.
- V.- Control de Calidad.
- VI.- Control Estadística.
- Conclusiones.

Asímismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Celso Barrera Chávez, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico 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. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlán, Edo. de Méx., a 29 de abril de 1985.


ING. ALEJANDRO RAMIREZ SECENA
Coordinador del Programa de
Ingeniería
COORDINACION DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

ARS/rcm.

A MIS PADRES

LOS SEÑORES :

Ignacio Ramírez Oropeza

Guadalupe García de Ramírez

A EL

Por su sentido de responsabilidad
y constancia en el trabajo.

A ELLA

Por su gran amor, fuerza y voluntad.
Con amor infinito.

A MIS QUERIDOS HERMANOS

Fernando y Patricia
con amor fraternal.

Al Ing. José Manuel Lémus
Por la oportunidad brindada,
ya que sin ella, esta tesis
no hubiese sido posible.

Al Ing. José Fco. Reyes Pérez
Jefe del Lab. de Mecánica de Suelos
del P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa.

Por las facilidades y asesoría prestada
durante el desarrollo de esta tesis.

Al Ing. Juan José Jiménez Cepeda
Residente de Cortina
Del P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa.
Por su constante impulso, para la termi-
nación de esta tesis.

Al Ing. Celse Barrera Chávez

Por su asesoría.

A mis amigos, compañeros
y demás familiares.

A mi escuela
la ENEP DE ACATLAN.

" CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION DE LA CORTINA DE -
TIERRA Y ENROCAMIENTO DEL P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA "
(CARACOL, GRO.)

INTRODUCCION

I GENERALIDADES DEL PROYECTO

- I.1.- Objetivo del Proyecto Hidroeléctrico
- I.2.- Localización
- I.3.- Vías de Comunicación
- I.4.- Descripción General del Proyecto Hidroeléctrico
- I.5.- Descripción de las Estructuras que componen el P.H.

II CORTINA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO

- II.1.- Geología Regional
- II.2.- Descripción de la Cortina

III CRITERIOS DE DISEÑO RESPECTO DE LOS REQUERIMIENTOS
DE CADA MATERIAL

- III.1.- Estabilidad de Taludes
- III.2.- Diseño de Filtros
- III.3.- Diseño contra Erosión de Taludes

IV SELECCION DE MATERIALES

- IV.1.- Arcilla
- IV.2.- Filtros
- IV.3.- Transición y Enrocamientos

V CONTROL DE CALIDAD

- V.1.- Terraplenes de prueba
- V.2.- Especificaciones técnicas de los materiales
- V.3.- Tratamiento de los materiales
- V.4.- Colocación de los materiales
- V.5.- Pruebas de Campo
- V.6.- Pruebas de Laboratorio

VI CONTROL ESTADISTICO

- VI.1.- Métodos Estadísticos de Control de Calidad
- VI.2.- Control Estadístico Gráfico de los resultados de -
Pruebas de Laboratorio.

CONCLUSIONES

Bibliografía

INTRODUCCION

Las presas de tierra y enrocamiento son sin lugar a dudas, una de las estructuras ingenieriles más importantes tanto por su complejidad técnica, como por las inversiones que generalmente requieren y los servicios que presta, es desde luego una de las estructuras de la ingeniería en que más deja sentir su influencia la Mecánica de Suelos.

Como se ha visto, mucho del conocimiento tiene su fundamento en la observación del comportamiento de los suelos - en el laboratorio o en la obra.

El presente trabajo trata de mostrar los estudios preliminares de los materiales localizados en la región, la selección de éstos, el tratamiento que se requiere darles para su debida colocación, basado todo ello en especificaciones - técnicas de construcción de las diferentes zonas que formarán el cuerpo de la cortina; con el apoyo de un control de - calidad mediante un laboratorio de Mecánica de Suelos; garantizando así durante la construcción con base en pruebas de - campo y laboratorio, la homogeneidad de los materiales utilizados en ésta.

El control de calidad y en especial donde interviene - el suelo como material de construcción, se ha convertido hoy en una compleja ciencia; no cabe duda que constituye por sí un nuevo campo con su propia metodología y con criterio específico y privativo.

La Mecánica de Suelos aplicada, interviene como disciplina de apoyo, en forma muy relevante y puesto que los procesos que han de controlarse estén regidos por ésta, ella ha de proporcionar los criterios para distinguir lo substancial de lo accesorio; las pruebas de campo o de laboratorio en -- que se fundamenten los juicios del control, los límites y tolerancias en que las diferentes acciones del constructor han de mantenerse.

Entre el proyecto y la obra existe todo un conjunto de pasos y criterios que será preciso garantizar para llegar a un buen resultado.

Definir los puntos vitales y ejercer en ellos una vigilancia razonable y científica, parece ser el secreto de un control exitoso.

El grado de perfección o cuidado con que se ejecute cada acción, podrá y deberá ser diferente, con tal de obtener la plena garantía de una calidad que conduzca a la del conjunto.

CAPITULO I

I.- GENERALIDADES DEL PROYECTO

I.1.- Objetivo del Proyecto Hidroeléctrico

La construcción del Proyecto Hidroeléctrico "Ing. Carlos Ramírez Ulloa", persigue varios objetivos; los más relevantes son: La generación de energía eléctrica, regulación de las aguas del Río Balsas, la creación de fuentes de trabajo, el control de la erosión, etc.

La montañosa del terreno y la ausencia de valles aprovechables para la agricultura, hacen que las aguas del Río Balsas sirvan especialmente para la generación de energía en plantas hidroeléctricas.

De esta planta su potencial eléctrico queda limitado por la variación de los niveles existentes en el vaso y la variación del gasto de agua turbinable y por otro que tiene la capacidad de almacenar energía potencial en forma de volumen de agua y carga hidráulica, a través de un período determinado de tiempo.

I.2.- Localización

El P.H. "Ing. Carlos Ramírez Ulloa", se está construyendo sobre uno de los meandros que forma el Río Balsas, en el lugar "El Caracol" en el Estado de Guerrero. La boquilla se encuentra ubicada en la parte Noroeste del mismo Estado, aproximadamente a 75 Kms., aguas abajo del cruce del Río con la carretera nacional México-Acapulco en el Puente Mezcala. La distancia de la Cd. de México al Proyecto Hidroeléctrico es aproximadamente de 225 Kms., hacia el Sur y de 125 Kms., al Suroeste de la Cd. de Iguala.

Sus coordenadas geográficas correspondientes son 17° 57' 30" de Latitud Norte con 99° 59' 8" de Longitud Oeste cerca del poblado de Apaxtla de Castrejón. (Fig. I.1 y I.2)

I.3.- Vías de Comunicación

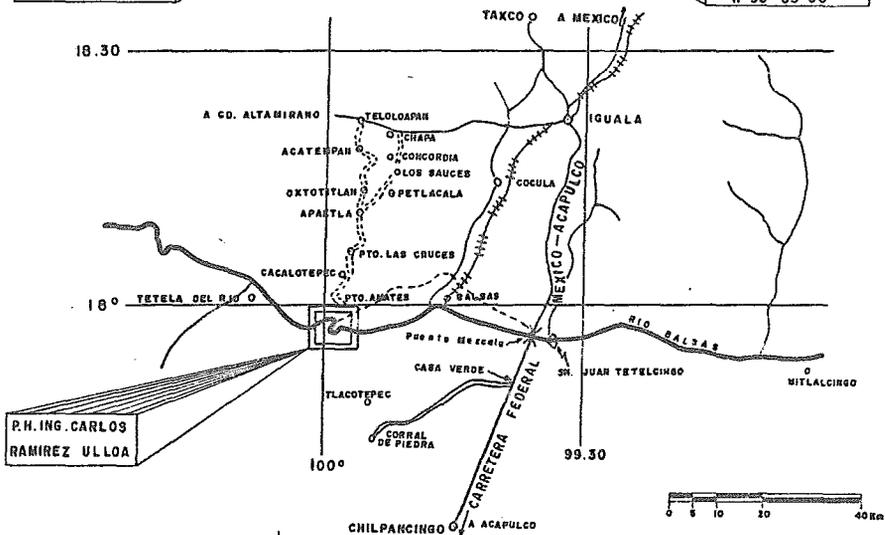
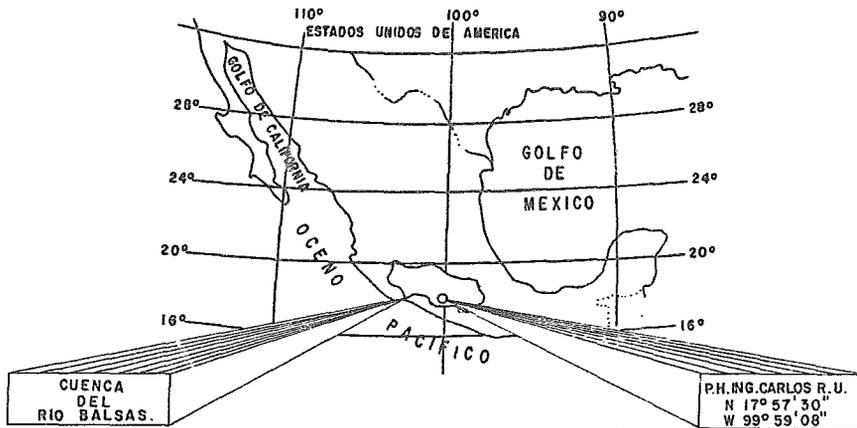
En la actualidad existen 3 formas para llegar al Proyecto y son:

- a).- Vía Terrestre.- Está comunicado por la carretera México-Acapulco hasta la Cd. de Iguala, por la carretera Iguala-Teloloapan hasta el Km., 61.0, en donde se desvía a la izquierda y desde ahí hasta el Proyecto, por medio de una carretera pavimentada que pasa por la población de Apaxtla de Castrejón y de ahí al "Caracol", con una longitud de 78 Kms.
- b).- Vía Fluvial.- Existe desde hace muchos años; por medio de lanchas de motor fuera de borda de poco calado, facilitandose el recorrido durante la época de lluvias y dificultandose en época de estío, embarcandose en la población de Mezcala.
- c).- Vía Aérea.- El acceso al Proyecto por esta vía resulta muy rápida aunque muy costosa, cubre la ruta Iguala-Caracol, haciendo un tiempo de 20 a 25 minutos en helicóptero.

I.4.- Descripción general del Proyecto

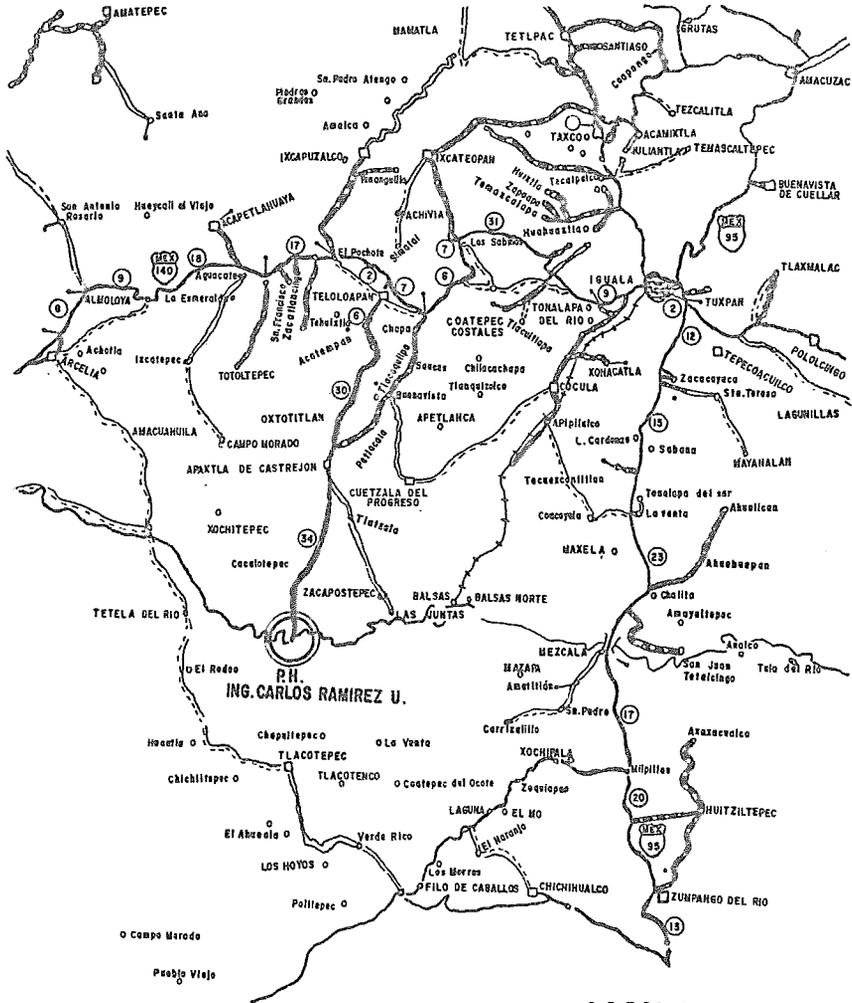
El Proyecto Hidroeléctrico "Ing. Carlos Ramírez Villal" es el tercer aprovechamiento que la Comisión Federal de Electricidad, construye sobre el Río Balsas. (Fig. I.3).

El primer aprovechamiento fué la primera etapa del P. H., El Infiernillo con cuatro unidades y una capacidad instalada de 624,000 Kw., a continuación se construyó el P.H., La Villita con una capacidad instalada de 300,000 Kw., para



P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA
EL CARACOL, GRO.

U.N.A.M.
ENER ACATLAN
FIG. I.1



LOCALIZACION

**U.N.A.M.
ENER ACATLAN
FIG. I.2**

finalmente ampliar el P.H., El Infiernillo con dos unidades cuya capacidad es de 346,000 Kw.

Con la construcción del P. H. El Caracol se logrará - ampliar la capacidad instalada en la cuenca con 570,000 Kw. y generar 1,323 Gwh. anuales.

El gasto máximo de la avenida de desvío se estimó en 4,172 M3/seg. El embalse tendrá una longitud aproximada de 40 Kms. y cubrirá una superficie de 46.8 Km²., a la elevación 521.0 M. (NAME), con una cortina de materiales graduados de 126.0 M. de altura. Esto significa una capacidad total de 1,750 millones de metros cúbicos de agua almacenada.

Con la construcción de esta presa quedarán inundados cuatro poblados y siete rancherías en una superficie de 17 Km²., cuyos habitantes serán trasladados a poblaciones nuevas en zonas señaladas al embalse, mejorando así sus actuales condiciones de vida.

Los datos Hidrológicos y del Embalse más importantes son:

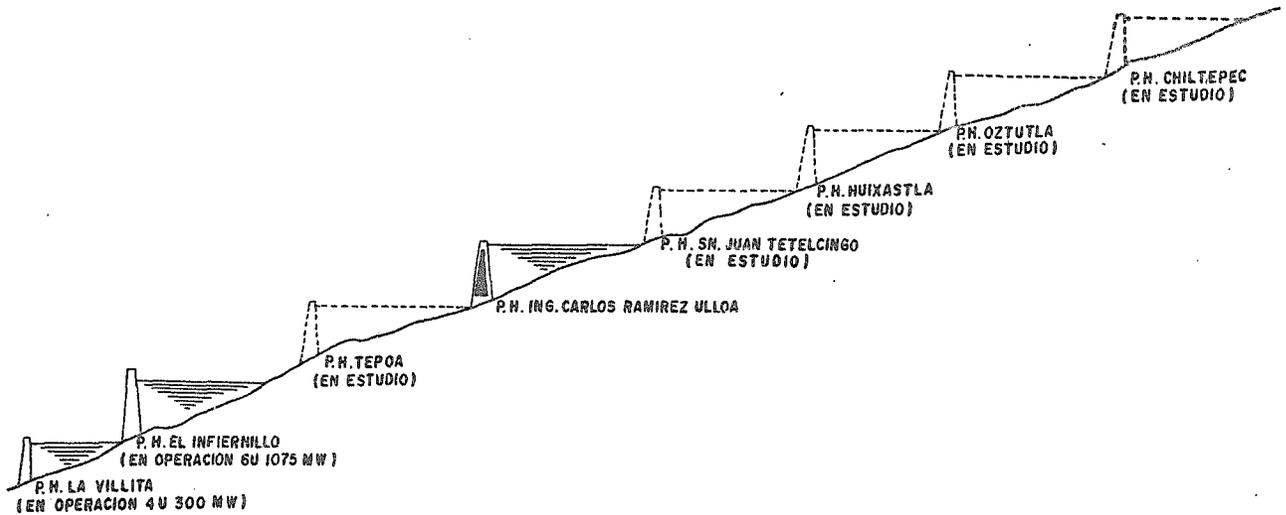
DATOS HIDROLOGICOS

Area tributaria de la cuenca -----	45,597.00 KM ² .
Escorrentamiento medio anual (1951-1976)---	6,303.85 x 10 ⁶ M3
Gasto medio -----	199.89 M3/seg.
Avenida máxima registrada -----	3,881.0 M3/seg.
Avenida máxima probable -----	17,800.0 M3/seg.
Avenida máxima de desvío -----	4,172.0 M3/seg.

DATOS DE EMBALSE

Capacidad total -----	1,750.0 x 10 ⁶ M3
Capacidad útil -----	1,500.0 x 10 ⁶ M3
Capacidad muerta -----	375.80 x 10 ⁶ M3
Capacidad central de avenidas -----	250.0 x 10 ⁶ M3

SISTEMA HIDROELECTRICO DEL RIO BALSAS



**U.N.A.M.
ENER ACATLAN
FIG. I.3**

Area máxima de embalse -----	46.80	KM ²
Nivel máximo de embalse (NAME) -----	521.0	M
Nivel máximo de operación (NAMO) -----	515.0	M
Nivel mínimo de operación (NAMINO) -----	495.0	M

I.5.- Descripción de las estructuras que componen el Proyecto Hidroeléctrico.

El Proyecto Hidroeléctrico está constituido por las siguientes estructuras:

- A).- Obras de desvío
- B).- Obra de excedencias
- C).- Obra de toma
- D).- Conducciones a presión
- E).- Casa de máquinas
- F).- Obras de desfogue
- G).- Túneles de acceso
- H).- Plataforma de transformadores y línea de transmisión.

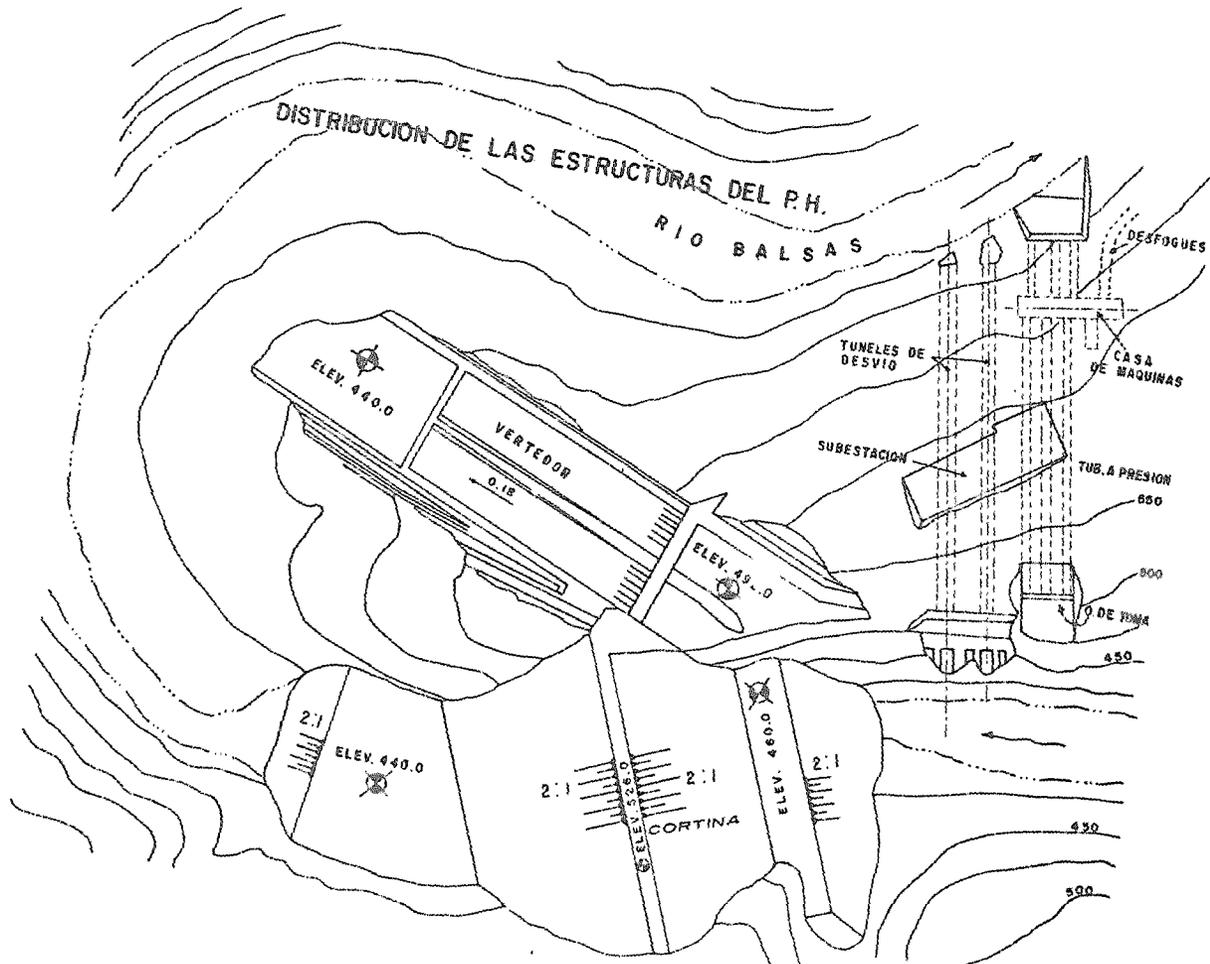
La distribución de estas estructuras se presentan en la (Figura I.4) y se describen a continuación:

A).- Obras de desvío

Las obras de desvío las constituyen los túneles de desvío y las ataguías de tierra y enrocamiento.

Las obras de desvío consisten en dos túneles de sección portal sin revestimiento de casi 400.0 M. de longitud, 13.0 M de altura máxima interior y revestido únicamente 15.0 M., en las entradas y en las salidas. Las elevaciones de los portales de entrada son de 422.0 M. y 427.0 M y en las pendientes de 0.01 % y 1.36 % de los túneles #1 y #2 respectivamente.

Las ataguías se proyectaron en base a los gastos registrados en las estaciones hidrométricas de San Juan Tetelcingo



U.N.A.M.
 ENER. ACATLAN
 FIG. 14

y Sto. Tomás; se tomó el valor del gasto de 671 M³/seg., del período de estiaje (Diciembre-Mayo), teniendo en cuenta que al colocar 300,000 M³ mensuales en la construcción de la cortina, se llega a una elevación de 440.50 M., esto proporciona sobre los túneles de desvío una carga suficiente para conducir un gasto de 4,172 M³/seg., que es la capacidad máxima de la obra.

Las ataguías proyectadas para obstaculizar el gasto en período de estiaje son dos: la de aguas arriba tiene la corona a la elevación 460.0 M. y la de aguas abajo a 440.0 M., ambas son de enrocamiento, el corazón es de arcilla impermeable y los taludes tienen pendiente 2:1.

B).- Obra de excedencias

La Obra de excedencias se contruirá sobre la margen de recha del Río, con un eje recto y la descarga en canal a cielo abierto. Tendrá compuertas radiales de 10 M. de base y - 28 M., de altura, diseñadas para desalojar un gasto máximo - probable de 11,333 M³/seg. Este gasto corresponde a una avenida de entrada al vaso de 17,800 M³/seg., (pico de avenida máxima probable). La cresta del vertedor se diseñó a la elevación 526.0 M. y tendrá una longitud de 54.0 M.

Las compuertas abrirán totalmente cuando el agua alcance la elevación 515.0 M., que es el nivel de aguas máximas - de operación (NAME). El nivel en el vaso alcanzará la elevación máxima de 521.0 M. (NAME).

La descarga se efectuará por un canal revestido de concreto con pendiente de 18.0 %, hasta la zona del deflector - tipo salto de aquí. (Elev. 440.0 M.).

En el cimacio se proyectó una galería para drenaje y - para inyecciones. Toda la losa de fondo se protegerá con una red de drenaje y un sistema de anclaje. (Fig. I.6).

DATOS DEL VERTEDOR

Longitud total de la cresta -----	54.0 M.
Elevación de la cresta del vertedor -----	526.0 M.
Elevación de la cresta del cimacio -----	495.0 M.
No. de compuertas radiales -----	8.0 Pza.
Capacidad máxima de descarga -----	17,800 M3/seg
Perfil del cimacio Hmáx/H diseño -----	1.33 M
Ancho del canal de descarga -----	118,0 M
Estructura terminal -----	Deflector.

C).- Obra de toma

El acceso a la obra de toma sobre la margen derecha del Río, está planeado con una plantilla a la elevación de 470.0M y precortes hasta 56.0 M. de altura. (Fig. I.5). Para esta obra se han proyectado tres rejillas que corresponden a 3 tomas, cada una de éstas tendrá lumbreras con ranuras para dos compuertas de tipo emergencia, de 2.50 M. x 6.50 M. y dos -- compuertas de servicio de iguales dimensiones que las anteriores, que permiten un paso máximo de agua de 257.0 M3/ seg., cada una.

DATOS DE LA OBRA DE TOMA

Tipo: Obra de toma en rampa controlada, con compuertas en -- lumbreras.

No. de tomas: 3

Gasto máximo por toma: 257.0 M3/seg.

D).- Conducciones a presión

Las conducciones a presión se localizan inmediatamente después de las compuertas de servicio de la obra de toma. Esos son túneles, cuya función es llevar el agua hacia las turbinas de la casa de máquinas. En este caso, el proyecto con-

siste básicamente en un tramo semi-horizontal y otro inclinado, conectados entre sí por curvas verticales (Fig. I.5).

El tramo semi-horizontal de 210.0 M. de longitud, 8.62 % de pendiente y 8.0 M. de diámetro estará revestido de concreto; sigue una curva vertical de 25° y 25.0 M. de longitud que se conecta al tramo inclinado de 12.0 M. de longitud y - 8.0 M. de diámetro que se adelgaza hasta los 7.5 M., para -- acoplarse a presión con su correspondiente turbina.

DATOS DE LAS TUBERIAS A PRESION

Número de conducciones a presión -----	3
Diámetro interior -----	8.0 a 7.5 M
Gasto de diseño de turbinas -----	247.0 M ³ /seg
Longitud total de conducción -----	297.0 M
Pérdida de carga con el gasto de diseño -----	1.7 M
Caída de diseño neta -----	91.3 M
Velocidad en el diámetro interior de 7.5 M. - con gasto de diseño de la turbina -----	5.59 M/seg.
Velocidad en el diámetro interior de 8.0 M. - con gasto de diseño de la turbina -----	4.91 M/seg.

E).- Casa de máquinas

La casa de máquinas es del tipo subterránea cuyo túnel tiene una longitud de 114.0 M; 20.0 M. de ancho y 39.0 M., -- de altura. En ella se alojan tres unidades turbogeneradoras de 190.0 MW., cada una alimentada por tuberías a presión que a su vez descargan en un túnel de desfogue individual (Fig.- I.5).

Agua arriba e integrada a la casa de máquinas, se -- construirá la sala de tableros con 25.0 M. x 15.0 M. de base y 30.0 M., de altura.

.Las turbinas quedarán conectadas a los transformadores

en una plataforma a cielo abierto, (elev. 485.0 M.) mediante lumbreras, una por unidad desde el piso de los cables (elev. 415.5 M.), con una sección rectangular de 2.10 x 3.05 M.

DATOS DE LA CASA DE MAQUINAS

Tipo de turbinas -----	Francis eje vertical	
No. de turbinas -----	3	
Altura máxima (NAME) 101.0 M -----	214,000	KW
Altura normal (NAMO) 95.0 M -----	214,000	KW
Altura de diseño (91.3 M) -----	200,000	KW
Altura mínima (75.6 M) -----	144,000	KW
Gasto de diseño por unidad -----	247.0	M ³ /seg
Capacidad a 60° C -----	190,000	KW
Capacidad a 80° C -----	210,000	KW
Frecuencia del alternador -----	0.95	HZ
Factor de potencia del alternador -----	0.95	HZ
Tensión nominal del alternador -----	15.0	KV
Velocidad síncrona del alternador -----	128.7	RPM
Vol. de excavación de la casa de máquinas	81,000	M ³
Vol. de excavación de la sala de tableros	11,250	M ³

F).- Obra de desfogue

Las obras de desfogue comprenden tres túneles de sección compuesta (circular - rectangular), con longitudes de 62.0 M., 78.0 M y 98.0 M., para las unidades generadoras 1, 2 y 3, respectivamente y con pendientes del 1.0 % para desalojar un gasto de 245.0 M³/seg., por unidad de desfogue.

G).- Túneles de acceso

El acceso definitivo a la casa de máquinas y a la sala de tableros se hará a través de un túnel de sección tipo portal de 8.0 M., de altura total y 5.0 M., de radio en su bóveda, con una longitud de 290.0 M. Además se construirá un tú

nel provisional de acceso de 5.0 M., de altura, sección tipo portal y 590.0 M., de longitud parte del cual será taponado con concreto para evitar filtraciones.

H).- Plataforma de transformadores y líneas

Esta plataforma será un tajo excavado a la elevación - 485.0 M., en el flanco norte de la margen derecha del Río, - sobre la casa de máquinas subterráneas, con un área de 3,300 M². La excavación requiere de varios precortes para completar una altura máxima de 80.0 M., con pendientes de 0.25 : 1 y una excavación de 160,000 M³ de roca. (Fig. I.5).

Dicha plataforma se ligará a la subestación Mezcala - (en proceso de construcción), por medio de dos líneas de -- transmisión de un circuito de 230.0 KV; la subestación el - Querado, localizada en Acapulco, Gro. y la subestación Temix co.

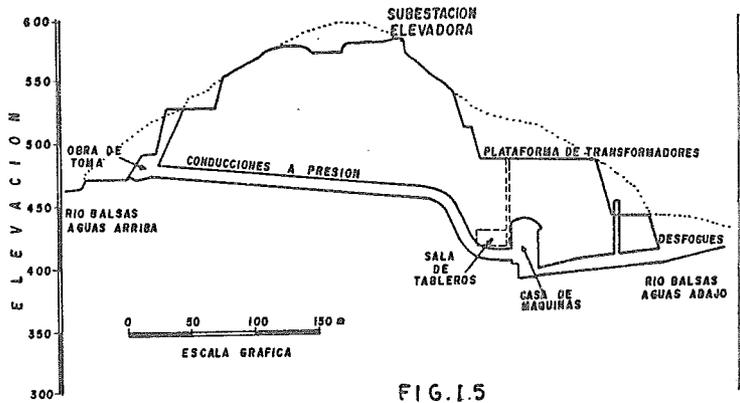


FIG. 15

CORTE LONGITUDINAL DE LA PLANTA HIDROELECTRICA

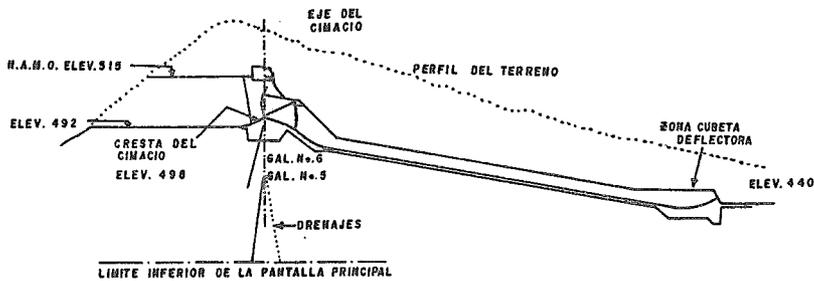


FIG. 16

PERFIL LONGITUDINAL DEL EJE DEL VERTEDOR

**U.N.A.M.
ENER ACATLAN**

CAPITULO II

II CORTINA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO

II.1 Geología Regional

El Proyecto Hidroeléctrico "Ing. Carlos Ramírez Ulloa" se encuentra ubicado en el tercio poniente de la formación geológica conocida como Mezcala. Esta formación abarca una zona de 150.0 Kms., de extensión en sentido E-W y 30 Kms., - en sentido N-S. El embalse quedará al sur de la zona correspondiente con el tercio medio de la formación Mezcala.

Dicha formación tiene aproximadamente 1,200 M., de espesor y se encuentra por encima de las rocas calizas de las formaciones Morelos y Cuautla. Su antigüedad está clasificada como cretácico superior y está constituida por una alternancia de estratos de lutitas, areniscas y tobas con espesores desde 1.0 cms., para las lutitas, hasta 3.0 y 4.0 M., para las areniscas y tobas.

La formación ha estado sujeta a compresiones de la corteza, la última compresión en dirección E-O dió lugar a plegamientos de poca extensión, los más pequeños del tipo de arrastre y los más grandes podrían quedar en bloques cúbicos de unos 250.0 M., de arista, en general los plegamientos son del tipo recumbente con el eje axial recostado formando un ángulo aproximado de 20° con la horizontal y con una distancia de 25.0 M., entre ejes axiales. Los ejes de los plegamientos tienen dirección N-S.

Este empuje de compresión E-O generó tres familias de fracturas tectónicas como sigue :

- Fracturas de tensión E-W

- Fracturas de cortante NW-SE (conjugada)
- Fracturas de cortante NE-SW (conjugada)

Existe otra familia de fracturas de tensión que tienen dirección N-S y que fueron ocasionadas probablemente por empujes ocurridos con anterioridad en dicha dirección.

Existe un Microfracturamiento muy intenso con separación entre fracturas de 5.0 cms.; generalmente estas fracturas finas están rellenas de calcita, cuarzo y pirita.

Con una estructura de roca constituida por estratos no muy gruesos, más la existencia de 4 familias de fracturas; - el Río Balsas labró su cauce formando Meandros Asimétricos - con amplitud variable entre 500.0 y 1000.0 M. Esa misma estructura ha dado origen a un sinúmero de arroyos que ocurren en cuatro direcciones con la erosión hidráulica avanzando a lo largo de la bisectriz de cada par de fracturas conjugadas.

En estas condiciones de relajación de esfuerzos en los meandros es importante, de tal manera que la circulación de agua en los planos de las fracturas ha producido una oxidación que se presenta hasta los 40.0 M., de profundidad. Esta circulación de agua produce los siguientes efectos :

- Desintegra la estructura de la roca en zonas de microfracturamiento intenso, transformándola a un material con estructura granular.
- Cambia la coloración de la roca del negro a café - rojizo y café - amarillento por efecto de la oxidación de la pirita.
- Altera las rocas ígneas intrusivas de los diques y mantos.

En la (fig. II.1) se presenta un plano mostrando la geología regional del área del caracol.

II.2. Descripción de la Cortina.

De acuerdo a su uso; la función que desempeñará la presa "Ing. Carlos Ramírez Ulloa", se clasifica como una presa - de almacenamiento para la generación de energía eléctrica.

Según sus materiales: Dentro de las presas de tierra - y enrocamiento, se clasifica como una cortina de materiales - graduados. Se ha dado este nombre a aquellas en que los mate riales que la forman se distribuyen en forma gradual, de los suelos finos que forman el corazón impermeable, pasando por - los filtros y transiciones a los enrocamientos. (Fig. II.2).

Sección .- Simétrica.

Altura de la Cortina.- La altura máxima desde la roca de cimentación hasta la corona será de 126.0 M. (elev. 400.0 a elev. 526.0 M.S.; N.M.).

Longitud de la Cortina.- 347.0 M.

Base.- El ancho aproximado de la base es de 540.0 M.

NAME: Elev. 521.0 M.S.N.M.

NAMO: Elev. 515.0 M.S.N.M.

NAMIN: Elev. 495.0 M.S.N.M.

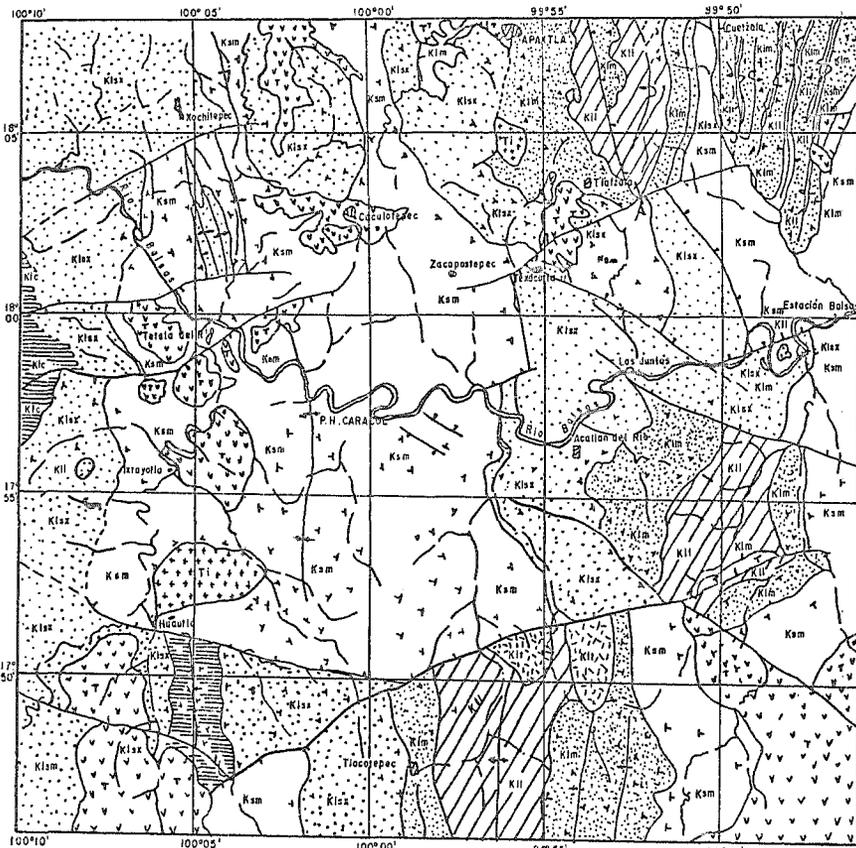
Materiales que componen las distintas zonas del cuerpo de la Cortina:

1.- Corazón impermeable (arcilla).

Talud: 0.25:1

Volúmen de proyecto : 965,736 M3

Volúmen a la fecha : 717,610 M3



MAPA GEOLOGICO DE LA REGION DEL RIO BALSAS GRO.
FIG. II

LEYENDA

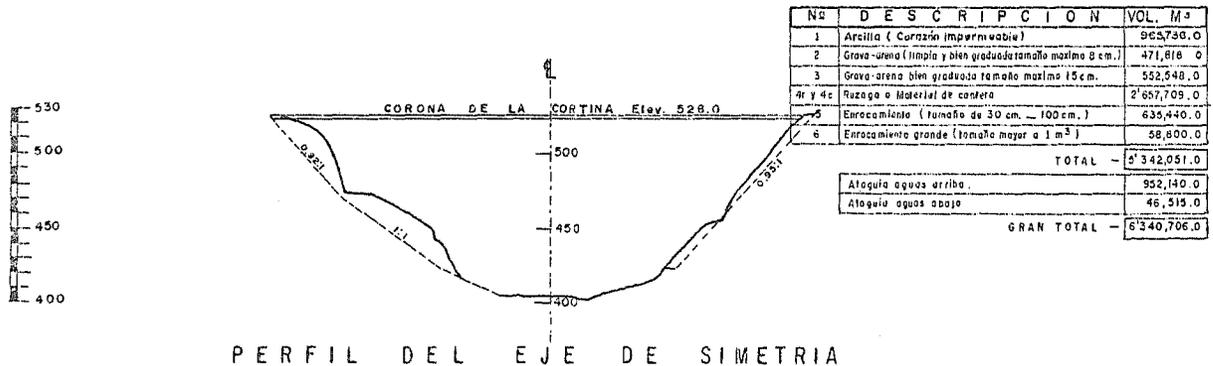
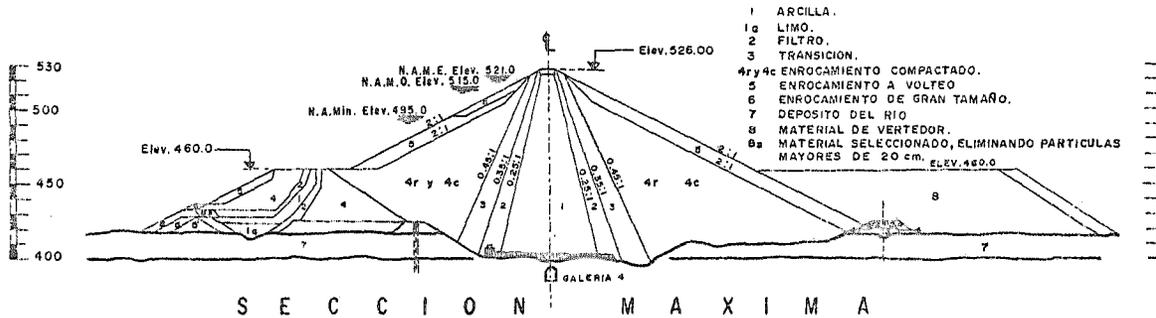
- | | | |
|-----------------|--|---|
| TERTIARIO | | ROCAS SEDIMENTARIAS Y VOLCANICAS |
| | | ROCAS INTRUSIVAS |
| CRETACICO | | FORMACION MERCALA |
| | | FORMACION XOCHIPALA |
| | | ROCAS GRANITICAS
CENOMANIANO-TURONIANAS; PUEDE
INCLUIR INTRUSIVOS TERTCIARIOS |
| | | CALIZA Y LUTITA |
| | | FORMACION MORELOS |
| | | LUTITA, ALGO DE ARENISCA Y CALIZA |
| SIMBOLOS | | |
| | | FALLA |
| | | SINCLINAL |
| | | ANTICLINAL RECOSTADO SINCLINAL RECOSTADO |

RELACIONES DE FACIES DE LAS ROCAS CRETACICAS



U.N.A.M.
ENER ACATLAN

- 2.- Filtros (Grava-Arena).
 Talud: 0.45:1
 Volúmen de proyecto : 471,818 M3
 Volúmen a la fecha : 336,327 M3
- 3 y 3c.- Transiciones (material de cantera triturado)
 Talud: 0.45:1
 Volúmen de proyecto : 552,548 M3
 Volúmen a la fecha : 371,684 M3
- 4r y 4c- Respaldos (material de excavaciones subterráneas o materiales de cantera).
 Talud: 2.0:1
 Volúmen de proyecto : 2'857.709 M3
 Volúmen a la fecha : 2'224,923 M3
- 5.- Protección de Taludes (enrocamiento a volteo)
 Talud: 2.0:1
 Volúmen de proyecto : 635,440 M3
 Volúmen a la fecha : 323,280 M3
- 6.- Protección contra oleaje (enrocamiento de gran tamaño).
 Talud: 2.0:1
 Volúmen de proyecto : 58,800 M3
 Volúmen a la fecha : 0.0 M3
- Ataguía de aguas arriba : 952,140 M3
 Ataguía de aguas abajo : 46,515 M3
- Gran Total : 6'340,706 M3



Nº	DESCRIPCION	VOL. M ³
1	Arcilla (Corona impermeable)	965,750.0
2	Grava-arena (limpia y bien graduada tamaño maximo 8 cm.)	471,618.0
3	Grava-arena bien graduada tamaño maximo 15cm.	552,548.0
4r y 4c	Razaga o Material de cantera	2'657,709.0
5	Enrocamiento (tamaño de 30 cm. - 100 cm.)	635,440.0
6	Enrocamiento grande (tamaño mayor a 1 m ²)	58,800.0
TOTAL		6'342,051.0
Ataguia aguas arriba		952,140.0
Ataguia aguas abajo		46,515.0
GRAN TOTAL		6'340,706.0

ESC. 1:3,333. 1/3

P. H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLCA

U.N.A.M.
ENER ACATLAN
FIG. II.2

CAPITULO III

III CRITERIOS DE DISEÑO RESPECTO DE LOS REQUERIMIENTOS DE CADA MATERIAL

III.1 Estabilidad de Taludes

Es importante señalar que el objetivo de este trabajo no es el presentar un análisis detallado de la estabilidad de taludes para el diseño de la cortina, sino más bien se pretende mostrar la influencia que las propiedades de los materiales tienen sobre el factor de seguridad de la misma. Es decir, establecer un criterio que permita conocer hasta donde es tolerable aceptar que las propiedades varíen, para no afectar el factor de seguridad deseado para las diferentes condiciones de servicio.

Para evaluar el efecto de la variación de las propiedades de los materiales en la estabilidad de la estructura, se hace un análisis comparativo de estabilidad de taludes, utilizando los parámetros de resistencia de los suelos, extrapolados de resultados obtenidos indirectamente de las propiedades índice, en ensayos de materiales de presas que tienen características semejantes.

Cuando en una o más superficies continuas de un terraplén y/o de su cimentación el valor medio de los esfuerzos cortantes iguala la resistencia media disponible, ocurre lo que se llama un deslizamiento o falla por cortante. Su manifestación exterior puede ir desde una distorsión más o menos notoria de los taludes, hasta un desplazamiento masivo de la cortina o de una porción importante de ella.

El diseño contra deslizamiento tiene por objeto verificar que la inclinación de los taludes no sea tan grande que origine un esfuerzo de inestabilidad en valores muy altos de los daños por deslizamiento, ni tan pequeño que dé lugar a un costo excesivo de la cortina.

El análisis de estabilidad de una presa es posible en principio, por dos métodos:

- A).- El cálculo de esfuerzos y deformaciones en todo el terraplén mediante solución numérica de las ecuaciones de la mecánica de medios continuos.
- B).- La determinación por análisis límite, de la relación entre esfuerzo cortante y resistencia a lo largo de superficies que definan un mecanismo potencial de falla; en este caso es necesario un proceso de tanteos para hallar el mecanismo con mínimo factor de seguridad.

El primer método mencionado está cada vez más cerca de ser satisfactorio. Generalmente se basa en la técnica de elementos finitos y sus limitaciones actuales más importantes radican en la dificultad para definir las relaciones, esfuerzo de deformación de los materiales involucrados.

En el método de análisis límite, la elección de los mecanismos de falla no es asunto trivial, pues sí el factor de seguridad calculado ha de tener un sentido físico y ha de determinarse mediante un número razonable de tanteos, cada mecanismo de falla analizado debe cumplir la condición de ser cinemáticamente admisible. Elegido cada mecanismo de falla

el análisis de estabilidad tiene dos aspectos igualmente importantes: La estimación de la resistencia del suelo a lo largo de las superficies de deslizamiento supuestas y el cálculo de los esfuerzos de corte actuantes en las mismas superficies. En un análisis determinista, es conveniente que ambas estimaciones sean de confiabilidad comparable.

Generalmente se considera que el diseño contra deslizamiento de una presa es satisfactorio si su factor de seguridad contra este tipo de falla en cada condición de trabajo determinado por análisis límite, es superior a cierto valor mínimo sancionado por la experiencia como adecuado.

El factor de seguridad calculado es función de ciertos detalles del procedimiento de análisis como el método de estimación de resistencia y presiones de poro. Por ejemplo es práctica corriente aceptar los siguientes factores de seguridad mínimos: 1.5 para la condición de embalse lleno a largo plazo; 1.3 para vaciado rápido; 1.1 (si las presiones de poro se miden in situ), para la etapa de construcción. Ante sollicitaciones sísmicas el factor de seguridad no se encuentra bien definido, aunque para algunos autores el factor de seguridad no debe ser menor de 1.3.

En este trabajo el cálculo de factor de seguridad se hará mediante análisis límite utilizando el método sueco. (Método de Fellenius). Este método está basado en las siguientes hipótesis simplificatorias:

- 1.- La superficie de falla es cilíndrica.

- 2.- La prisma deslizante se desplaza como cuerpo rígido, girando sobre el eje del cilindro.
- 3.- Cada dovela funciona independientemente de sus vecinas.
- 4.- El valor del factor de seguridad del conjunto de dovelas es el promedio de los valores de todas las dovelas.
- 5.- El esfuerzo cortante en las caras verticales se considera cero.

CONDICIONES CRITICAS EN LA ESTABILIDAD DE UNA PRESA

Generalmente la estabilidad de una presa pasa por tres estados críticos en los cuales debe verificarse que el diseño contra deslizamientos es adecuado:

- A). Al final de la construcción.
- B). A largo plazo y con presa llena.
- C). Durante vaciado rápido.

Un cuarto estado crítico, que puede presentarse en forma combinada con los ya mencionados, sucede bajo excitación sísmica, en donde a las fuerzas actuantes permanentes se suman fuerzas de inercia alternantes debidas a la respuesta dinámica de la cortina. Esta variación de esfuerzos a su vez, induce cambios de presión de poro y de resistencia a los suelos. Los resultados netos son variaciones transitorias del factor de seguridad en uno y otro sentido.

Debido a que el período durante el cual disminuye el factor de seguridad es muy pequeño, dicho factor de seguridad puede alcanzar transitoriamente valores aún menores que la unidad sin que necesariamente resulte una falla por cor--

tante.

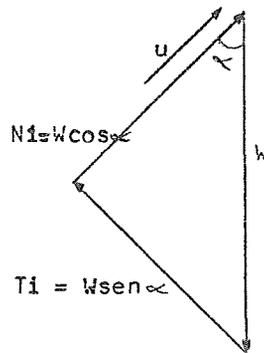
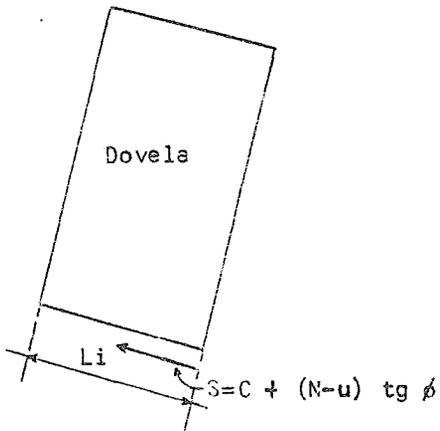
PROCEDIMIENTO DE CALCULO

- 1.- La posible masa deslizante se divide en un número de dovelas (usualmente, pero no necesariamente, - del mismo ancho). Como el problema es bidirensional, la sección de la cortina se analiza suponiendo un espesor unitario (1.0 metro).
- 2.- Para cada dovela, se calculan las siguientes fuerzas:
 - a) El peso total (W) el cual es igual al área de la dovela multiplicado por el peso volumétrico del material.
 - b) La fuerza normal actuante en la base de la dovela $N=W \cos \alpha$.
 - c) La fuerza total del agua, para presa llena -- (presión de poro para presa vacía y vaciado rápido) actuando en la base de la dovela la cual equivale al promedio de la presión hidrostática multiplicado por la longitud de la base de la dovela. $V= u L_i$
 - d) El valor $T_i = W \operatorname{sen} \alpha$.
 - e) La componente total de la resistencia al corte debida a la cohesión la cual es igual al valor de la cohesión multiplicada por la longitud de la base de la dovela $C = C_i L_i$.
 - f) La fuerza resistente total que se desarrolle en la base de la dovela a la falla, $S=C + (N-U) \tan \phi$.

3.- Los resultados de estos cálculos son tabulados y la suma de las fuerzas $T_i = W \operatorname{sen} \alpha$ y $S = C + (N-U) \operatorname{tg} \beta$ son determinados.

4.- El factor de seguridad se calcula con la expresión:

$$F = \frac{\sum S}{\sum T_i} = \frac{\sum [(N-U) \operatorname{tg} \beta + C]}{\sum W \operatorname{sen} \alpha}$$



EXPRESIONES USADAS EN EL PROCEDIMIENTO DE CALCULO

Presión vertical P_v Para material seco $P_v = \gamma_d H$ γ_d = Peso vol. seco H = Altura de la columna de materialPara material saturado $P_v = \gamma_{sat} H$ γ_{sat} = Peso vol. saturado S_s = Densidad de los sólidos e = Relación de vacíos γ_o = Peso vol. agua

$$\gamma_{sat} = \frac{S_s + e}{1 + e}$$

$$e = \frac{S_s - 1}{\gamma_d}$$

Para material sumergido $P_v = \gamma'_m H$ γ'_m = Peso vol. sumergido

$$\gamma'_m = \gamma_{sat} - \gamma_o$$

Presión confinante P_h

$$P_h = \frac{\nu}{1 - \nu} P_v$$

 ν = Módulo de Poisson

El módulo de Poisson se obtiene de resultados de pruebas triaxiales. Para estos análisis $\nu = 0.35$ para condiciones iniciales en donde el material es más compacto y $\nu = 0.45$ para las condiciones finales, para las cuales el material se encuentra más suelto.

 ϕ = Angulo de Fricción

Este valor es resultado de pruebas triaxiales a los materiales de los terraplenes. Como no se cuenta con esta in-

formación se tomaron como referencia valores que fueron obtenidos con anterioridad en el ensayo a materiales con características similares en otras presas.

OSTENIDO DE :

Filtro	Basalto de Sn. Francisco
Transición	Grava-Arena de Pinzandarán
Enrocamiento	Pizérrea de "El Granero"

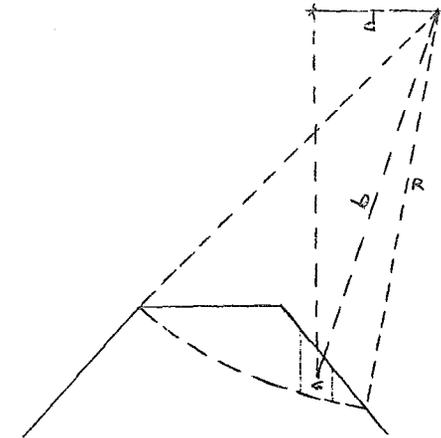
Marsal Pag. 237

Para sismo el factor de seguridad viene dado por la expresión :

$$FS = \frac{MR}{Mo} = \frac{R \left[(N-U) \tan \phi + C \right]}{\leq Wd + n \leq wb}$$

donde : R = radio del círculo de falla.

n = coeficiente de aceleración sísmica 0.15 para la zona del P.H. "Ing. Carlos Ramírez Ulloa"



A) AL FINAL DE LA CONSTRUCCION

Se analizan las condiciones en que se encuentra la cortina al finalizar su construcción. Los materiales se encuentran sujetos a consolidación, después de haber sido colocados con una cierta relación de vacíos y un grado de saturación inferior al 100 %. Si se trata de material de corazón impermeable, es aceptable suponer que no ha ocurrido disipación de la presión de poro generada durante la construcción; por lo tanto, si se desea analizar el comportamiento de este material ante una falla rápida, esas condiciones de esfuerzos se reproducen aproximadamente, en el laboratorio, realizando pruebas triaxiales de tipo rápido en especímenes preparados con la misma relación de vacíos y el mismo grado de saturación correspondiente a las condiciones en que fué colocado el material en el terraplén.

Todo lo contrario sucede con los materiales permeables ya que las presiones de poro en ellos son nulas y los esfuerzos que actúan son soportados por la estructura granular del suelo. Al presentarse una falla rápida, las presiones de poro que se generan por la acción de los esfuerzos cortantes se disipan rápidamente gracias a su permeabilidad, por lo que puede considerarse que esas condiciones de trabajo de los materiales permeables, se pueden reproducir en el laboratorio mediante una prueba triaxial lenta, con especímenes 100 % saturados, con la relación de vacíos inicial igual a la de colocación en el terraplén.

En nuestro caso, el análisis de estabilidad para esta condición se hizo en términos de esfuerzos efectivos con las

presiones de poro resultantes de mediciones realizadas en la propia cortina.

MESA VACIA (CONDICIONES INICIALES)

ORDEN	P.V. TON/M2	P h TON/M2	φ	A R E A S				TON	SEN α	COS α	Ti = w SEN α	Ni = w COS α	Li (m)	c = Cili	U = Ni Li Ui	(N - U)		tqφ+c(m)	(m)	wd	wb
				I	II	III	IV									NUCLEO	GRANULARES (N-U)				
1	34.2	18.4	45				173.25	395.0	0.760	0.649	300.2	256.4	25.5			256.4	256.40	146.5	191.0	57869.0	75445.90
2	64.0	34.9	47			33.75	37.75	266.90	0.213	0.701	190.3	157.1	6.50			187.1	200.60	142.0	190.0	37399.10	50710.10
3	77.8	41.9	44		55	60.50	71.50	406.0	0.633	0.725	279.3	234.4	7.0			294.4	254.30	144.5	187.50	58666.40	76126.90
4	93.3	53.7	0	456.5	144.5	60.12	17.88	1405.60	0.629	0.777	864.1	1093.2	18.0	72.0	305.0	736.2	72.0	127.0	192.0	173513.0	255321.70
5	123.1	66.3	0	679.75	291.5	135.5	123.25	2575.40	0.532	0.534	1421.6	2147.3	24.5	98.0	441.0	1706.3	98.0	110.0	176.0	293289.10	453262.5
6	154.3	83.1	42		150.75	215.0	330.0	1515.80	0.469	0.883	710.9	1332.4	12.50			1338.4	1205.10	94.0	174.0	142483.30	263745.70
7	136.0	73.6	42.5			135.0	627.5	1693.0	0.407	0.914	691.1	1552.0	13.50			1552.0	1422.10	62.0	172.5	133236.0	292905.0
8	137.9	44.3	35				1140.0	2599.2	0.326	0.946	847.3	2458.6	20.0			2458.6	1921.10	66.5	172.0	172646.6	447062.40
9	127.7	64.8	36.2				1064.0	2425.9	0.233	0.972	565.2	2353.0	20.0			2353.0	1855.60	47.0	173.0	115231.2	419684.2
10	115.1	82.0	38.5				1010.0	2302.3	0.133	0.990	320.1	2279.8	20.0			2279.8	1916.40	28.0	175.5	64473.4	404141.40
11	96.9	52.5	38.9				830.0	1892.4	0.035	0.999	66.2	1890.50	20.0			1890.50	1525.40	7.50	176.0	14193.0	333062.40
12	73.0	33.3	40.9				650.0	1482.0	-0.070	0.998	-103.7	1479.0	20.0			1479.0	1281.20	-12.0	184.5	-17784.0	273429.0
13	45.6	24.6	43.7				505.25	1152.0	-0.174	0.985	-200.4	1134.7	39.0			1134.70	1084.30	-32.5	191.0	-37439.0	220026.30
S U M A S :												5,972.2					13019.5			1209484.3	3525424.50

PARAMETROS

c (TON/M2) γ_m (TON/M3)

- I NUCLEO
- II FILTRO
- III TRANSICION
- IV ARRANQUE

4 2.02
 - 2.24
 - 1.38
 - 2.28
 γ = 0.35 (CONDICION INICIAL)
 h = 0.15 (ZONA CARACOL)
 R = 200 m.

$$F.s. = \frac{\sum (n-u) tq\phi+c}{Ti} = \frac{13019.5}{5,972.2} = 2.2$$

F.s. = 2.2 SIN SISMO

$$F_s = R \frac{\sum (n-u) tq\phi+c}{\sum wd + \sum wb} = 0.15$$

$$F_s = \frac{200 (13019.5)}{1738296.0} = 1.5$$

F.s. = 1.5 CON SISMO.

TABLA 3. B.

AL FINAL DE LA CONSTRUCCION

CONDICIONES FINALES

(N - U)

DOVELA	P.V. TON/M2	P.h TON/M2	Ø	A R E A S				TON	SEN α	COS α	CONDICIONES FINALES				NUCLEO	MATERIALES GRANULARES	(N-U)tgφ+c	d (m)	b (m)	wd	wb	
				I	II	III	IV				Ti = w SEN α	Ni = w COS α	Li (m)	e = Citi								u = Uiti
1	30	24.5	41				173.25	346.5	0.760	0.649	263.3	224.9	25.5		224.9	195.5	146.5	191.0	50762.3	66181.50		
2	57.2	46.8	45			33.75	87.75	235.6	0.713	0.701	168.0	165.10	6.5		165.1	165.1	142.0	190.0	33451.7	44759.30		
3	69.5	56.9	44		55.0	60.50	71.5	362.9	0.688	0.725	249.7	263.10	7.0		263.1	254.1	144.5	187.5	52437.6	68041.9		
4	93.0	76.1	0	456.5	144.5	60.12	17.88	1304.9	0.629	0.777	820.8	1013.90	18.0	72.0	306.0	707.9	72.0	127.0	165722.8	237492.5		
5	114.0	93.2	0	679.75	291.5	135.5	123.25	2373.9	0.552	0.834	1310.4	1979.80	24.5	98.0	441.0	1593.8	98.0	110.0	261126.3	417802.0		
6	137.6	112.6	39.5		150.75	215.0	330.0	1350.2	0.469	0.883	633.3	1192.30	12.5		1192.3	982.8	94.0	174.0	126921.6	234940.0		
7	120.5	98.6	39.0			135.0	627.5	1495.3	0.407	0.914	608.6	1366.70	13.5		1366.7	1106.7	82.0	172.5	122614.6	257934.3		
8	121.0	99.0	37.0				1140.0	2280.0	0.326	0.946	743.3	2156.90	20.0		2156.9	1625.3	56.5	173.0	151620.0	392160.0		
9	112.0	91.6	37.0				1064.0	2128.0	0.233	0.972	495.8	2068.40	20.0		2068.4	1558.7	47.5	173.0	101080.0	368144.0		
10	101.0	82.6	37.0				1010.0	2020.0	0.139	0.990	280.8	1999.80	20.0		1999.8	1507.0	28.0	175.5	56560.0	354610.0		
11	85.0	69.5	37.8				830.0	1660.0	0.035	0.999	58.1	1658.30	20.0		1658.3	1286.3	7.5	176.0	12450.0	292160.0		
12	64.0	52.4	40.0				650.0	1300.0	-0.070	0.998	-91.0	1297.00	20.0		1297.4	1088.6	-12.0	184.5	-15600.0	239850.0		
13	40.0	32.7	42.7				505.25	1010.5	-0.174	0.985	-175.8		39.0		995.3	918.5	-32.5	191.0	-32841.3	193005.0		
											5365.3					10858.6					1086305.6	3166985.5

PARAMETROS

	C (TON/M3)	γ _m (TON/M3)
I NUCLEO	4	1.9
II FILTRO	-	2.04
III TRANSICION	-	1.78
IV ENROCAMIENTO	-	2.00

ν = 0.45
η = 0.15
R = 2.00 m.

$$F.S. = \frac{10858.6}{5365.3} = 2.0 \quad \sum wd + \sum \eta wb = 1561353.4$$

$$F.S. = 2.0 \text{ SIN SISMO} \quad F.S. = \frac{200(10858.6)}{1561353.4} = 1.4$$

F.S. = 1.4 CON SISMO

Δ	GRAD.
1	49.5
2	45.5
3	43.5
4	39
5	33.5
6	28
7	24
8	19
9	13.5
10	8
11	2
12	-4
13	-10

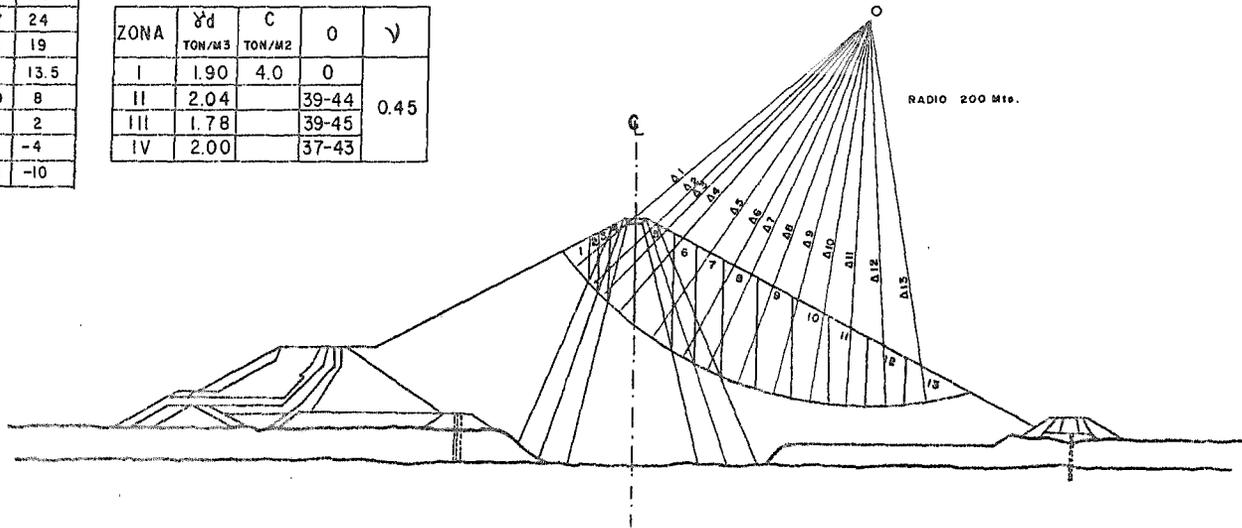
ZONA	γ_d TON/M3	C TON/M2	ϕ	ν
I	2.02	4.0	0	0.35
II	2.24		42-44	
III	1.98		42-47	
IV	2.28		38-45	

ZONA	γ_d TON/M3	C TON/M2	ϕ	ν
I	1.90	4.0	0	0.45
II	2.04		39-44	
III	1.78		39-45	
IV	2.00		37-43	

CONDICION DE TRABAJO

AL FINAL DE LA CONSTRUCCION.

FIG. III.1



U.N.A.M.
ENER. ACATLAN

TABLA 3 C
FALLA LOCAL

DOVELA	P.V.	P.h	ϕ	ARRAS		w TON	SEN α	COS α	Ti =	Ni \rightarrow	Ntq ϕ	d	b	wd	wb
				III	IV				w SEN α	w COS α					
1	48.88	40.0	46	133	299	834.74	0.857	0.515	715.37	429.89	445.2	70.0	76	58431.8	9516.04
2	35.0	28.6	43.2		980.5	1961.0	0.660	0.751	1294.26	1472.71	1383.0	55.5	70.5	108885.5	20737.58
3	82.0	67.1	38.2		799.5	1599.0	0.471	0.882	753.13	1410.32	1109.8	39.0	67.0	62361.0	16069.95
4	78.0	63.8	38.5		838.5	1677.0	0.254	0.967	425.96	1621.66	1289.9	21.0	65.5	35217.0	16476.53
5	64.0	52.4	39.9		704.0	1408.0	0.024	0.999	33.79	1406.59	1176.1	2.0	68	2816.0	14361.60
6	39.0	31.9	42.7		444.0	888.0	-0.230	0.973	-204.24	864.02	797.3	-17	74	-15096.0	9856.8
									30	.27	6201.3			252565.3	37018.50

$$Mm \quad wd + \quad wb = 339583.80$$

$$F.s. = \frac{6201.3}{3018.27} = 2.05$$

$$Mr = 84 (6201.3) = 520909.2$$

$$F.s. = 2.05 \text{ SIN SISMO}$$

$$F.s = \frac{Mr}{Mm} = 1.5$$

$$F.s. = 1.5 \text{ CON SISMO}$$

PARAMETROS:

M(TON/M3)

III TRANSICION 1.78
IV ENROCAMIENTO 2.0

$\gamma = 0.45$
 $\eta = 0.15$
R = 84 m.

TABLA 3. D.

FALLA LOCAL.

DOVELA	P.V.	P.h	θ	AREAS			w		Ti=	Ni=	Ntag	d	b	wd	wb
				III	IV	TON	SEN α	COS α	w SEN α	w COS α					
1	56.3	30.3	47	133	299.0	945.1	0.857	0.515	809.9	486.7	521.9	70	76	66154.2	71824.6
2	39.9	21.5	44.5		980.5	2235.5	0.660	0.751	1475.5	1678.9	1649.8	55.5	70.5	124072.5	157605.6
3	93.5	50.3	39.0		799.5	1822.9	0.471	0.882	858.6	1607.8	1301.9	39	67	71091.5	122131.6
4	88.9	47.9	39.0		838.5	1911.8	0.254	0.967	485.6	1848.7	1497.0	21	65.5	40147.4	125221.6
5	73.0	39.3	40.9		704.0	1605.1	0.224	0.999	38.5	1603.5	1389.0	2	68	3210.0	109148.2
6	44.5	23.9	44.0		444.0	1021.3	-0.230	0.973	-232.8	985.0	951.2	-17	74	-17209.4	74911.70
SUMAS.									<u>3435.3</u>		<u>7310.8</u>			<u>287466.2</u>	<u>660842.7</u>

$$F.s. = \frac{7310.8}{3435.3} = 2.13$$

$$F.s. = 2.13 \text{ SIN SISMO}$$

$$wd + wb = 386,592.6$$

$$F.s. = \frac{84 \times 7310.8}{386,592.6} = 1.59$$

$$F.s. = 1.59 \text{ CON SISMO}$$

PARAMETROS

m(TON/M3)

III TRANSICION 1.98

IV ENROCAMIENTO 2.28

$$\gamma = 0.35$$

$$\eta = 0.15$$

$$R = 84m$$

Δ	GRAD.
1	49.5
2	45.5
3	43.5
4	39
5	33.5
6	28
7	24
8	19
9	13.5
10	8
11	2
12	-4
13	-10

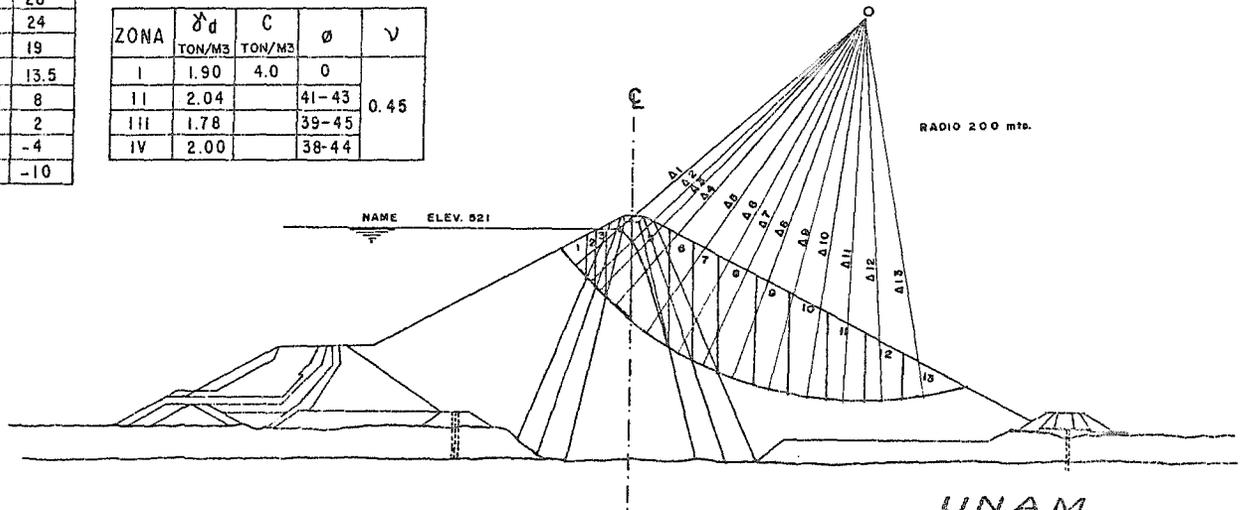
ZONA	γ_d TON/M3	C TON/M2	ϕ	ν
I	2.02	4.0	0	0.35
II	2.24		42-44	
III	1.98		41-47	
IV	2.28		38-44	

ZONA	γ_d TON/M3	C TON/M3	ϕ	ν
I	1.90	4.0	0	0.45
II	2.04		41-43	
III	1.78		39-45	
IV	2.00		38-44	

CONDICION DE TRABAJO

A LARGO PLAZO Y PRESA LLENA.

FIG. III.3



U.N.A.M.
ENER. ACATLAN

B) A LARGO PLAZO Y CON PRESA LLENA

Una vez realizado el embalse, el estado de esfuerzos de los materiales va cambiando a medida que estos van alcanzando la saturación total en el corazón impermeable y en el talud - de aguas arriba.

Los materiales impermeables se van consolidando o expandiendo bajo la acción de esfuerzos impuestos por el peso propio del material y las fuerzas de filtración, hasta quedar totalmente saturados y 100 % consolidados.

Si se desea analizar los efectos de una falla rápida - por corte, en el laboratorio se podrán reproducir aproximadamente las presiones de poro que se generan durante el proceso de falla, mediante una prueba triaxial del tipo consolidada - rápida, realizada con especímenes saturados, que tengan la relación de vacíos inicial que tenía el material al ser colocado en el terraplén.

Tratándose de arcillas, debe recordarse que sufrirán expansiones cuando las presiones a que están sujetas en el terraplén sean pequeñas, las cuales harán que la resistencia al corte disminuye al pasar el tiempo.

En cuanto a los materiales permeables, prevalece el mismo criterio que en el caso de las condiciones iniciales de trabajo.

PRESA LLEVA

T A B L A 3. E.

DOVELA	P.V.	P.h	Ø	I	II	III	IV	W. TON	SENα	COSα	Ti W SENα	Ni W COSα	Ll (m)	c = Cili	u = Uili	NUCLEO	N - U		d (m)	b (m)	wd	wb	31	
																	MATERIALES GRANULARES	(N-U)tgφ+e						
1	21	11.3	43.0				173.25	115.8	0.760	0.649	316.0	269.9	15.5					-255.6	-255.6	146.5	191.0	60914.7	79417.8	
2	39.9	21.5	47.0			33.75	87.75	285.5	0.713	0.701	203.8	200.2	6.5					- 14.3	- 14.3	142.0	190.0	40541.0	54245.0	
3	47.9	25.8	44.0		55.0	60.50	71.50	436.8	0.688	0.725	300.5	316.7	7.0					47.2	45.6	144.5	187.5	63119.0	81901.9	
4	73.9	39.8	0	456.5	144.5	60.12	17.88	1561.10	0.629	0.777	981.9	1213.0	18.0	72.0	801.0	412.0			72.0	127.0	182.0	198259.7	234120.2	
5	97.6	52.5	0	679.75	291.5	135.5	123.25	2840.2	0.552	0.834	1567.8	2368.7	24.5	98.0	575.8	1792.8			95.0	110.0	176.0	312423.1	499877.0	
6	154.3	83.10	42.2		150.75	215.0	330.0	1515.80	0.469	0.883	710.9	1338.4	12.5					1338.4	1205.1	94.0	174.0	142483.3	263745.7	
7	136.8	73.6	41.5			135.0	627.50	1698.0	0.407	0.914	691.1	1552.0	13.5					1552.0	1422.1	82.0	172.5	139236.0	292905.0	
8	137.9	74.3	38.0				1140.0	2599.20	0.326	0.946	847.3	2458.8	20					2458.8	1921.1	66.5	172.0	172846.8	447062.4	
9	127.7	68.8	38.2				1064.0	2495.90	0.233	0.972	565.2	2358.0	20					2358.0	1855.6	47.5	173.0	115231.2	419684.2	
10	115.1	62.0	38.5				1010.0	2302.80	0.139	0.990	320.1	2279.8	20					2279.8	1813.4	28.0	175.5	64478.4	404141.4	
11	96.9	52.2	38.9				830.0	1892.40	0.035	0.999	36.2	1890.5	20					1890.5	1525.4	7.5	176.0	14193.0	373062.4	
12	73.0	39.3	41.0				650.0	1482.0	-0.070	0.998	-103.7	1479.0	20					1479.0	1281.1	-12.0	184.5	-17784.0	273429.0	
13	45.6	24.6	43.7				505.25	1152.0	-0.174	0.985	-200.4	1134.7	39					1134.7	1084.3	-32.5	191.0	-37439.0	220026.3	
												6,266.5			12053.9			1268503.2			3653818.3			

PARAMETROS:

	C (TON/M2)	γ _m (ON/M3)	γ _{SAT} (TON/M3)
I NUCLEO	4	2.02	2.28
II FILTRO	-	2.24	2.38
III TRANSICION	-	1.98	2.22
IV ENROCAMIENTO	-	2.28	2.40

$$F.S. = \frac{12053.9}{6,266.5} = 1.92$$

$$F.S. = 1.92 \text{ SIN SISMO}$$

$$\sum wd + \sum \eta wb = 1816545.9$$

$$F.S. = \frac{200(12053.9)}{1816545.9} = 1.33$$

$$F.S. = 1.33 \text{ CON SISMO}$$

$$\nu = 0.35$$

$$\eta = 0.15$$

$$R = 200 \text{ m.}$$

T A B L A 3 - F.

BRECHA DEBNA

DOVSLA	P.V.	Ph	Ø	A R E A S				W TON	Ti = SEN α	Ni = COS α	Li = N SEN α	U = N COS α	N - U	d	b	wd	wb				
	TON/M2	TON/M2		I	II	III	IV											NUCLEO	GRANULARES	N-UtoØ	m
1	18.5	15.1	42.5				173.25	386.3	0.760	0.649	293.6	250.70	35.5	535.5	- 284.8	-284.8	146.5	191.0	56,539.9	73,792.4	
2	35.2	28.8	45.0			33.75	87.75	265.5	0.713	0.701	190.1	186.90	6.50	214.5	- 27.6	- 27.6	142.0	190.0	37,851.2	50,245.9	
3	42.9	35.1	43.0		55.0	60.50	71.50	410.8	0.688	0.725	282.8	297.80	7.0	269.5		28.3	26.4	144.5	187.50	59,359.9	77,024.1
4	71.4	58.4	0	456.5	144.5	60.12	17.88	1497.9	0.629	0.777	941.6	1163.20	18.0	72.0			72.00	117.0	182.0	190,118.3	272,453.0
5	96.3	78.3	0	679.75	291.5	135.5	123.25	2713.6	0.552	0.834	1497.9	2263.2	24.50	98.0			98.00	110.0	176.0	298,500.1	477,600.2
6	137.6	112.6	41.0		150.75	215.0	330.0	1350.2	0.469	0.883	633.3	1192.3	12.50		1687.4	1192.3	982.8	94.0	174.0	126,921.6	234,940.3
7	120.5	98.6	39.0			135.0	627.5	1495.3	0.407	0.914	608.6	1366.7	13.50			1366.7	1106.7	82.0	172.5	122,614.6	251,939.3
8	121.0	99.0	37.0				1140.0	2280.0	0.326	0.946	743.3	2156.9	20.0			2156.9	1625.3	66.5	172.0	151,620.0	392,160.0
9	112.0	91.6	37.0				1064.0	2128.0	0.233	0.972	495.8	2068.4	22.0			2068.4	558.7	47.5	173.0	101,080.0	268,144.0
10	101.0	82.6	37.0				1010.0	2020.0	0.139	0.990	280.8	1999.8	20.0			1999.8	1507.0	28.0	175.5	56,560.0	144,510.0
11	85.0	69.5	37.8				830.0	1660.0	0.035	0.999	58.10	1658.3	20.0			1658.2	1286.3	7.5	176.0	12,450.0	292,160.0
12	64.0	52.4	39.9				650.0	1300.0	-0.070	0.998	- 91.0	1297.4	20.0			1297.4	1088.6	-12.0	184.5	-15,800.0	292,850.0
13	40.0	32.7	42.5				505.25	1010.5	-0.174	0.985	-175.8	995.3	39.0			995.3	918.5	-32.5	191.0	-32,841.3	193,025.5
													5686.9			9957.9		1'165,234.33	284,224.4		

PARAMETROS

	C (TON/M2)	γ _m (TON/M3)	γ _{sat} (TON/M3)
I NUCLEO	4	1.90	2.20
II FILTRO		2.04	2.25
III TRANSICION		1.78	2.10
IV ENROCAMIENTO		2.0	2.23

$\sum wd + n \sum wb = 1'657,868.0$

F.s = $\frac{9957.9 (300)}{1'657,868.0} = 1.20$

1'657,868.0

F.s. = 1.20 CON SISMO

ν = 0.45

η = 0.15

R = 200 m.

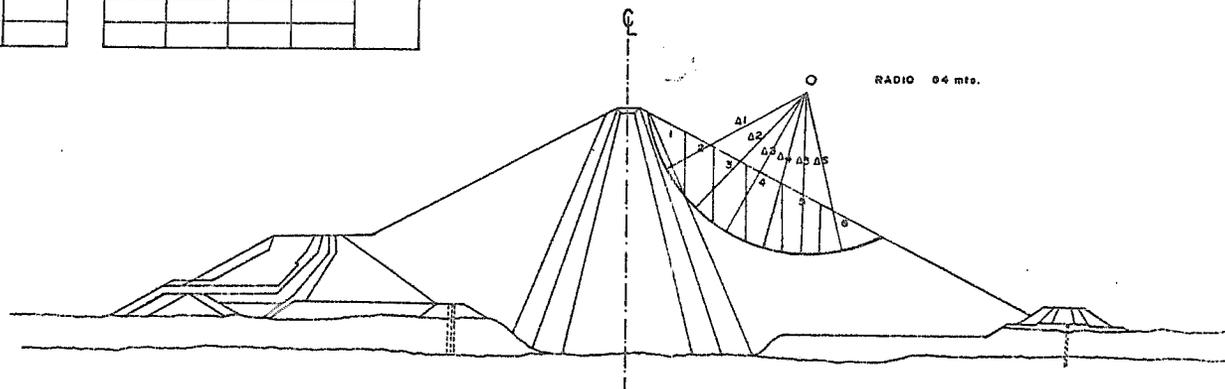
F.s = 1.3 SIN SISMO

Δ	GRAD.
1	59
2	41.3
3	28.1
4	14.7
5	1.4
6	-13.3

ZONA	γ_d TON/M3	C TON/M2	ϕ	ν
III	1.98		47	0.35
IV	2.28		39.45	

ZONA	γ_d TON/M3	C TON/M2	ϕ	ν
III	1.78		46	0.45
IV	2.00		38-43.2	

FALLA LOCAL
FIG. III 2



U.N.A.M.
ENER ACATLAN

C) DURANTE VACIADO RAPIDO

En el período de estiaje, las entradas de flujo al vaso de almacenamiento son mucho menores que las extracciones, lo que ocasiona un descenso en el nivel del agua en el vaso, que produce un fenómeno de flujo descendente en la zona del núcleo impermeable que se encontraba totalmente saturado, lo cual ocasiona nuevas condiciones de esfuerzos en los materiales.

El considerar un vaciado rápido o instantáneo en una presa es puramente hipotético, ya que el vaciado puede durar de unos cuantos días a varios meses, según las condiciones de funcionamiento de la presa y la capacidad del vaso.

Es conveniente agregar que no todos los materiales son igualmente ajustados por un vaciado rápido; los materiales permeables son capaces de eliminar las presiones de poro tan rápidamente como desciende el agua del vaso. En cambio el impermeable puede requerir de uno o varios años para ajustarse a las nuevas condiciones de esfuerzos generados por el flujo descendente. De aquí que se hallan establecido los siguientes criterios para valuar las presiones de poro y estos son:

- 1). Los materiales permeables no son suceptibles al efecto de un vaciado rápido.
- 2). Los materiales impermeables cuyo coeficiente de permeabilidad es menor de 10 Cms/seg., si son afectados por el vaciado rápido.

En nuestro caso los materiales también son compresibles lo que les ocasiona un proceso de consolidación cuya rapidez

dependerá de la permeabilidad de los mismos, así como de las condiciones de drenaje y sus características de compresibilidad. En general en los suelos impermeables, el proceso de consolidación es más lento que la velocidad del descenso del agua en el vaso, por lo que se puede decir que la relación de vacíos del material continúa aproximadamente igual a la que tenía antes de iniciarse el vaciado rápido.

Para hacer el análisis de estabilidad del talud aguas arriba en estas condiciones, es conveniente calcular primero el valor de las fuerzas tangenciales resistentes para el material impermeable, en función de los esfuerzos efectivos -- que existían a presa llena y, las fuerzas tangenciales actuales se calcularán con el nivel del agua en el almacenamiento en la posición correspondiente a la presa vacía.

T A B L A 3. G.

VACIADO RAPIDO

(N - U)

DOVELA	P.V.	P.h	ϕ	A R E A S				w	SEN α	COS α	T α	N α	Li(m)	$\frac{c}{\cos \alpha}$	$\frac{u}{\sin \alpha}$	NUCLEO	MATERIALES GRANULARES	(N-U)tq ϕ t ϵ	d (m)	b (m)	wd	wb
				I	II	III	IV	TON			w SEN α	w COS α										
1	60.4	32.5	0	115.5	111.0	42.0		620.8	0.883	0.462	548.1	291.1	37.0	148	610.5	-319.4		148.0	110.0	119.0	68283.6	73970.4
2	83.2	44.8	44.5		102.0	242.0	106.0	1034.4	0.793	0.609	820.3	629.9	18.5				629.9	619.0	89.5	115.5	102922.8	119473.2
3	102.5	55.2	44.0			512.0	574.0	1715.0	0.695	0.719	1192.0	1233.1	21.0				1233.1	1190.8	87.0	111.0	149208.5	190369.4
4	116.4	62.7	38.4				897.25	2153.4	0.566	0.824	1218.8	1774.4	20.5				1774.4	406.4	71.0	105.5	152891.4	229337.1
5	120.0	64.6	38.2				1000.0	2400.0	0.423	0.906	1015.2	2174.40	20.0				2174.4	1711.1	53.5	103.5	128400.0	248400.0
6	114.0	61.4	38.3				1021.25	2451.0	0.284	0.959	696.10	2350.5	20.0				2350.5	1856.3	35.5	103.0	87010.5	252453.0
7	99.6	53.6	38.8				945.0	2268.0	0.122	0.993	276.7	2252.1	20.5				2252.1	1810.8	15.5	105.0	35154.0	238140.0
8	72.0	38.8	40.9				930.0	2232.0	-0.065	0.998	-145.1	2227.5	28.0				2227.5	1929.6	- 8.5	110.5	-18972.0	246636.0
9	44.4	23.9	44.0				577.5	1386.0	-0.267	0.964	-370.1	1336.10	56.0				1336.1	1290.3	-37.5	116.0	-51975.0	169776.0
											5252.0							11900.30			65293.8	1759455.1

$$\sum wd + \eta \sum wb = 916842.10$$

$$F.S. = \frac{126 \times 11962.3}{916842.10} = 1.64$$

F.S. = 1.64 CON SISMO

PARAMETROS

	C (TON/M2)	γ_m (TON/M3)	δ_{SAT} (TON/M3)
I NUCLEO	4	2.02	2.28
II FILTRO	-	2.24	2.38
III TRANSICION	-	1.98	2.22
IV ENROCAMIENTO	-	2.28	2.40

$$\nu = 0.35$$

$$\eta = 0.15$$

$$R = 126 \text{ m.}$$

F.S. = 2.28 CON SISMO

T A B L A 3. H.

VACIADO RAPIDO

(N-U)

DOVELA	P.V.	P.I.	Ø	I	II	III	IV	w TON	SENα	COSα	Ti = w SENα	Ni = w COSα	Li	c = C/Li	n = U/Li	MATERIALES PERMEABLE	N-U tqφ+c	(m)	(m)	wd	wb
1	57.89	47.4	Ø	115.5	111.0	42.0		593.16	0.883	0.469	523.76	278.9	37.0	148.0	610.5	232.31	148.0	110	119.0	65247.60	10587.91
2	78.42	64.2	43.0		102.0	242.0	106.0	975.10	0.793	0.609	773.25	593.84	18.5			593.84	553.8	99.5	115.5	97022.45	16893.51
3	95.64	78.3	42.5			152.0	574.0	1599.22	0.695	0.719	1111.46	1149.84	21.0			1149.84	1053.60	87.0	111.0	139132.14	26527.01
4	108.16	88.5	37.0				897.25	2000.87	0.566	0.824	1132.49	1648.72	20.5			1648.72	1242.4	71.0	106.5	142061.59	31963.26
5	111.50	91.2	37.0				1000.0	2230.00	0.423	0.906	943.29	2020.38	20.0			2020.38	1522.5	53.5	103.5	119305.0	32620.75
6	105.93	86.7	37.0				1021.25	2277.39	0.284	0.459	646.78	2184.02	20.0			2184.02	1645.8	35.5	103.0	80847.26	35185.64
7	92.55	75.7	37.2				945.0	2107.35	0.122	0.993	257.10	2092.60	20.5			2092.60	1588.4	15.5	105.0	32663.93	33190.76
8	66.90	54.7	39.5				930.0	2273.90	-0.065	0.998	-134.50	2069.75	28.0			2069.75	1706.2	- 8.5	110.5	-17628.15	34374.82
9	41.26	33.8	42.5				577.50	2297.83	-0.267	0.964	-343.85	1241.46	56.0			1241.46	1137.6	-37.5	115.0	-48293.44	22408.16
											4909.48						10598.3			610358.38	245852.55

PARAMETROS

	c (TON/M2)	γ _D (TON/M3)	γ _{SAT} (TON/M3)
I NUCLEO	4	1.90	2.20
II FILTRO	-	2.04	2.26
III TRANSICION	-	1.78	2.10
IV ENROCAMIENTO	-	2.0	2.23

ν = 0.45
η = 0.15
R = 126m.

Mn = 4909.48

Mr = 10598.38

Fs = $\frac{10598.38}{4909.48} = 2.16$

F.S. = 2.16 SIN SISMO

Mn = εwd + ηwb = 856210.97

Mr = 126 (10598.3) = 1335385.8

Fs = $\frac{Mr}{Mn} = 1.56$

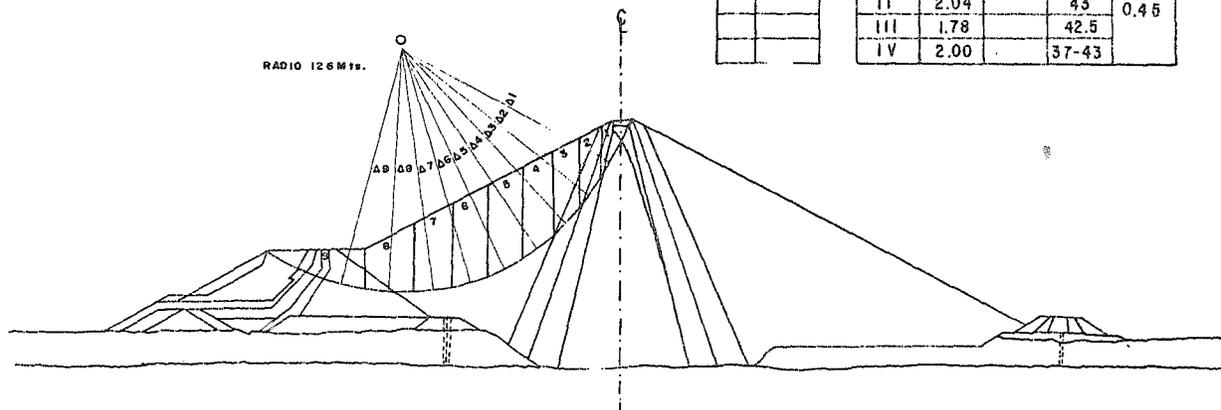
F.S. = 1.56 CON SISMO

CONDICION DE TRABAJO:
 VACIADO RAPIDO
 FIG. III.4

Δ	GRAD.
1	62
2	52.5
3	44
4	34.5
5	25
6	16.5
7	7
8	-3.7
9	-15.5

ZONA	γd TON/M3	C TON/M2	\emptyset	ν
I	2.02	4.0	0	0.35
II	2.24		44	
III	1.98		44	
IV	2.28		38-44	

ZONA	γd TON/M3	C TON/M2	\emptyset	ν
I	1.90	4.0	0	0.45
II	2.04		43	
III	1.78		42.5	
IV	2.00		37-43	



U.N.A.M.
 ENER. ACATLAN

III.2 Diseño de Filtros

Los filtros han venido a formar una parte muy importante en la construcción de las presas de materiales graduados - como protecciones del material impermeable sometido a deformaciones que puedan producirle grietas.

Aguas arriba del corazón impermeable de una presa, el material granular (filtro) tiene la función de sellar cualquier grieta que pudiera formarse en el núcleo impermeable, - penetrando en ella bajo la acción del flujo de agua.

Aguas abajo del corazón impermeable, tiene la función de retención y drenaje o sea impedir el arrastre de las partículas del material protegido, así como desalojar rápidamente el agua que se filtra a través del corazón impermeable, para cumplir satisfactoriamente tales funciones, dichos filtros deben tener cierta granulometría, ser de un espesor suficiente y estar libre de finos, ya que los finos pueden ocasionar cementación que puede impedir su migración a la grieta (AR) y aguas abajo puede formar una capa impermeable que impida desalojar con la rapidez necesaria las filtraciones.

Los requerimientos esenciales para el material del filtro se han determinado por métodos experimentales (Terzaghi - 1922 US BR 1947). Este método está basado principalmente en la distribución de los tamaños de los granos del filtro y del material por proteger.

A continuación se muestra la tabla de Terzaghi, para el diseño de filtros.:

TABLA 3.I

ESPECIFICACIONES PARA EL MATERIAL DE FILTRO (US BR 1963)

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PARA FILTRO	RELACION R 50	RELACION R 15
Distribución uniforme de los tamaños de los granos (u = 3 a 4)	----- 5 a 10	-----
De bien graduados a - pobremente graduados (no uniforme) granos subredondeados	----- 12 a 58	12 a 40
De bien graduados a - pobremente graduados (no uniforme) partículas angulares	----- 9 a 30	6 a 18

$$R 50 = \frac{D_{50} \text{ del mat. del filtro}}{D_{50} \text{ del mat. a proteger}}$$

$$R 15 = \frac{D_{15} \text{ del mat. del filtro}}{D_{15} \text{ del mat. por proteger}}$$

NOTAS: Si el material por proteger varía desde gravas (sobre 10 % más grandes que la malla No. 4) a limo (sobre 10 % que pasa la malla No. 200), los límites deberán estar basados en la fracción que pase la malla No.4. - El tamaño máximo del material del filtro no deberá con tener más del 5 % que pase la malla No. 200, las curvas granulométricas trasadas en papel semilogarítmico del -

del filtro y del material por proteger deberán ser aproximadamente paralelas en el rango de los tamaños finos.

Además es aceptable un filtro con permeabilidad mínima 50 veces mayor que la del suelo, pero usualmente se busca que la permeabilidad del filtro sea 100 ó más veces mayor y experimentalmente se sabe que ésta condición se cumple si :
 $D_{15} \text{ (del filtro)} \geq 5 D_{15} \text{ (suelo)}$.

Para nuestro caso tenemos el tipo de materiales de bien graduados a pobremente graduados no uniforme con granos subredondeados; con contenidos sobre 10 % mayores que la malla No4 y finos sobre 10% que pasan la malla No. 200, por lo que los límites se determinaron con las fracciones que pasaron la malla No. 4. Así tenemos que:

$$R_{50} = \frac{D_{50F}}{D_{50A}}$$

$$D_{50F} = R_{50} (D_{50A})$$

$$D_{50} \text{ Arcilla} = 0.45 \text{ mm}$$

$$D_{15} \text{ Arcilla} = 0.006 \text{ mm}$$

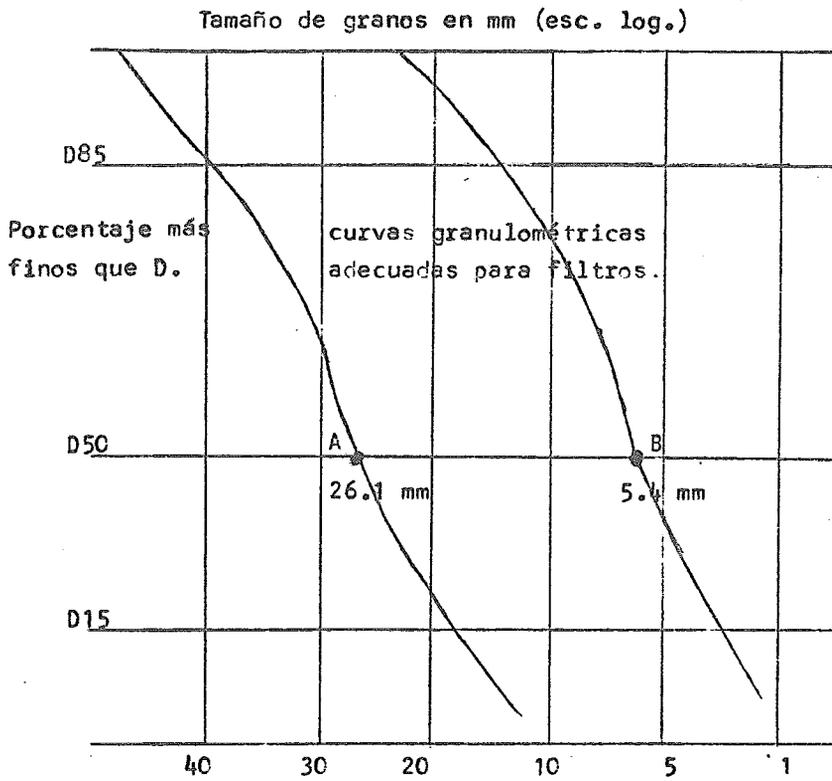
De la tabla tenemos que: $R_{50} = 12 \text{ a } 58$

$$D_{50} \text{ Filtro} = 12 \times 0.45 = 5.4 \text{ mm}$$

$$D_{50} \text{ Filtro} = 58 \times 0.45 = 26.1 \text{ mm}$$

$$\underline{5.4 \text{ mm} \leq D_{50F} \leq 26.1 \text{ mm}}$$

Fig. 3.I'



De acuerdo a las especificaciones precedentes al material cuya curva granulométrica intersekte entre los puntos A y B a la horizontal correspondiente al D50, satisface las condiciones del filtro. (Fig. 3.I')

Revisando la condición de permeabilidad:

$$D_{15} \text{ filtro} \geq 5D_{15} \text{ arcilla}$$

$$5D_{15} \text{ arcilla} = 5(0.006) = 0.03 \text{ mm}$$

$$D_{15} \text{ filtro} = 5.4 \text{ mm} > 0.03 \text{ mm} \therefore \text{ cumple}$$

III.3 Diseño contra erosión de taludes.

La protección del talud de aguas arriba contra el oleaje, por medio de una capa de enrocamiento colocada a mano ó a volteo, continúa siendo el sistema de mayor uso por las ventajas que presenta contra los otros tipos de protecciones como las lozas de concreto articuladas. Estas ventajas son:

- a).- Gran Flexibilidad.- que le da gran resistencia a las deformaciones del terraplén.
- b).- Rugosidad.- que le ayuda a disminuir la altura de rodamiento de las olas sobre el talud, disminuyendo así la altura del libre bordo.
- c).- Permeabilidad.- que le evite problemas de subpresión.
- d).- Resistencia al oleaje.
- e).- Facilidad de reparación.

Actualmente se conoce que una protección de enrocamiento a volteo es más satisfactorio desde todos los puntos de --

vista, con excepción del estético en relación a una roca acomodada a mano.

CRITERIO USUAL PARA DISEÑO DE PROTECCIONES DE ENROCAMIENTO
(SHERARD 1963)

ALTURA MAXIMA DE - LAS OLAS EN PIES.	TAMAÑO MEDIOMINIMO D50 EN PLG.	ESPESOR DEL ES- TRATO EN PLG.
0 - 2	10	12
2 - 4	12	18
4 - 6	15	24
6 - 8	18	30
8 - 10	21	36

Sin embargo la condición que debe satisfacer una protección de roca es, la propia estabilidad de la roca superficial bajo la acción del oleaje y protección de los filtros y materiales finos contra la erosión progresiva, para lo que requiere un tamaño de las rocas individuales en la superficie y una granulometría que satisfaga los criterios de diseño de los filtros invertidos.

Por esto, deben observarse los factores que determinan el comportamiento del enrocamiento sometido a la acción del oleaje para determinar su estabilidad y son:

- a).- La fuerza ejercida por el oleaje en una roca superficial.
- b).- Las condiciones de apoyo de la roca.
- c).- La forma y el peso volumétrico.
- d).- La inclinación del talud.

Ahora suponiendo que la fuerza que tiende a mover una roca en la superficie del talud es:

$$F = K, D^2 v^2 / \gamma_w$$

Donde: K , = Constante indeterminada
 D = Diámetro medio de la roca
 v = Velocidad del agua
 γ_w = Peso volumétrico del agua.

CARMANY (1963) propone como condición de estabilidad - que el peso de la roca individual sea:

$$W = \frac{K dcr^2 \gamma_w^2 \gamma_r}{(\gamma_r - \gamma_w)^3 \text{sen}^3 (\alpha_{cr} - \alpha)}$$

Donde: dcr = Profundidad crítica o de rompimiento de la ola.

γ_w = Peso específico del agua

γ_r = Peso volumétrico de la roca

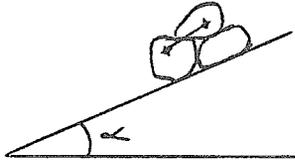
α = Ángulo de inclinación del talud

α_{cr} = Ángulo de inclinación necesario para formar un talud crítico (véase fig.). Centro de gravedad vertical con el contacto.

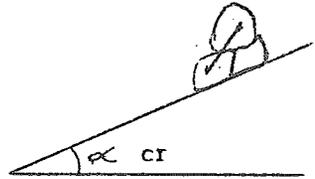
K = Constante experimental.

Se le ha dado a K el valor de 0.003 partiendo de los resultados de las obras que han dado resultados satisfactorios con tamaños mínimos (CARMANY 1963) y según (THORN 1960) $dcr = 1.28 H_o$; donde H_o = altura del oleaje, la ecuación de CARMANY en términos de H_o queda:

$$W = \frac{0.0063 \gamma_r}{(\gamma_r / \gamma_w - 1)^3} \left[\frac{H_o}{\sin (\alpha_{cr} - \alpha)} \right]^3$$



en condiciones normales



en condiciones críticas

$\alpha_{cr} = 65^\circ$ para enrocamientos a volteo

Para nuestro caso tenemos que:

Talud: 2:1

$\gamma_r = 1850 \text{ kg/cm}$

$H_o = 2.0$

$\alpha_{cr} = 65^\circ$

$\alpha = 30$

Sustituyendo:

$$W = \frac{0.0063 (1850)}{(1850/1000 - 1)^3} \frac{2.0}{\sin (65 - 30)}$$

$$W = \frac{11.655}{0.6141} \frac{2.0}{0.5736}$$

$$W = 18.979 \quad (42.39)$$

$$W = 804.32 \text{ Kg}$$

Considerando la roca aproximadamente equidimensional, -
necesitamos un diámetro de :

$$1 \text{ m}^3 = 1850 \text{ kg}$$

$$D = 804.32 \text{ Kg}$$

$$\therefore D = \frac{1 \times 804.32}{1850} = 0.4348$$

$$\text{Aprox. } D = 50 \text{ cm}$$

Condición que se cumple al pedir por especificaciones -
un volumen de 1 m³ para dicho material.

CAPITULO IV

IV SELECCION DE MATERIALES

IV.1 Arcilla

Mediante estudios fotogramétricos, levantamientos topográficos e inspecciones "in situ", se determinaron 5 bancos probables de material impermeable que son:

- a).- El Naranja
- b).- San Marcos 2
- c).- San Marcos 3
- d).- San Marcos 4 ó San Marcos
- e).- El Remolino.

La localización de estos bancos se muestra en la (fig.- IV.1), en los cuales se realizaron señalamientos de campo de una cuadrícula de 40 m., de lado, debidamente referenciada -- por coordenadas y poligonal de apoyo. En cada vértice se realizó un pozo a cielo abierto con pico y pala, hasta aproximadamente 3.0 m., de profundidad, en algunos casos se utilizó retroexcavadora, profundizando algunos pozos hasta 5.0 m.

A continuación de la apertura de los pozos se levantó un perfil de suelos con clasificación del SUCS en campo.

Basándose en el perfil del suelo de los pozos abiertos se tomaron muestras alteradas con la precaución de no considerar en la muestra suelos no aceptables, para la construcción del corazón impermeable de la cortina.

Las muestras obtenidas fueron sometidas a los siguientes

tes ensayos de laboratorio.

- a).- Contenido de agua del material que pasó la malla No. 4 secado al horno.
- b).- Límites de consistencia al material que pasó la malla No. 40
- c).- Próctor estándar con energía de 7.0 kg-cm/cm³ en molde de 102 mm de diámetro con material que pasó la malla No. 4.
- d).- Granulometría vía seca arriba de la malla No. 4 y vía húmeda abajo de esa malla.

Los resultados obtenidos de estos ensayos fueron los siguientes:

BANCO EL NARANJO

El espesor aprovechable resultó entre 2.5 y 3.0 M. El material corresponde a una arcilla (CL) de mediana plasticidad con contenidos de arena y grava, el volúmen de este banco es de 91,000 M³, a continuación sus características:

Distancia a la cortina en Kms. -----	7
Gravas en % -----	27.4
Arenas en % -----	33.0
Finos en % -----	39.6
Límite líquido % -----	40.1
Límite plástico % -----	19.3
Índice de plasticidad % -----	20.3
Peso volumétrico máximo Kg/m ³ -----	1826
Contenido de agua óptimo % -----	15.1
Contenido de agua inicial % -----	6.6

BANCO SAN MARCOS 2

El perfil de este banco resultó heterogéneo, con materiales que van de arcilla de media plasticidad (CL) y de alta plasticidad (CH), con bajos espesores aprovechables. Sus resultados fueron los siguientes:

Distancia a la cortina en Kms. -----	9.5
Volúmen en M3 -----	49,600
Contenido de gravas % ---	27.8
Contenido de arenas % -----	26.8
Contenido de finos % -----	48.7
Límite líquido % -----	52.1
Límite plástico % -----	21.4
Índice de plasticidad % -----	30.7
Peso volumétrico máximo kg/m3 -----	1,781
Contenido de agua óptimo % -----	15.9
Contenido de agua inicial % -----	11.3

BANCO SAN MARCOS 3

El espesor máximo en este banco resultó ser de 2.5 m., el material corresponde a una arcilla de media plasticidad - (CL) con arenas y gravas, semejante al material del banco El Naranjo, su volumen es de 56,000 M3.

Distancia a la cortina en Kms. -----	10
Volúmen en M3 -----	56,000
Contenido de gravas % -----	37.1
Contenido de arenas % -----	32.0
Contenido de finos % -----	30.1
Límite líquido % -----	40.3
Límite plástico % -----	19.5
Índice de plasticidad % -----	20.8
Peso volumétrico máximo kg/M3 -----	1857
Contenido de agua óptimo % -----	14.0
Contenido de agua inicial % -----	5.9

BANCO SAN MARCOS 4 6 SAN MARCOS

Este banco resultó con espesores aprovechables de 3.0 m tiene un volúmen de 614,400 M3 con dos zonas de materiales una con menos del 15 % de finos malla 200 y la otra con cantidades superiores al 15 % de finos.

La plasticidad es media y contiene gravas y arenas, el volúmen de la zona con finos abajo del 15 %, es de aproximadamente 100,000 M3.

Distancia a la cortina en Kms. -----	10.5
Volúmen en M3 -----	614,000
Gravas % -----	33.6
Arenas % -----	40.1
Finos % -----	26.2
Límite líquido % -----	42.8
Límite plástico % -----	21.8
Índice de plasticidad % -----	21.7
Peso volumétrico máximo Kg/m3 -----	1914
Contenido de agua óptimo % -----	12.1
Contenido de agua inicial % -----	8.1

BANCO EL REMOLINO

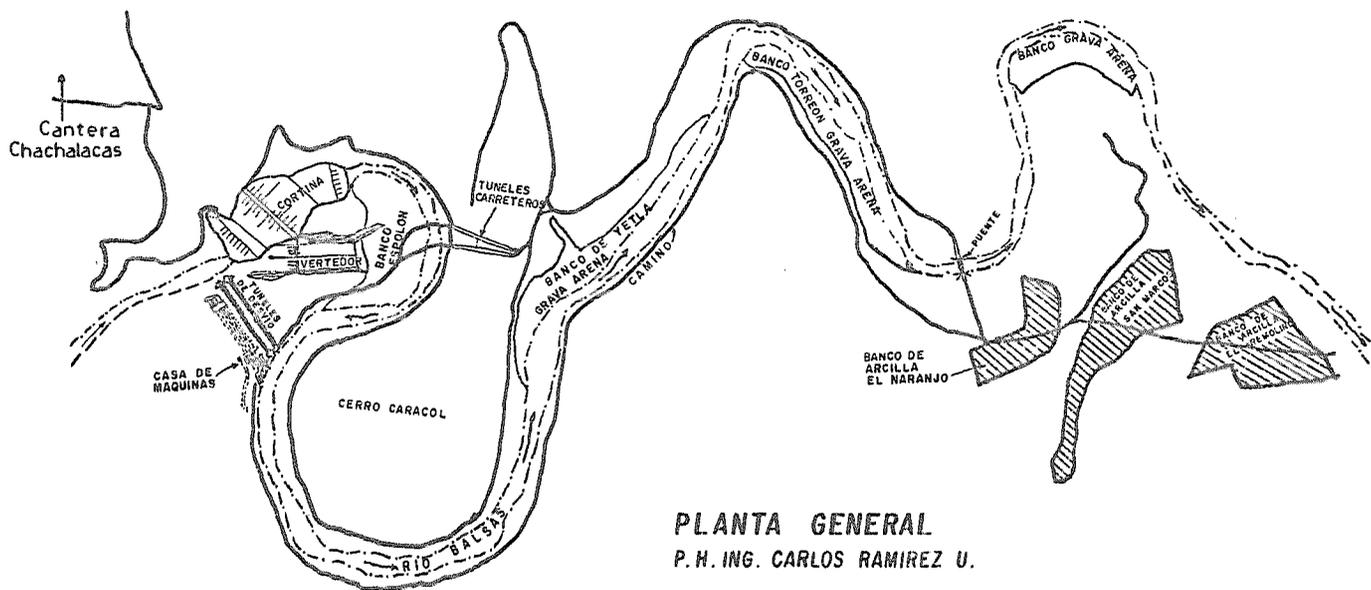
Su volúmen es de 518,000 M3 con espesores hasta de 6.0 m., el material presenta a diferencia de los otros bancos un valor menor del límite líquido y en algunas muestras su índice plástico baja del 15 %.

Distancia a la cortina en Km. -----	12.0
Volúmen en M3 -----	518,000
Gravas % -----	37.4
Arena % -----	36.3
Finos % -----	26.3
Límite Líquido % -----	35.4
Límite Plástico % -----	19.3
Índice de plasticidad -----	16.1
Peso volumétrico máximo Kg/M3 -----	1915
Contenido de agua óptimo % -----	12.3
Contenido de agua inicial % -----	7.7

Conforme a los resultados de los estudios de laboratorio y los trabajos de topografía, se definieron tres bancos de material impermeable sobre la margen derecha del río aguas abajo de la zona del proyecto, cuyas características se mencionaron anteriormente:

Banco	El Naranja	-----	91,000	M3
Banco	San Marcos	-----	614,400	M3
Banco	El Remolino	-----	518,000	M3
			<hr/>	
Volúmen aprovechable total =			1'223,400	M3

Los materiales de estos bancos corresponden a una arcilla de mediana plasticidad (CL) con contenidos apreciables de arena y gravas con tamaño máximo de 50.8 mm (2") y cuyos pesos volumétricos seco máximo, resultó entre 1680 y 2000 Kg/M3 y con respecto al volúmen requerido para la construcción del núcleo impermeable lo cubren satisfactoriamente.



PLANTA GENERAL
P.M. ING. CARLOS RAMIREZ U.

U.N.A.M.
ENER ACATLAN

FIG. IV.1

IV.2 Filtros (Grava - Arena)

En cuanto se comprobó mediante exploraciones "in situ" de la factibilidad de utilizar los depósitos del río para la construcción del filtro en la cortina, se procedió a realizar un estudio de refracción sísmica para conocer la potencialidad de los bancos (playones) disponibles a lo largo del río 10 Kms., aguas abajo del sitio de la cortina, dichos estudios consisten en:

Determinar la potencia media (d) de una capa en la cual las ondas sísmicas viajan a una velocidad (V1) que es considerablemente menor a la velocidad (V2), que viajarían en la capa inmediata inferior. La capa superior puede ser el recubrimiento superficial. La solución consiste en medir (V1) y (V2); entonces se podrá determinar la potencia (d) mediante la fórmula:

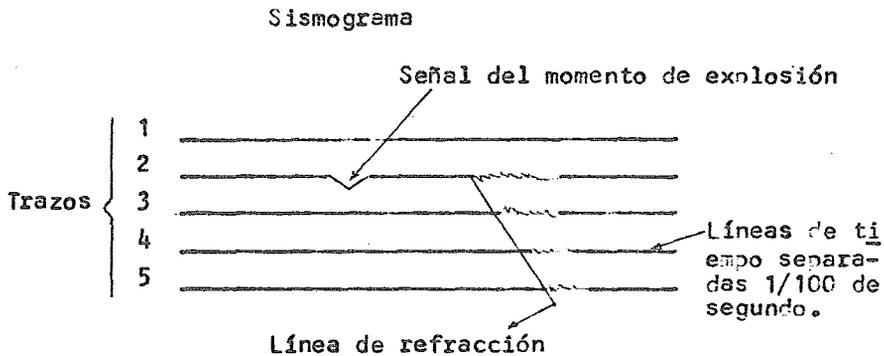
$$d = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{V2 - V1}{V2 + V1}}$$

Donde: x = Distancia al punto del cambio de velocidad.

Para la determinación de (V1) y (V2), se colocan en una línea en el terreno cierto número de receptores llamados geófonos, separados entre si una longitud conocida. En el punto de explosión se vuela una carga de varias libras de un

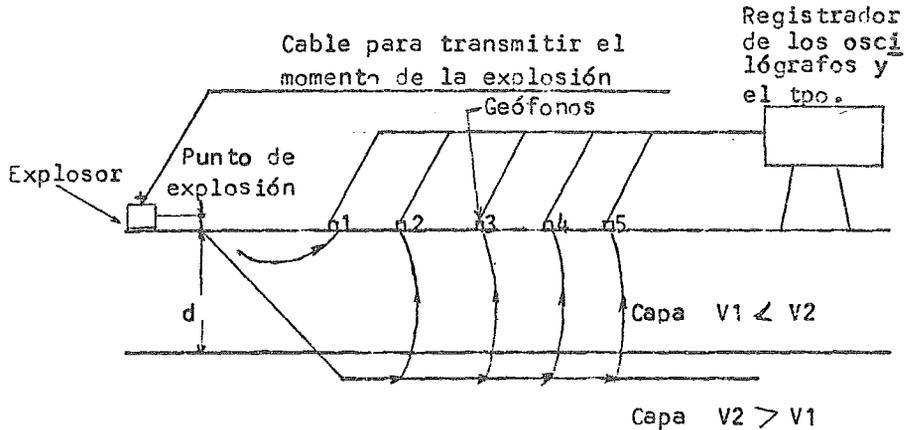
explosivo especial generalmente nitrato de amonio. Las ondas sísmicas enviadas por la explosión al terreno llegan a los geófonos que las reciben, amplifican y transmiten al aparato registrador ú oscilógrafo.

El registro sísmico así obtenido, consiste en varios trazos o líneas, (una por cada geófono) el momento de la explosión se registra mediante una marca especial en uno de los trazos y el instante de la llegada de la primera onda a cada geófono se puede determinar en cada sismograma.



Algunas ondas viajan próximas a la superficie del terreno a una velocidad V_1 , otras cruzan la capa superior oblicuamente y son refractadas después de lo cual siguen el techo de la capa inferior a una velocidad V_2 . El camino más rápido para llegar estas últimas ondas a los geófonos consiste en cruzar la capa superior tanto hacia abajo como hacia arriba, ba-

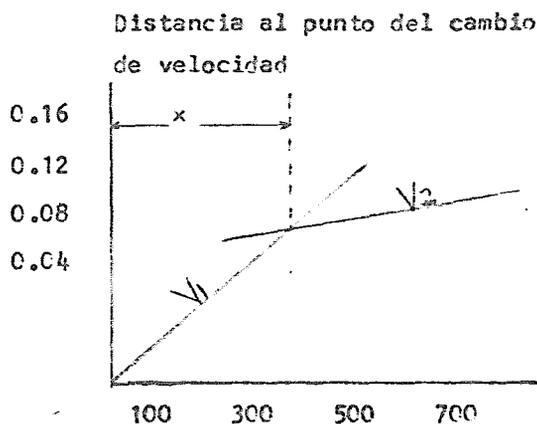
jo cierto ángulo (ángulo crítico de incidencia rasante) como se muestra a continuación:



Cabe la aclaración de que las leyes de refracción de las ondas sísmicas son semejantes a las de la refracción de la luz donde proviene la semejanza en los nombres.

A continuación se muestra como obtener la curva de recorrido - tiempo :

Tiempo de recorrido
de la onda sísmica
en seg.
(se toma del registro sísmico)

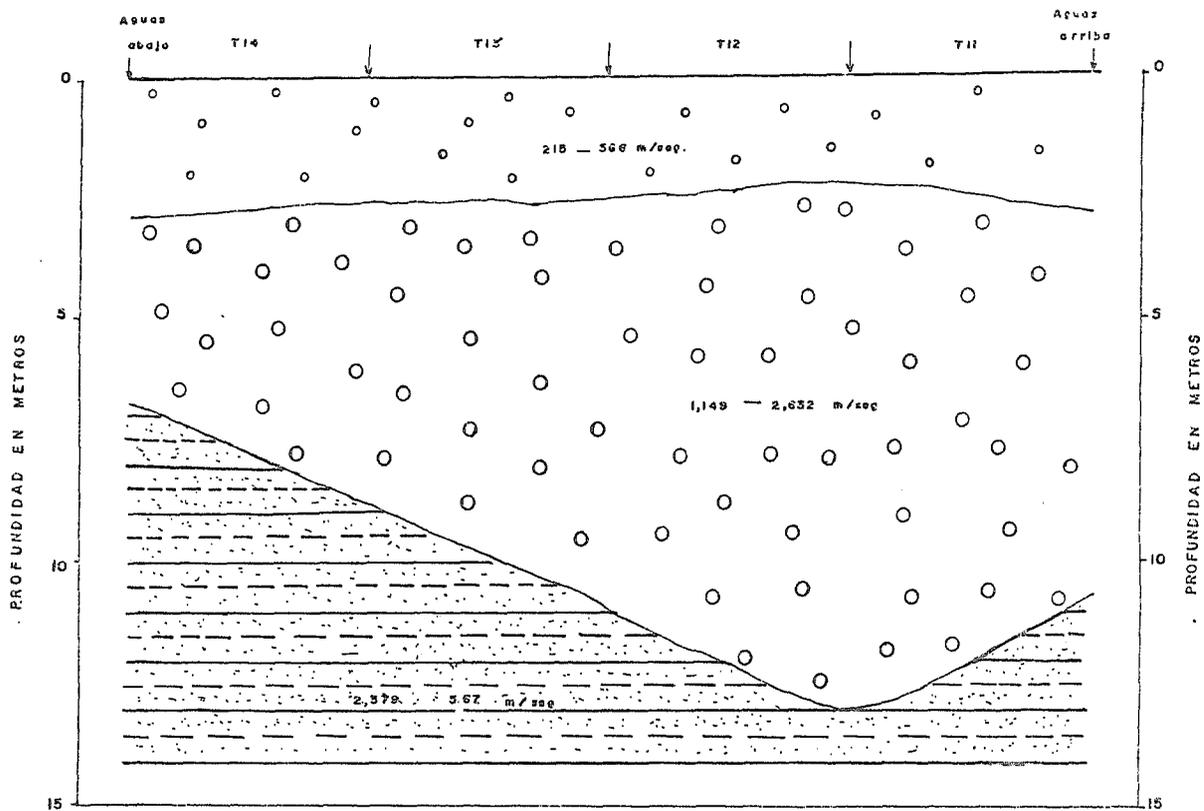


Se presentan como abscisas las distancias entre geófonos y como ordenadas, los tiempos comprendidos entre la explosión y la llegada de la primera de las ondas que rompa el trazo correspondiente, posteriormente se unen estos puntos con líneas rectas que nos representan las velocidades, la distancia al punto de intersección (x) puede calcularse fácilmente por la escala del dibujo.

Para nuestro caso en el proyecto, el comportamiento es similar en todos los playones observados; una zona de 0.5 a

3.5 M., de espesor con velocidades relativamente bajas, de 215 a 566 m/seg. Constituida por depósitos recientes predominantemente de grava y algo de arena; sigue una zona que fluctúa entre 2.5 y 16.0 M., de espesor con un rango de velocidad de 1149 a 2632 m/seg., formada por depósitos con cierta consolidación cuya composición no está claramente definida en cuanto al tamaño de los plásticos, ya que en algunas partes se ha visto boleado a esa profundidad. La tercera unidad exhibe velocidades entre 2379 y 5677 m/seg. y constituye las rocas de la formación Mezcala.

A continuación en la (fig. IV.2) uno de los perfiles obtenidos:



U.N.A.M.
 ENER ACATLAN
 FIG. IV.2

IV.3 Transición y Enrocamiento

En virtud de que la roca producto de las excavaciones del Vertedor de Demasías no reunía la calidad necesaria para utilizarse como enrocamiento de cortina, ha sido necesaria la explotación en cantera de aproximadamente 3'500,000 M3 de rezaga y roca.

Los bancos localizados desde el inicio de los estudios preeliminares de factibilidad del proyecto fueron:

- a).- Banco Cacalotepec, de rocas graníticas, de un --
-cuerpo intrusivo localizado a la elev. 1100 M.-
S.N.M., sobre la margen derecha del mismo río a
unos 8.0 Kms., aguas abajo de la cortina.
- b).- Banco Charloa, localizado sobre una barranca del
mismo nombre a 0.5 Kms., aguas arriba de la cor-
tina, sobre la margen izquierda, constituido por
areniscas y lutitas sanas y competentes cuya es-
tratificación tiene echados entre 45° y 60°.

El banco Cacalotepec fué eliminado en base a los altos costos de caminos de acceso y acarreos, quedando solamente - el banco Charloa como fuente de abastecimiento de roca. En dicho banco se tuvieron problemas para su explotación por lo acantilado del terreno y su estratificación con una inclinación que ya había dado lugar a deslizamientos antiguos.

En esas condiciones se diseñó una explotación desde la

parte baja de la barranca cortando los estratos que tenían echados de 60° , lo que producía deslizamientos de talud hasta que el volúmen de éstos hizo peligrosa su explotación. En estas condiciones se explotaron aproximadamente 450,000 M³ de rezaga y roca que se utilizaron en la construcción de las ataguías, quedando inutilizado el banco para su explotación posterior a causa de los deslizamientos ocurridos.

Al tener necesidad de roca para el cuerpo principal de la cortina se programó una extensión de exploración geológica sobre la misma margen izquierda del río, que tuvo como resultado la identificación de una zona con buenas características para su explotación de roca, de unos 800 M., de extensión ubicada entre las cañadas "el muerto" y "chachalacas" cuyo centro de gravedad está a 1.0 Km., aguas arriba de la cortina.

ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA CANTERA CHACHALACAS.

1).- Topográficos

En cuanto se comprobó mediante estudios preliminares de geología la factibilidad técnica de explotación de la cantera chachalacas, se procedió a realizar la topografía del área, verificando físicamente la fotogrametría inicial en escala 1 : 5000.

Teniendo la topografía confiable se hizo un diseño de explotación de una zona de unos 600 M., de extensión con caminos de acceso a diferentes niveles. En el proyecto de la cantera se tomó en cuenta el echado de la estratificación que en

este caso es favorable pues los echados varían entre 8° y 26° hacia adentro del macizo rocoso y el echado de las fracturas entre 75° y 80° , eligiéndose taludes 0.25 : 1 que serían paralelos a las fracturas con bermas de 5.0 M., de ancho en cada 30.0 M., de altura, en tal forma de obtener 4'000,000 de M³ - entre las elevaciones 620 y 460, quedando un corte máximo de 120 M., de altura, con el piso de la cantera al mismo nivel - que la ataguía de aguas arriba para evitar acarreos ascendentes (fig. IV.3), en esta figura se presenta la topografía de la cantera y la zona propuesta para su explotación.

2).- Geotécnicos

Los trabajos de geología se realizaron mediante levantamientos superficiales de la estratigrafía y estructura de la roca en las dos cañadas el muerto y chachalacas que limitan la cantera al oriente y poniente respectivamente y en la barranca las avispas, ubicada en el centro de la cantera; de estos estudios se concluyó lo siguiente:

- * La roca era de buena calidad física para utilizarse como enrocamiento de la cortina.
- * El despalme sería entre 0.5 M y 3.0 M.
- * La estructura de la roca forma un sinclinal con echados entre 8° y 26° hacia adentro del macizo rocoso, permitían obtener toda la roca requerida para la cortina. La cubicación hasta la elevación 460 fué de

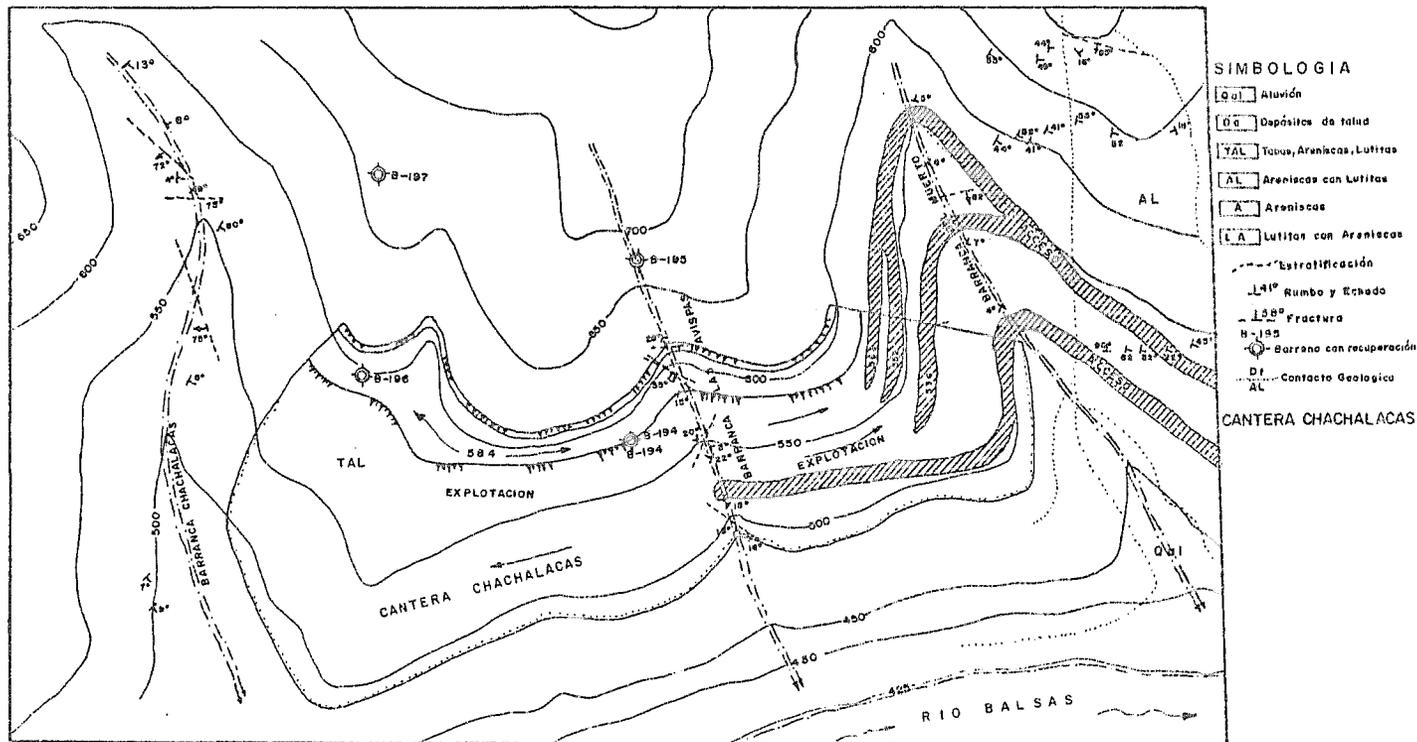


FIG. IV.3

U.N.A.M.
ENER ACATLAN

8'000,000 M3.

* Se identificaron 3 familias de fracturas con las siguientes características:

- α - NW 50° con echados 79° NE
- β - NE 58° con echados 75° NW
- γ - EW con echados 78° N

La separación entre fracturas abiertas era aproximadamente 8.0 M.

3).- Estratigrafía y propiedades mecánicas.

Para el conocimiento de la estratigrafía y de las propiedades mecánicas de la roca se ejecutaron 4 barrenos con recuperación de núcleos \emptyset NX (2") que se profundizaron entre 100 M y 160 M.

De estos sondeos se obtuvo la siguiente información:

Se identificaron 3 zonas de roca como sigue:

- a).- Una zona superficial de roca fracturada y oxidada con espesores variables entre 10 y 15 M., de la cual se podrían obtener fragmentos hasta de 30 cms.
- b).- A continuación una zona de roca fracturada sin evidencia de circulación de agua, con espesor aproximado de 15 M.
- c).- Una zona de roca sana, hasta el fondo de los barre-

nos de unos 100 M., de espesor.

El índice de calidad promedio de la roca (R.Q.D.), en los barrenos es de 56 % y 61 %, con 75 % promedio en la zona más profunda de roca sana. El promedio de recuperación en toda la longitud explorada por los barrenos fué de 98 %. Las fracturas delgadas se encuentran rellenas por calcitas, cuarzo y piritas que dan lugar a una mejoría en la calidad del macizo rocoso.

Los espesores de los estratos fueron:

Lutitas	-----	1 a 5	M
Areniscas	-----	1 a 3	M
Tobas de composición andesítica	-----	1 a 4	M

La resistencia en compresión simple en estado semisaturado fué como sigue:

Compresión simple en Kg/ cm²

Mín	Max	Promedio
200	1750	975

El número de ensayos fué de 276.

La variación estándar resultó entre 260 a 460 Kg/ cm².

El coeficiente de variación se tuvo entre 33 y 57 %.

Se puede decir que se trata de una roca con calidad me-

dia a alta para la roca sana según la clasificación de Don. U. Deere.

Compresión simple en Kg/cm².

Muy alta	alta	media	baja	muy baja
2253	1127-2253	563-1127	281-563	281

En la tabla siguiente se presenta un resumen de las propiedades geométricas y mecánicas de la roca, en la que se han agregado valores sobre la densidad de la roca que fué determinada desde los primeros estudios del área del P.M., así como el valor de la velocidad de transmisión de las ondas "p" estimadas entre 4,000 y 4,500 m/seg., con base en estudios previos en la cual se tiene una calidad en roca semejante a la de la cantera chachalacas.

Se trató de saturar la roca bajo presión hidrostática a 10 Kg/cm² durante 8 días observándose que en las muestras sanas y homogéneas la saturación penetró solo 0.5 cm., a 1.0 cm. hacia el centro del espécimen, pero en otras muestras el agua penetró totalmente lo cual da lugar a una mayor dispersión en los resultados, pero da una idea de la buena calidad de la roca.

T A B L A 4.A

- . PROPIEDADES GEOMETRICAS Y MECANICAS . -

CANTERA	R O C A	DUREZA	DENSIDAD.	INDICE DE RESISTION	FACTOR DE PERFORABILIDAD	COMPRESION SIMPLE			CANTERA	EXPLOSTIVO	POTENCIA M/seg.	CARGA ESPECIFICA kg/M3	FARNENACION ESPECIFICA M/M3
						MIN	MAX.	PROM.					
CARACOL	ARENISCAS Y LUTITAS	3.5	2.5	2.8	0.75	200	1,750	975	CARACOL	TJ-VEX 100 + HEXAMON "G"	5000-3000	0.700	0.21
ANGOSTURA	CALIZA SUAVE	3.3	2.4	0.2	1.0	150	500	350	ANGOSTURA	AQUAREX + ANFO-33%	-	0.500	0.17
LAGUNA VERDE	DIORITA	5 5 7 0	2.72	1.43	0.67	1,270	1,960	1,615	LAGUNA VERDE	G E - 40% 2"+ANFO	-	0.450	0.14

CANTERA	FAMILIAS DE FRACTURAS	SEPARACION ENTRE FRACTURAS.	RECUPERACION %.	R.Q.D. %	ESPESOR ESTRATOS (M)	VELOCIDAD CUMPLAS P. M/seg.	PRACTICAS	SEPARACION	CALIDAD R.Q.D. %	CLASIFICACION
CARACOL	3 + ESTRATOS	0.3 M a 1 M 1 M a 3 M > 3 M	98	75	0.05 - 5M	4000-4500	MUY JUNTAS	< 5 cm.	0 - 25	MUY POBRE
ANGOSTURA	3 + ESTRATOS	3 M	100	75	0.5-1M	2900-2100	PROXIMAS	5 a 30 cm	25 a 50	POBRE
LAGUNA VERDE	2	1 a 3 M	100	74	3 x 4M	4 500	BASTANTE PROXIMAS	30cm a 1M	50 - 75	REGULAR
							SEPARADAS	1M a 3 M	75 - 90	BUENO
							MUY SEPARADAS	> 3 M	90 - 100	EXCELENTE

Propiedades Mecánicas

CAPITULO V

CONTROL DE CALIDAD

Es importante en la planeación y ejecución de un buen programa de control de calidad la definición precisa del nivel de calidad requerido en la construcción, este nivel puede definirse formulando 3 preguntas fundamentales:

- a).-¿ Qué se desea?
- b).-¿ Cómo puede ordenarse y programarse la actividad -- que conduzca la logra de tal deseo?
- c).-¿ Cómo determinar que se ha alcanzado lo que se desea?

Las dos primeras cuestiones tienen que ver con la filosofía del proyecto y con la de la contratación.

Se debe entender que la construcción no puede clasificarse simplemente en buena o mala, habrá toda una graduación posible a partir de las condiciones óptimas que deberán considerarse posibilidades dentro del propio diseño, en relación y técnicas constructivas, así como tolerancias en todas las actividades o en casi todas.

Estas tolerancias deben estar claramente especificadas - en los documentos de contratación.

La tercera cuestión exige un sistema de inspección, muestreo y pruebas, que permita analizar las realidades de la construcción, así como las tendencias y oscilaciones de los trabajos.

Un aspecto fundamental en la definición de un programa de control, también es el conjunto de especificaciones de construcción que se manejen, pues ellas fijan de un modo u otro muchas de las metas por lograr y muchos de los métodos para determinar si se ha alcanzado lo que se desea.

Las especificaciones gobiernan en gran medida a las 3 preguntas básicas que se formularon como el fundamento último de la filosofía del control.

Otro aspecto muy importante de todo un programa de control de calidad lo constituye el conjunto de pruebas de laboratorio, que deben cumplir con las siguientes características:

- Estar dirigidas a la comprobación de las características esenciales.
- Ser sencillas y rigurosamente estandarizadas.
- Ser rápidas en su realización.
- Ser de fácil interpretación.
- Requerir equipos económicos, fáciles de corregir, calibrar y de manejo simple.

Solo así se podrán tener resultados confiables en los - laboratorios de la obra, que son los que han de realizar el - control, sin interferir o frenar los programas de construcción

Específicamente en la construcción de presas de tierra y enrocamiento la calidad es en sí, proporcionar materiales homogéneos en sus propiedades índice, de manera tal que al quedar colocados, vigilando muy de cerca esta actividad nos garanti-- cen unas propiedades mecánicas, también homogéneas.

El control de calidad puede entonces instrumentarse con el apoyo de las especificaciones sobre procesamiento de los materiales y de su colocación; lo anterior a su vez estará apoyado en los estudios sobre existencia de materiales cercanos a - la obra.

V.I Terraplenes de prueba

El objetivo de estos terraplenes de prueba, es el de de terminar la eficiencia del equipo de compactación de campo.

Los resultados obtenidos en los terraplenes, permitirán determinar el espesor de las capas y el número de pasadas del equipo más conveniente; además de preever algún cambio en el equipo, si se observa que estos no son adecuados. A partir - de los resultados obtenidos en los terraplenes de prueba se - obtendrán los procedimientos y especificaciones para la construcción.

Para la construcción de los terraplenes de prueba se -- empleó material del banco San Marcos y El Remolino, se tendió material en capas de 25 cms. de espesor suelto; para cada con tenido de humedad, se construyó un terraplén de prueba indivi dual de 4 capas cada uno y con diferente número de pasadas, - el volúmen aproximado de estos fué de 300 M3 y se utilizaron los equipos de compactación siguientes:

Para el material del Banco San Marcos:

Equipo	No. de Terraplén	W nominal	Espesor cm	No. pasadas
Compactador neumático -	1	8	25	4
de 20 ton. marca Compac	2	10	25	4
to mod. C 11 remolcado	3	12	25	4
con cargador cat. 966.	4	15	25	4
	6	12	25	2
	7	12	25	8

Equipo	No. de Terraplén	W nominal	Espesor cm	No. pasadas
Equipo autopropulsado -	1	8	25	4
Ingersoll Rand SP60 DD	2	10	25	4
liso vibratorio 12 ton.	3	12	25	4
de peso tambor estático	4	15	25	4
	6	12	25	2
	7	12	25	8
Equipo autopropulsado -	1	8	25	6
Cat. 825 B cuatro ruedas	2	10	25	6
con patas prismáticas 30	3	12	25	6
ton. de peso total.	4	15	25	6
	6	12	25	4
	7	12	25	9
Equipo autopropulsado -	1	8	25	6
vibratorio de almohadi-	2	10	25	6
llas Dynapac C.A 25 P.D	3	12	25	6
6 ton. de peso estático.	4	10	25	6
	5	18	25	6
	6	12	25	4
	7	12	25	9

Los resultados de estos terraplenes se muestran en las - gráficas de compactación γ_{dt} Vs $W\%$ y γ_{dt} Vs No. de pasadas.

El peso volumétrico seco máximo de campo fué de 1978 Kg/M³, con un contenido de agua óptimo de 10.8 %.

Para el material del Banco El Remolino.

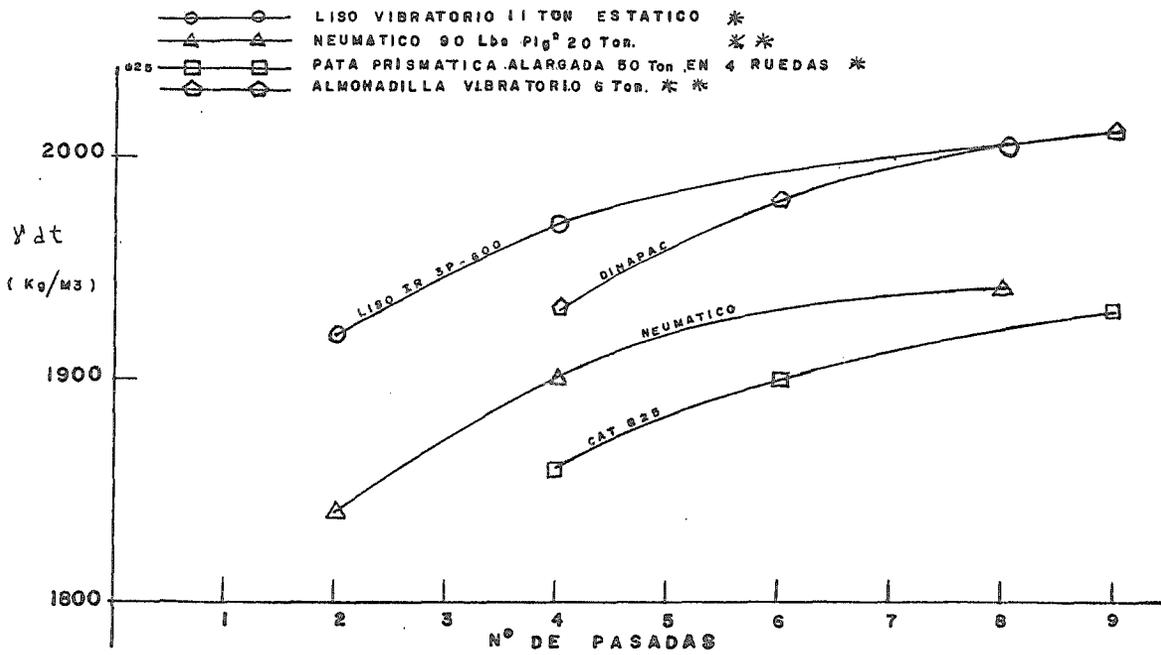
Equipo	No. de Terraplén	W nominal	Espesor cm	No. pasadas
Equipo autopropulsado	2	10	25	6
vibratorio de almoha-	3	12	25	6
dillas C.A 25 P.D 6 -	4	15	25	6
ton. de peso estático	5	18	25	6
	6	12	25	4

Los resultados de estos terraplenes en el peso volumétrico seco máximo fué de 2040 Kg/M³, con un contenido de agua óptimo de 10.6 %. Ver (fig. V.1 y V.2).

En virtud de que al iniciarse la obra no se pudo contar con los equipos de compactación con que se realizaron los terraplenes de prueba; fué necesario realizar otros terraplenes en el sitio de la obra con el equipo disponible, que resultó ser un compactador caterpillar 815 pata prismática de 18 cms. de altura, presión de contacto de 190 lb/plg² y se construyeron terraplenes de 20 cms., de espesor de capa en estado suelto, con 4, 6 y 8 pasadas, resultando más favorable el de 6 pasadas, observando que el contenido de humedad óptimo resultó del 11 % y el grado de compactación del 95 al 97 %.

Este equipo es con el que se está trabajando en la actualidad.

EQUIPO DE COMPACTACION

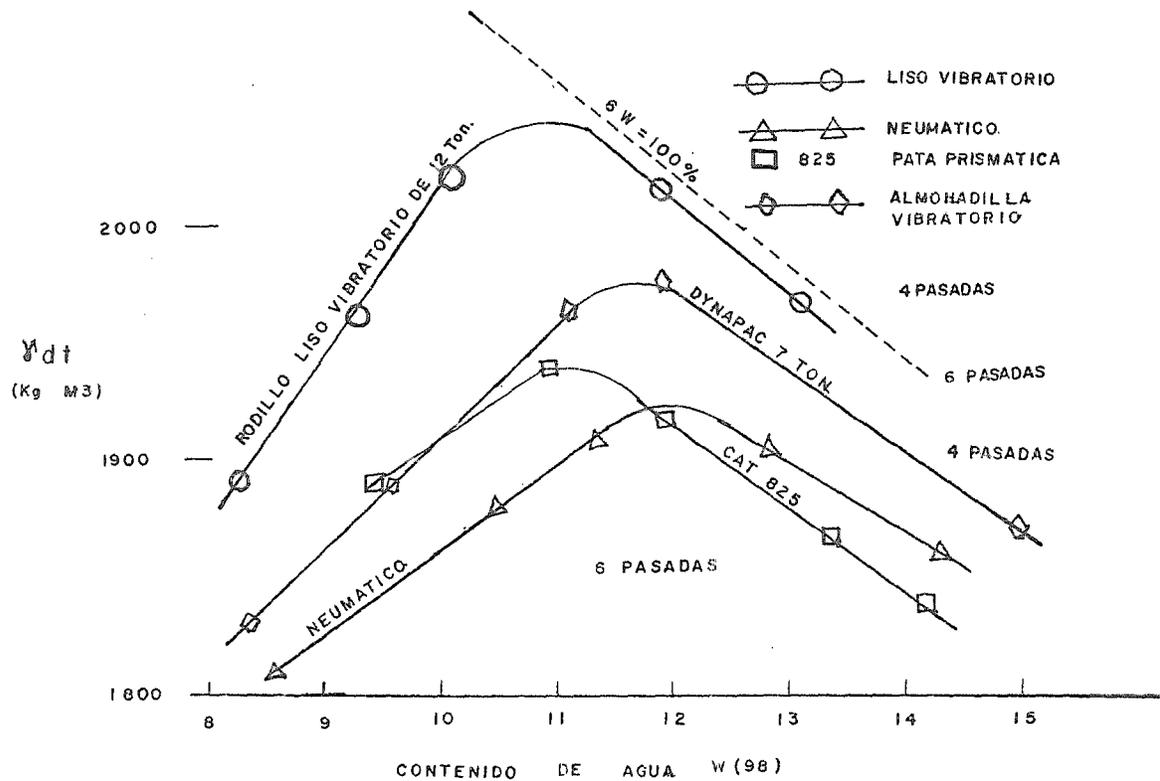


* AUTOPROPULSADO
 ** REMOLCADO

U.N.A.M.
 ENER. ACATLAN

FIG. V.I

PRUEBAS DE COMPACTACION
 MATERIAL BANCO SAN MARCOS
 CONTENIDO DE AGUA 11%
 PARA EMPLEARSE EN EL NUCLEO
 IMPERMEABLE DE LA CORTINA.



PRUEBA DE COMPACTACION
BANCO SN. MARCOS PARA
EL NUCLEO DE LA CORTINA

U.N.A.M.
ENER ACATLAN

FIG. V.2

La localización de los bancos y almacenamientos de los diferentes materiales, se presenta en el plano "General de Bancos", (Fig. IV.1). El contratista efectuará la construcción de la cortina colocando los distintos materiales que la forman dentro de las líneas de proyecto.

El residente marcará en forma visible sobre las laderas, las trazas, correspondientes a cada uno de los materiales, así como las curvas de nivel que sirvan como referencia al contratista para su colocación.

La construcción de las diferentes zonas del terraplén, deberá llevarse lo más nivelado posible, limitando la altura de los "escalones" entre zonas a un metro como máximo, excepto entre el núcleo impermeable y los filtros, los que siempre deberán llevarse al mismo nivel.

Los distintos materiales se colocarán en capas sensiblemente horizontales y con el espesor que fije las especificaciones correspondientes para cada uno de ellos.

Todo material que se encuentra colocado fuera de las trazas que le correspondan de acuerdo con el proyecto o las órdenes del residente, deberá ser retirado por el contratista a sus expensas y a satisfacción del residente. Si en los parámetros de la cortina, se nota falta de material en el momento de trazar las líneas de proyecto, el contratista deberá completar estas zonas hasta dichas líneas, cumpliendo en la colocación de este faltante, con las especificaciones que co-

respondan, según el material de que se trate.

Los caminos de construcción y rampas que se construyan sobre los materiales de los terraplenes deberán ser aprobados previamente por el residente y serán construídos con los mismos materiales de las zonas que crucen. Se permitirá la formación de superficies de rodamiento en las zonas de enrocamiento y rezaga, con los materiales que autorice el residente debiendo el contratista retirarlos a satisfacción del mismo, antes de continuar la colocación de materiales en esas superficies.

MATERIAL 1 .- Núcleo Impermeable

Se utilizará el material proveniente de los bancos El Naranjo, San Marcos y El Remolino, localizados a distancias aproximadas de siete, ocho y diez kilómetros de la cortina, respectivamente y requerirán explotación integral en rampa, así como almacenamiento y tratamiento previo a su colocación. Los sitios para el almacenamiento de estos materiales, serán indicados al contratista por el residente.

El tratamiento previo de estos materiales, consistirá en tender la arcilla en capas de treinta a cuarenta centímetros de espesor, de adicionar agua mediante sistemas de aspersión de manera que se garantice una completa homogenización de esta agua con el material, hasta que tenga un contenido de agua ligeramente mayor (1 ó 2 %) que el especificado. Podrán requerirse dos zonas de tratamiento, una para la zona central del núcleo y la otra para las zonas en contacto con los fil-

tros y laderas. El control de estos trabajos, quedará a cargo del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Obra.

Una vez terminados a satisfacción de la C.F.E.; los trabajadores de limpieza y tratamiento dental de la roca de cimentación, así como el tapete de inyecciones de consolidación (Estos temas no se tratarán por no ser la finalidad de esta tesis). Se iniciará la colocación del material impermeable, procediendo como se indica a continuación:

Una vez que el material almacenado alcanza un contenido de agua aproximadamente de un 2. % mayor que el especificado, lo cual verificará sistemáticamente el laboratorio de campo - se podrá proceder a la explotación del almacén, atacándolo en rampa para que al cargarse se obtenga un mejor mezclado del material. Durante la carga del material en el almacén, los inspectores del laboratorio deberán verificar sistemáticamente la calidad del mismo, principalmente en lo que se refiere a contenido de agua y homogeneización.

Al llegar al sitio del núcleo de la cortina, los camiones descargarán el material en los lugares indicados por los inspectores o encargados de frente, procediendo posteriormente a extenderlo, de manera que se forme una capa de 25 cms., de espesor en estado suelto, utilizando para ello una motoconformadora, quedando a juicio del Residente de Cortina de la C.F.E., si se requiere o no reemplazarlo.

Una vez extendida la capa, se procederá a compactarla -

con varias pasadas de rodillo, pata de cabra o de almohadillas de siete a quince toneladas, de peso estático en el tambor o de compactador de llantas neumáticas de cincuenta toneladas de peso, hasta alcanzar el 95 % de grado de compactación respecto a la prueba proctor, con energía de compactación de 7.0 kg-cm/cm³, (molde: diámetro = 10.1 cm., altura h = 12.5 cm., peso de martillo w = 2.415 kg., altura de caída d = 45.1 cm., número de capas n = 3, número de golpes por capa n = 22), para el concurso deberán proporcionarse los precios unitarios entre cuatro y seis pasadas de los rodillos citados.

El número de pasadas de los compactadores, se definirán en los terraplenes de prueba.

Antes de colocar la siguiente capa, deberá escarificar se la superficie de la ya compactada, cuantas veces sea necesario, para asegurar la liga entre ellas y se continuará la construcción del terraplén, en la forma antes indicada.

El material del núcleo en contacto con las laderas, -- (variable entre uno y cuatro metros de ancho), deberá colocarse con un contenido de agua inicial a $w_0 + 2\% \text{ ó } 3\%$ y compactar con compactadoras neumáticas manuales (bailarinas) o equipos con llantas lastrados. Es probable que esta misma franja de material con mayor contenido de agua se coloque en contacto con los filtros.

La superficie sobre la cual se vaya a desplantar el material impermeable deberá ser roca sana, tratada previamente

como lo indiquen los planos de proyecto y/o las instrucciones del Residente. El piso estará libre de materiales extraños o sueltos, tales como residuos de las perforaciones e inyecciones y se deberá empapar inmediatamente antes de colocar la primera capa.

Los niveles de desplante del corazón del material impermeable se muestran en el plano del proyecto, deducidos aproximadamente en función de los datos geológicos, siendo el Residente quien los confirmará o modificará a la vista de las características de la roca una vez efectuada la excavación. Se procurará que el desplante del material, en el sentido transversal al eje de la cortina, quede a nivel y, si no fuera posible, se deberá formar tramos a nivel unidos con rampas de menor pendiente posible, según indique el Residente.

Todas las capas de material que se coloquen subsecuente mente a la primera, se deberán apoyar sobre material que no presente agrietamientos por secado ni contaminación de materiales extraños y que tenga un contenido de agua uniforme, cercano al óptimo de compactación, con su superficie húmeda.

El espesor de las capas sueltas, antes de la compactación deberá ser uniforme en toda la zona de trabajo.

El contratista deberá prever la protección de la zona impermeable en el caso de lluvias; no se deberán formar encharcamientos que provoquen saturación de la superficie del

material, ni saturación de materiales sueltos.

Entre los procedimientos de protección se pueden usar - los siguientes:

Cubrir con lonas la zona impermeable en el momento de - la lluvia o formar una superficie plana en el material compac-
tado mediante el empleo de rodillos lisos, con pendiente ha--
cia las zonas impermeables, cuando se interrumpa la colocación
por más de cuatro horas.

Todo material suelto con exceso de humedad debido a llu-
vias que se encuentre en la zona de compactación, así como a-
quel ya compactado que, debido a encharcamiento pierda su com-
pactación deberá ser retirado por el contratista a sus expen-
sas, reponiéndolo con material con el contenido de agua esti-
pulado.

MATERIAL 2 .- Filtros

En estas zonas se utilizarán materiales granulares (gra-
va - arena) de los bancos disponibles, eliminado por cribado
los tamaños mayores de cinco centímetros (2") y verificando -
que el material no contenga finos plásticos (partículas meno-
res que la malla 200) medidos en la cortina. Las curvas gra-
nulométricas deberán estar comprendidas dentro de los límites
especificados.

Una vez aceptadas por el laboratorio de campo los ban--

cos de almacenamiento y el procesamiento requerido se procederá a iniciar su colocación entre las trazas correspondientes.

Para evitar segregación durante el transporte y colocación de estos materiales, se requiere el empleo de "cajas distribuidoras" que permitan depositar los filtros sobre el terraplén, desde una altura de caída mínima.

En caso de no disponer de las mencionadas "cajas distribuidoras" o que el depósito no se realice en la forma especificada, una vez puestos los filtros y transiciones en el terraplén, deberán mezclarse y remezclarse con motocoformadora hasta que a juicio del Residente de Cortina de C.F.E., se encuentren perfectamente homogenizados.

El material se extenderá en capas de treinta centímetros de espesor en estado suelto y conforme al diseño final, se tendrán dos opciones: a).- se compactará con un mínimo de cuatro pasadas de rodillo liso vibratorio autopropulsado de dos toneladas de peso estático mínimo o, b).- bandeado con cuatro pasadas de tractor D-8 o similar, hasta obtener una compacidad relativa mayor de 80 %, la cual estará controlada por el laboratorio de campo.

MATERIAL 3 .- Transiciones

En esta zona se utilizará grava - arena de los bancos disponibles, eliminando por cribado los tamaños mayores de :-

12.5 cms., (5"). Se podrá sustituir grava - arena por material de rezaga (también limitado su tamaño máximo a 12.5 cm) proveniente de voladuras de los bancos disponibles. Las curvas granulométricas resultantes, deberán estar comprendidas dentro de los límites especificados.

Una vez aceptado por el laboratorio de campo los bancos de almacenamiento y el procesamiento requerido, se procederá a iniciar su colocación entre las trazas correspondientes.

El material se extenderá en capas de treinta centímetros de espesor en estado suelto y se compactará: a).- con un mínimo de cuatro pasadas de rodillo liso vibratorio autopulsado de dos toneladas de peso estático mínimo, o b).- bandeado con cuatro pasadas de tractor D-8 o similar, hasta obtener una compacidad relativa mayor de 80%, la cual estará controlada por el laboratorio de campo.

MATERIAL 4r y 4c .- Enrocamiento Compactado.- Respal-
dos.

Se obtendrá el producto de excavaciones subterráneas exclusivamente (arenisca sana) o bien de las canteras "Charloa" y "Chachalacas", cuya localización se muestra en el plano general de bancos. El tamaño máximo del material será de treinta centímetros, en este material, el porcentaje de finos (menor que la malla 200) deberá ser menor del 5%, medidos en la Cortina.

Una vez aceptados los materiales, se procederá a su colocación y tendido dentro de las trazas correspondientes, limitando el espesor de la capa a cincuenta centímetros en estado suelto, empujando los tamaños gruesos hacia las zonas 5 esta operación deberá realizarse adaptando al tractor, un --peine. A continuación se procederá a compactar dicha capa -- con cuatro pasadas de rodillo liso vibratorio de 13.5 ton., de peso estático a las que defina el laboratorio de campo, -- si se emplea un equipo de menor peso.

A cada diez metros de altura de enrocamiento compactado se regará con un volumen equivalente a 280 litros de agua por cada metro cúbico colocado hasta la elev. 490.

**MATERIAL 5 .- Enrocamiento Acomodado con Tractor.- -
Protección contra Lluvia.**

Se obtendrá del producto de excavaciones subterráneas o a cielo abierto, exclusivamente (arenisca sana) o bien de las canteras "Charlos" y "Chachalacas", cuya localización se muestra en el plano general de bancos.

En este material, el porcentaje de finos (menor que la malla 200) deberá ser menor que el 5%, medidos en la cortina

El tamaño del material será entre treinta y cien centímetros y será colocado en capas de 1.5 m., de espesor en estado suelto, extendiéndolo hacia las zonas 6, compactadas --

con dos pasadas de tractor D-8 o su equivalente.

MATERIAL 6 .- Enrocamiento de gran tamaño colocado a volteo protección contra oleaje.

Se obtendrá del producto de excavaciones subterráneas o a cielo abierto, exclusivamente (arenisca sana) o bien de las canteras "Charloa" y "Chachalacas" cuya localización se muestra en el plano general de bancos.

En este material, el porcentaje de finos (menor que la malla 200) deberá ser menor que el 5%, medidos de la cortina

El tamaño del material será igual o mayor a un metro cúbico y será colocado a volteo acomodándolo con tractor en capas de dos metros de espesor.

Control de Calidad de los Materiales:

El contratista deberá dar facilidades al personal del laboratorio de campo de la C.F.E., para que sistemáticamente se lleven a cabo los siguientes trabajos:

Núcleo impermeable:

Efectuar como mínimo 2 calas volumétricas diarias, de 30 cms., de diámetro en la vecindad del eje del núcleo.

Filtros y Transiciones:

Se realizará como mínimo cada tercer día una cala volumétrica de 75 cms., de diámetro, en la zona de aguas arriba

y de aguas abajo.

Diariamente se efectuará un mínimo de 4 pruebas de infiltración en estas zonas.

Respaldos y Protecciones :

Se realizará por lo menos una vez a la semana una cala volúmetrica de 150 cms. de diámetro, alternando estas calas en las zonas de aguas arriba y aguas abajo.

V.3 Tratamiento de los Materiales

Tratamiento de la Arcilla.-

Como se mencionó en el capítulo anterior para la construcción de la cortina se contempló la utilización de los materiales existentes en la región, de los cuales se seleccionaron aquellos que sus propiedades físicas cumplían con las normas de especificación para su uso.

El tratamiento de arcilla para el núcleo impermeable - se controlan las siguientes actividades:

- a).- Corte en rampa con tractor, altura de corte y avance de explotación en el banco.
- b).- Formación de almacén por medio de capas de 30 a 40 cms., de espesor tendido con tractor.
- c).- Eliminación mediante pepenación de las gravas mayores de 3".
- d).- Adición de agua mediante sistema de riego por aspersión en caso de que sea necesario.
- e).- Verificación del contenido de agua final después del riego y autorización del tendido de la siguiente capa.

El cumplimiento de las actividades anteriores garantizan en el material la homogenización de sus características, granulometría, plasticidad y contenido de humedad óptimo.

Se encuentra especificado almacenar en distintas plataformas, material para zona normal y material para las zonas húmedas, en el lugar denominado almacenamientos San Marcos, - además se especifica que:

$$\text{para la zona normal } w_t = w_o + 1 \%$$

$$\text{para la zona húmeda } w_t = w_o + 3 \%$$

donde: w_t = contenido de humedad nominal

w_o = contenido de humedad inicial

Así tenemos que para la zona normal se exige una humedad nominal del 16 % con un 100 % de penetración y para la zona húmeda, la humedad nominal debe ser del 19 % con un 100 % de penetración.

Determinación de la Humedad Nominal.-

Suponiendo que el contenido de humedad inicial (w_o) del banco sea : $w_o = 11 \%$ tenemos para zona normal :

$$w_t = w_o + 1 \% : w_t = 11 + 1.0 = 12.0 \%$$

A esto debemos aumentar la correlación por secado a fuego directo que es del 3.0 % y las pérdidas de humedad que en tiempo de lluvias se estimó del 0.5 % y en el período de estiaje de 1.5 %, así tenemos que :

$$w_t = 12.0 \% + 3.0 \% + 0.5 \% = 15.5 \%$$

$w_t = 15.5 \%$ Para zona normal en período de lluvias.

Para la zona húmeda tendríamos que :

$$Wt = 11.0 \% + 3.0 \% + 3.0 \% + 0.5 \% = 17.5 \%$$

Wt = 17.5 % Para zona húmeda en período de lluvias.

Para esta zona se es más flexible en el tratamiento, - ya que puede variar la humedad entre el 17.5 % y el 19.5 % - sin presentar problemas en la colocación.

Toda la actividad de control que implique la vigilancia en el tratamiento del material recae en el grupo de inspectores y laboratoristas de campo.

Determinación del Tiempo de Riego.-

Para lograr el contenido de agua deseado en el material en base al sistema de riego de aspersión, se mide el espesor de capa por humedecer, su peso volumétrico seco y su contenido de agua inicial, este contenido de agua con el deseado de finen una diferencia de humedad que es la que hay que agregar.

Con los datos anteriores se puede conocer la cantidad de agua por M2 de superficie, además conocida la intensidad de lluvia que proporciona el equipo de aspersión se puede -- calcular el tiempo que debemos mantener el riego.

Ejemplo:

Datos de campo

$$\gamma_{dt} = 1588 \text{ kg/m}^3$$

$$W \text{ diseño} = 13 \%$$

$$W \text{ inicial} = 10.4 \%$$

$$\Delta W = W \text{ diseño} - W \text{ inicial} = 13.0 - 10.4 = 2.6 \%$$

$$\underline{\Delta W = 2.6 \%}$$

$$(e) \text{ espesor de capa} = 0.35 \text{ m}$$

$$\text{Espaciamiento entre aspersores (6 x 12 m)} = 20' \times 40'$$

$$\text{Velocidad de infiltración} = 1.5 \text{ cm/hora.}$$

$$a).- \text{ Velocidad de aplicación en (cm/hr)} =$$

$$\frac{245 \times Q \text{ aspersor (GPM)}}{\text{Espaciamiento (Pies)}}$$

$$(GPM) = \text{galones por minuto}$$

Despejando Q aspersor y sustituyendo valores tenemos:

$$Q \text{ aspersor} = \frac{1.5 \text{ cm/hr (20' x 40')}}{245} = 4.89$$

$$\underline{Q \text{ aspersor} = 4.89 \text{ GPM}}$$

$$b).- \text{ Cantidad de agua en Lts/m}^2 = \Delta w \int dt \times e$$

Sustituyendo valores tenemos :

$$\text{Cantidad de agua} = 0.026 (1588) (0.35) = 14.45$$

$$\underline{\text{Cantidad de agua} = 14.45 \text{ Lts/m}^2}$$

$$c).- \text{ Tiempo de Riego (en minutos)}$$

$$T.R = \frac{\text{Cantidad de agua x espaciamento (en metros)}}{Q \text{ aspersion (Lts/min)}}$$

$$T.R = \frac{(14.45) (6 \times 12)}{(4.89) (3.785)} = 56$$

Conversion de galones
a Lts.

$$\underline{T.R = 56 \text{ Min.}}$$

Tratamiento de la Grava - Arena para Filtros.-

La correcta selección del equipo de trituración, es uno de los factores que sin lugar a dudas, influyen más en el -- buen resultado técnico y económico de las obras civiles de -- construcción pesada.

Es por lo tanto muy importante poder contar con toda la información necesaria para poder plantear correctamente, el - problema de selección del equipo de trituración y complementa - rio respectivo y así elegir las máquinas que a partir de un - material natural o greña, serán capaces de producir en el ti - empo requerido los agregados necesarios para la ejecución de la obra en cantidad suficiente y con la calidad necesaria.

La materia prima para la producción de gravas y arenas para el filtro, se obtiene de yacimientos de agregados natura - les del río desde 1.0 Km., hasta 9.0 km., aguas abajo de la - cortina. El espesor máximo de estos depósitos conocidos como "Aluvión" es de 17.0 m., sin embargo solo se explotan de 4 a 5 m., de espesor, ya que abajo de esta profundidad hay un es-

trato de 5m., de espesor constituidos por boleos de 0.70 m.

El material se extrae del río por medio de dragas de arrastre de 4 Yd³ ó retroexcavadoras de 1 1/2 Yd³ y es -- procesada en una planta de lavado, cribado y trituración pa -- ra obtener la granulometría requerida por las especificacio -- nes.

El material para el filtro es bien graduado con tama -- ño mínimo de arena fina (0.07 mm) y máximo de 5 cm. (2") ve -- rificando además que el material no contenga finos plásti -- cos (particulares menores que la malla 200).

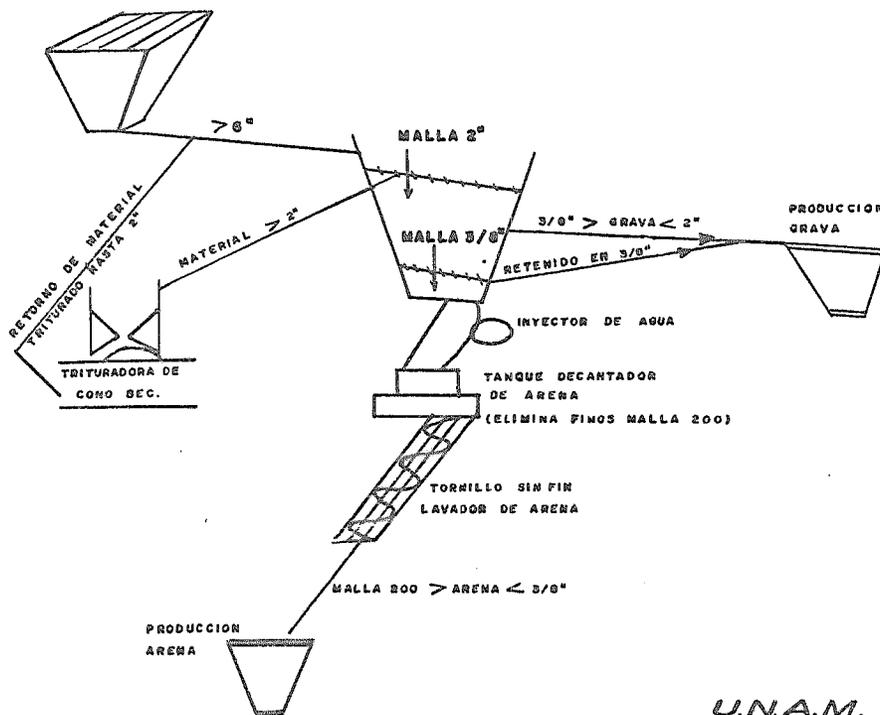
Se presenta a continuación el esquema de la planta -- procesadora que ha arrojado muy buenos resultados, lo cual se comprueba con las curvas granulométricas obtenidas. (fig V.3).

Tratamiento del Material para Transiciones.-

Como ya mencionamos anteriormente el material para -- transición proviene de la cantera chachalacas y recibe un -- tratamiento de trituración y cribado para obtener material que cumpla con la granulometría especificada para las tran -- siciones.

El tratamiento consiste en recibir el material de la cantera en una tolva que descarga a una trituradora prima -- ria de quijada, la cual reduce los tamaños mayores, para -- posteriormente pasar a una criba vibratoria con mallas de -- 4" y 1/4".

PLANTA PROCESADORA DEL FILTRO



U.N.A.M.
ENER ACATLAN

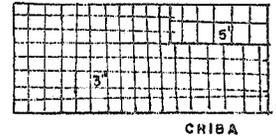
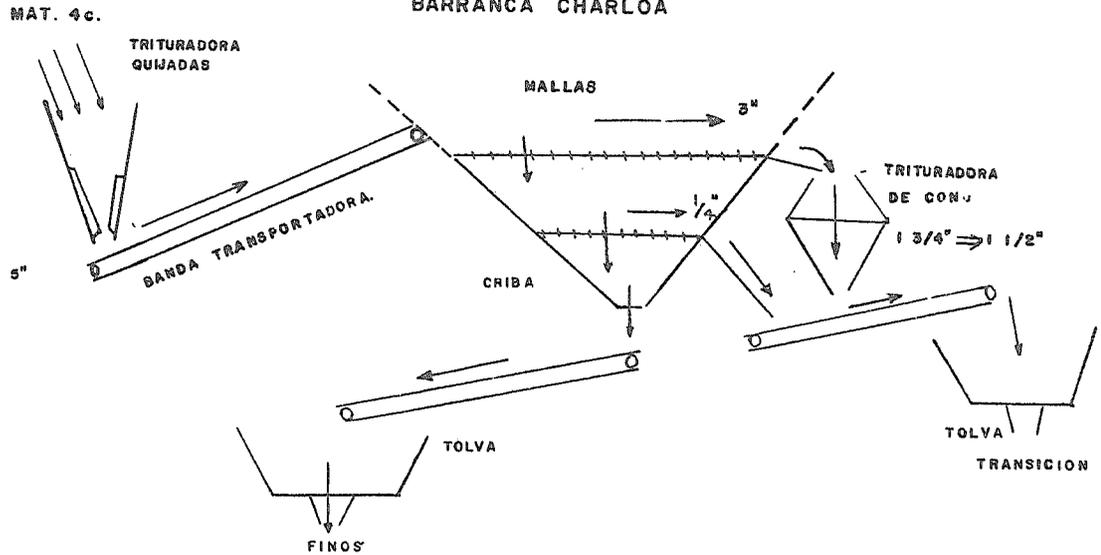
FIG. V.3

El material que retiene 4" pasa a una trituradora de cono para reducir tamaños; todo el material procesado menos el menor a 1/4" produce la granulometría necesaria para el material de transición.

El material que ya cumple con las especificaciones pasa por bandas a la tolva que descarga directamente a los camiones que transportan el material; ya sea para almacenarlo o para ir directamente al sitio de colocación en cortina.

A continuación se presenta el esquema de la planta -- (fig.V.4.).

CROQUIS DE LA PLANTA DE TRITURACION UBICADA EN BARRANCA CHARLOA



U.N.A.M.
ENERACATLAN
FIG. V.4

Tratamiento del Material para Enrocamiento.-

La cantera se proyectó originalmente para una producción de 10,000 M³/ día, de tal manera que se programó llevar el acceso superior a la elevación 568 hasta el centro de la cantera en la cañada de las "avispas", formando una plataforma a partir de la cual se tuvieran uno o más frentes de explotación avanzando en direcciones oriente y poniente. A causa de una disminución de los fondos económicos de construcción de la cantera se ha limitado a 5,000 M³/ día con la rezaga obtenida se produce también material de transición, procesado en una planta de 1,000 M³/ día.

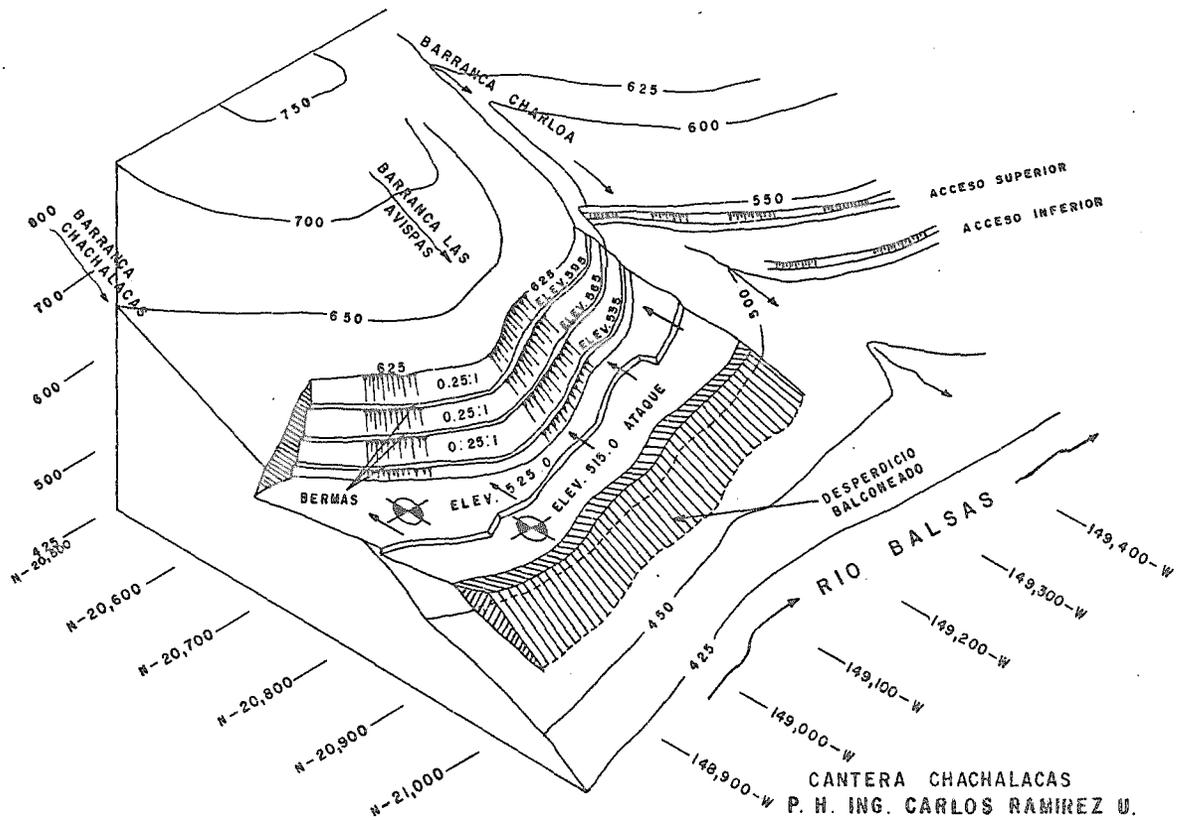
La altura de los bancos de explotación es de 10 M., en función de la capacidad del equipo (cargadores frontales de 9 Yd³) con que cuenta para su explotación.

El despalme se realiza con un tractor caterpillar D8k auxiliado por voladuras pequeñas, de tal manera que el desperdicio es balconado sobre el talud hacia el río. El desperdicio promedio es del orden del 20 % (fig. V.5).

Diseño de la Plantilla de Barrenación.-

El diseño de las plantillas de barrenación parte de un elemento importantísimo; que es la correcta determinación del "Bordo", los restantes elementos se calculan todos en función de este último.

El dimensionar el "Bordo" como 40 veces el diámetro de



U.N.A.M.
 ENER. ACATLAN

FIG. V.5

la barrenación, fué una regla suficientemente probada por su efectividad cuando se disponía del "Toval". Se comprobó también que esta regla ya no funciona por no contarse con explosivos de alta densidad y fuerza, por lo que fué necesario recurrir al libro: "HANDBOOK OF SURFACE DRILLING AND BLASTING" editado por "TAMROCK", empresa finlandesa dedicada a la fabricación de equipos para barrenación.

En el se precisa el diseño de las plantillas de barrenación empleando una fórmula para calcular el "Bordo" pero - tomando en consideración, además del diámetro de la barrenación, las características del explosivo por utilizar, el tipo de roca y la relación espaciamento - bordo.

Para aplicar la fórmula mencionada, se investigaron algunos valores nunca antes requeridos.

$$V = \frac{dp}{33} \sqrt{\frac{P.S}{c.f. \left(\frac{E}{B} \right)}}$$

dp = Diámetro del fondo de la perforación (mm)

Este dato no tuvo dificultad pues su determinación está en función del equipo por utilizar.

P = Densidad de carga según el grado de compactación (kg/dm³).

Es un dato proporcionado por el fabricante, en la información técnica del producto.

S = Fuerza del explosivo por unidad de peso

Que para el caso de la dinamita al 40% es igual a 1.0.

Para el caso de los hidrógeles fué necesario hacer consultas al fabricante para fijar los valores correspondientes :

EXPLOSIVO	DENSIDAD RECA-TADO	"P" SUELTO	FUERZA DEL EXPLOSIVO "S"
Tovex 100	1.10	1.00	0.67
Tovex 700	1.20	1.10	0.71
<u>Tovex Extra</u>	1.35	1.20	0.66
Anfomez "X"	0.90	0.80	

\bar{c} = Valor calculado por la constante de roca que para el caso de bordos entre 1.4 m y 15 m viene dado - por la expresión:

$$\bar{c} = c + 0.05$$

En donde "c" es la constante de roca que se define como la cantidad mínima de explosivo en (kg) que se requiere para extraer un metro cúbico de la roca en cuestión.

f = Es un factor que depende de la verticalidad o inclinación del barreno por ejecutar de manera que:

Perforaciones verticales	f = 1.0
Perforaciones inclinadas (3:1)	f = 0.9
Perforaciones inclinadas (2:1)	f = 0.85

$\frac{E}{B}$ = Relación Espaciamiento / Bordo; generalmente es igual a 1.25 pero con la aclaración de que aumentando se habían obtenido mayores fragmentaciones -- del material.

Con toda esta información se diseñó la plantilla de barrenación de la siguiente manera:

$$\text{BORDO TEORICO:} = \frac{dp}{33} \sqrt{\frac{P.S}{\bar{c} (f) \left(\frac{E}{B}\right)}}$$

dp = Diámetro de la perforación = 3" , = 76 mm

P = Densidad de la carga del explosivo (kg/m³)

Tipo de explosivos: Tovex 700 - Densidad retacado 1.2

Anfomex "X" - Densidad retacado 0.9

Densidad promedio = 0.36(1.2) + 0.70(0.90) = 0.99 kg/dm³

S = Fuerza del explosivo por unidad de peso

Para tovox 700 = 0.71

\bar{c} = Valor calculado de la constante de roca

"c" = 0.46 para roca arenisca (Area del caracol)

$\bar{c} = c + 0.05 = 0.46 + 0.05 = 0.51$

f = Factor dependiendo de la inclinación de la perforación
Vertical = f = 1.0

E/B = Relación Espaciamiento - bordo = 1.5

Sustituyendo valores en la fórmula:

$$\text{Bordo Teórico} = \frac{76}{33} \sqrt{\frac{0.99 (0.71)}{(0.51) (1.0) (1.5)}} = 2.21 \text{ m}$$

$$\underline{\text{Bordo Teórico} = 2.21 \text{ M}}$$

DETERMINACION DEL BORDO PRACTICO

$$B = B \text{ teórico} - e - a$$

Donde:

e = Desplazamiento por emboquillado del barrenado

a = Desviación en el alineamiento del barrenado = 0.03 H

H = Longitud de la perforación.

$$B = 2.21 - 0.03 - 0.03 (6.0)$$

$$\underline{B = 2.0 \text{ M}}$$

$$E = 1.5 B = 1.5 (2.0)$$

$$\underline{E = 3.0 \text{ M}}$$

DATOS :

$$\text{ALTURA DE BANCO} = 10 \text{ M}$$

$$E = 3.0 \text{ M}$$

$$B = 2.0 \text{ M}$$

$$O = 3" = 76 \text{ mm} = d$$

Cálculo de la Sub perforación (S.P.)

$$\text{S.P} = 0.3 B$$

$$S.P = 0.3 (2) = 0.6$$

$$\underline{S.P = 0.6 \text{ M}}$$

Perforación total del barreno (P.B)

$$P.B = \text{Altura del banco} + S.P$$

$$P.B = 10.0 + 0.60 = 10.60$$

$$\underline{P.B = 10.60 \text{ M}}$$

Longitud de la carga de fondo (C.F)

$$C.F = 1.3 \text{ B}$$

$$C.F = 1.3 (2) = 2.6$$

$$\underline{C.F = 2.6 \text{ M}}$$

Longitud de la carga de la columna (C.C)

$$C.C = P.B - 2.3 \text{ (B)}$$

$$C.C = 10.6 - 2.3 \text{ (2)}$$

$$\underline{C.C = 6.0 \text{ M}}$$

Longitud de la carga total (C.T)

$$C.T = C.C + C.F$$

$$C.T = 6.0 + 2.6$$

$$\underline{C.T = 8.6 \text{ M}}$$

Concentración de la carga de fondo (C.C.F).

$$C.C.F = d^2/1000$$

$$C.C.F = (76)^2/1000 = 5.78$$

$$\underline{C.C.F = 5.78 \text{ kg/ml.}}$$

Carga de fondo total/ barreno (C.F.T)

$$C.F.T = C.C.F (C.F)$$

$$C.F.T = 5.78 (2.6) = 15.03$$

$$\underline{C.F.T = 15.03 \text{ Kg/Barreno}}$$

Concentración de la carga de columna (C.C.C)

$$C.C.C = 0.5 \quad C.C.F$$

$$C.C.C = 0.5 (5.78)$$

$$\underline{C.C.C = 2.89 \text{ Kg/ml.}}$$

Carga de columna total / barreno (C.C.T)

$$C.C.T = C.C (C.C.C)$$

$$C.C.T = 6.0 (2.89) = 17.34$$

$$\underline{C.C.T = 17.34 \text{ Kg/Barreno}}$$

Carga total por barreno (C.T.B)

$$C.T.B = C.C.T + C.C.C$$

$$C.T.B = 2.89 + 17.34 = 20.23$$

$$\underline{C.T.B = 20.23 \text{ Kg.}}$$

FACTOR DE CARGA (F.C)

$$F.C = \frac{C.T.B}{\text{Volúmen}} = \frac{20.23}{2 \times 3 \times 10} = 0.34$$

$$\underline{F.C = 0.34 \text{ Kg/m}^3}$$

Tipo de carga en los barrenos:

$$C.F = 30 \% \text{ (Tovex 700)}$$

$$C.C = 70 \% \text{ (Anfomex "X") } \circ \text{ (Mexamón "G")}$$

20.23	Kg/barreno (30%)	C.F =	6.07 Kg/barreno
20.23	Kg/barreno (70%)	C.C =	14.16 Kg/barreno
			<hr/>
			20.23 Kg/Barreno

GRANULOMETRIA DEL MATERIAL

Coefficiente de fragmentación S50 de Larsson.-

Bernt Larsson ha correlacionado el tamaño y la granulometría de la fragmentación con la carga específica de explosivos y la barrenación específica conjuntamente con los factores de roca y de explosividad de la roca.

En la (fig. V.6) pueden verse las granulometrías obtenidas por Larsson en 7 voladuras, dibujadas en escalas aritméticas. Larsson argumenta que todas las fragmentaciones de roca que se obtienen en explotación a cielo abierto son semejantes a las mostradas por esas curvas. Larsson ha definido como coeficiente de fragmentación S 50 al tamaño de la malla en metros para el cual el 50% de las partículas son menores que ella.

En la (fig. V.7) se presenta la variación de la fragmentación en función del coeficiente de fragmentación S50 de Bernt Larsson.

En la (fig. V.8) se presenta el Nomograma de Bernt Larsson para el cálculo del coeficiente de fragmentación S50 basado en los datos técnicos de la voladura. En este Nomograma intervienen los siguientes parámetros:

- q.- Carga específica o Factor de carga.- Es la cantidad promedio de explosivo utilizado para obtener una cierta fragmentación en (kg/m³).
- c.- Constante de roca.- Es la cantidad mínima de explosivos en (kg/m³) para fragmentar adecuadamente la roca.
- g.- Barrenación específica.- Es la longitud de barrenación promedio por metro cúbico de roca explotada en (m/m³).
- E/B.- Es la relación entre el espaciamiento y el bordo, no tiene unidades.

Constante de explosividad de la roca.- Es un factor que toma en cuenta la calidad de la roca en función de sus propiedades geométricas y mecánicas.

Las rocas de buena calidad tendrán valores menores como 0.35 y 0.40 y las rocas de mala calidad tendrán valores mayores como 0.55 y 0.60.

Los parámetros determinados para la roca de el Caracol de acuerdo a las propiedades geométricas y mecánicas son:

Tipo de roca	Constante de roca "c"	Constante de explosividad.
Areniscas	0.46	0.50

Utilizando el Nomograma de Larsson, se obtuvieron los siguientes valores del coeficiente de fragmentación S50.:

S50*	S50**
0.20	0.05

* Según nomograma de Larsson.

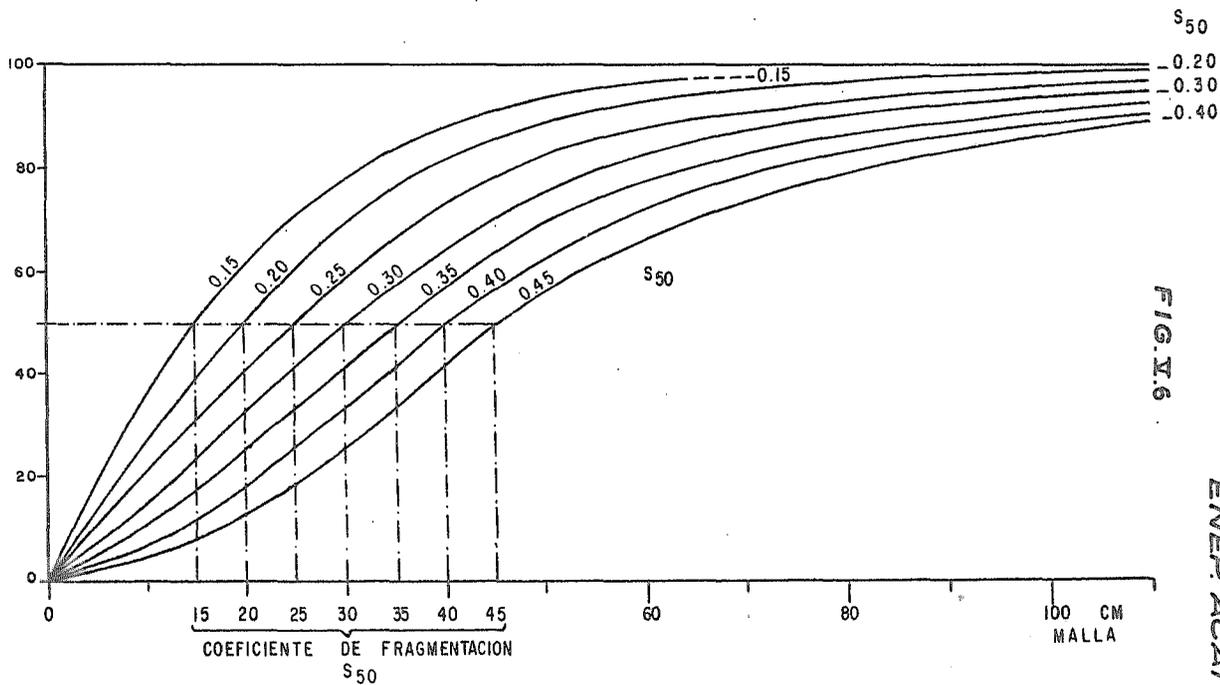
** Real, medido mediante granulometrías.

Como se puede observar existen diferencias importantes en los valores del coeficiente de fragmentación S50 calculados por medio del nomograma de Larsson y los valores reales obtenidos en las granulometrías que se realizan como parte del control de calidad de los enrocamientos de la cortina del Proyecto Hidroeléctri El Caracol.

Se considera que los factores y parámetros que a continuación se enumeran sean la causa de estas discrepancias.

- La calidad de los explosivos suecos es mayor que la calidad de los explosivos mexicanos, para igual potencia teórica, en vista de la carencia de T.N.T en estos últimos.
- La heterogeneidad de la formación rocosa en composición, resistencia y estructura, como ha sido descrito anteriormente dificultan su clasificación.
- La falta de información para evaluar la constante de roca "c", es un factor adverso para su utilización en este tipo de roca.

PORCENTAJES EN PESO,
QUE PASAN LAS MALLAS

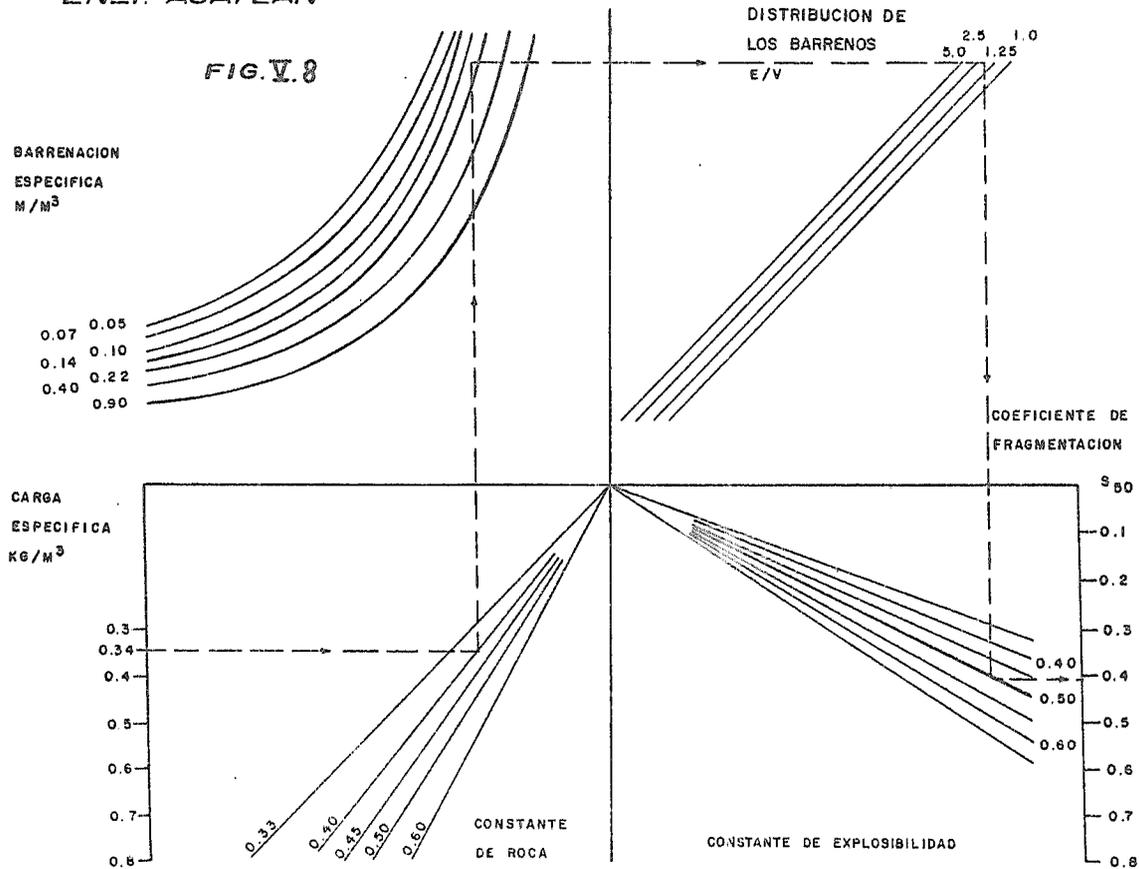


GRANULOMETRIA TEORICA PARA ROCA DE VOLADURAS,
DEFINICION DEL COEFICIENTE DE GRANULOMETRIA, S_{50}

U.N.A.M.
ENERGIA ACATLAN

FIG. I.6

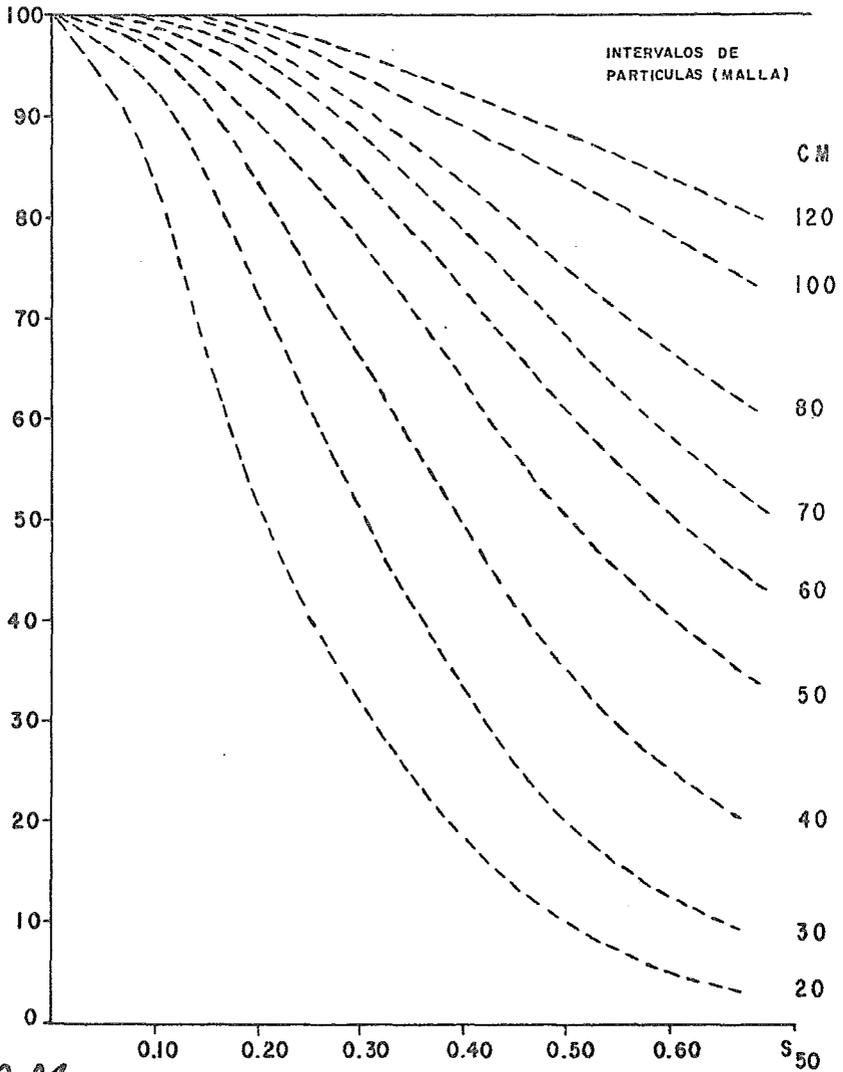
FIG. V.8



DISTRIBUCION TEORICA DE LAS FRACCIONES EN FUNCION
DEL COEFICIENTE DE FRAGMENTACION, S_{50}

PORCENTAJES, EN PESO,
QUE PASAN LAS MALLAS

FIG. V.7



U.N.A.M.
ENER. ACATLAN

TABLA 5.A
DUREZA MOHS Y FACTOR DE ROCA

TIPO DE ROCA	DUREZA MOHS	FACTOR DE ROCA "C"
DIAMANTE	10.0	0.86
CUARZO	7.0	0.62
BASALTO	7.0	0.62
HORSTENO	6.5	0.59
FELDSPATO	6.2	0.57
GNEISES	5.2	0.54
ESQUISTOS	5.0	0.53
MAGNETITA	4.2	0.50
GRANITO (LAGUNA VERDE)	4.0	0.48
ARENISCA (CARACOL)	3.8	0.46
DOLOMITA	3.7	0.44
CONGLOMERADO POCO CEMENTADO	3.5	---
ROCA CALIZA (ANGOSTURA)	3.3	0.40
PIZARRA	3.1	0.38
LUTITA	3.1	0.38
CALCITA	3.0	0.36
ANTRACITA	3.0	0.36
MARMOL	3.0	0.36
CARBON BITUMINOSO	2.5	0.30
MICA	2.3	0.28
YESO	2.0	0.24
TALCO	1.0	---

Referencia: Ings. Reyes Cortés y Valladares Arrieta
Centro de Educación Continua U N A M, Junio 1976.

V.4 Colocación de los Materiales

Núcleo Impermeable.-

Si el material proveniente de los bancos de tratamiento llega a la cortina con la humedad especificada es descargado en los lugares correspondientes a sus trazas y se procede a eliminar los contenidos de gravas mayores de 3" a la vez que se va tendiendo el material con un tractor D8k, formando capas de 20 cm., de espesor en estado suelto, en ocasiones que no se cuenta con este tractor, el tendido se realiza con una motoconformadora.

Una vez formada la capa se procede a su compactación la cual se lleva a cabo con un compactador caterpillar pata de cabra modelo 815 con patas prismáticas de 18 cm., de altura, 16 ton., de peso y presión de contacto de 190 lb/plg², dando un total de 6 pasadas por el mismo sitio siguiendo líneas rectas en dirección paralela al eje transversal de la cortina, obteniéndose valores del 95 al 97 % del grado de compactación respecto a la prueba proctor.

Por otra parte el material que está en contacto con las laderas y con los filtros "Zona húmeda" (franja de 3 a 4 M., de ancho) se coloca con un contenido de humedad del 2 ó 3 % mayor que el óptimo.

La compactación de este material en contacto con las laderas se realiza con compactadores neumáticos manuales "bailarinas", ya que el compactador pata de cabra no logra llegar -

en estas zonas. En alguna ocasión se intentó el empleo del rodillo liso, pero fué descartado al comprobarse la laminación del material a que induce este equipo, lo que da lugar a la formación de planos horizontales de permeabilidad y resistencia menor a las deseadas.

Se debe tener cuidado que las laderas estén empapadas de agua de colocar material para asegurar el contacto roca-arcilla.

Para lograr la homogeneidad en la colocación, se debe controlar una liga efectiva entre capas del material, lo cual se logra escarificando la capa que ya está compactada antes de colocar la siguiente, cuando se nota que una capa ha perdido humedad, debe darse un riego de liga con la misma finalidad.

Por la continua circulación de vehículos en la maniobra de transporte y descarga del material, sobre todo en la parte del acceso a la zona del núcleo impermeable el material sufre laminación, por lo que este es retirado para su tratamiento y homogenización y se vuelve a colocar para continuar con la colocación de material en esta zona.

También se recomienda llevar el terraplén lo más horizontal posible, evitando pendientes mayores del 2% en ambos sentidos para que la energía del compactador no se pierda por dicho efecto.

Cuando la colocación se suspende por más de 4 horas o por lluvia se forma una superficie lisa en el terraplén con pendiente hacia las zonas de los filtros utilizando un rodillo liso para evitar encharcamientos. En estos casos también se especifica que se puede cubrir el terraplén con lonas.

Cuando a pesar de esto el material ha sufrido sobresaturación pierde su compactación por lo que es retirado del terraplén y sustituido por material especificado.

La práctica ha demostrado que el terraplén del núcleo impermeable debe llevarse lo más nivelado posible con el terraplén de los filtros para no perder compactación por falta de apoyo.

Filtros.-

Al no contar en la obra con cajas distribuidoras que evitan la segregación, los filtros se descargan en forma de camellón y son mezclados y remezclados utilizando una motoconformadora hasta lograr una buena homogenización, inmediatamente después se tiende el material formando capas de 30 cms., de espesor en estado suelto y se procede a su compactación mediante dos pasadas de rodillo liso de 12.5 ton., de peso estático que ha dado resultados satisfactorios en cuanto a la compacidad relativa del 80 % necesaria por especificación.

Si después de la compactación se nota que existe segregación en el material se vuelve a mezclar la capa hasta lograr su homogenización deseada, antes de colocar la siguiente capa.

Transición.-

El control que se efectúa en la colocación de la transición es exactamente igual a la del filtro.

Material 4 (Respaldos) .-

Durante la colocación y el tendido de este material se supervisa que el espesor de capa seca sea de 50 cms., en estado suelto, el tendido se realiza con un tractor D8k, empujando los tamaños gruesos hacia la zona 5.

A continuación se procede a compactar la capa con 4 pasadas de rodillo liso vibratorio de 12.5 ton., de peso estático.

A cada 10 m., de espesor de enrocamiento compactado hasta la elevación 490 se realizó un riego con un volumen equivalente a 280 lts., de agua por cada M3 de material colocado, para prever asentamientos por saturación.

Material 5 (Protección contra lluvia).-

En esta zona se verifica que el tamaño del material sea entre 30 y 100 cms., que la colocación se realice en capas de 1.5 m., de espesor en estado suelto, a la vez que se va formando el talud colocando el material a volteo acomodado con trac-

tor D8k.

Material 6 (Protección contra oleaje) .-

El tamaño de este material será igual o mayor a un metro cúbico y será colocado a volteo acomodándolo con tractor en capas de 2 m., de espesor.

La colocación de este material se inicia en la elev. - 495.

V.5. Pruebas de Campo

Núcleo Impermeable.-

El material para núcleo impermeable tiene una plasticidad media en su fracción menor a la malla No. 40, $L_1 = 36 \%$ IP = 17 %, contiene 25 % de gravas hasta 3" de tamaño máximo 45% de arenas y 30% de finos.

Humedad a fuego directo y en horno antes de riego.-

El procedimiento para la obtención de estos contenidos de agua es el siguiente:

Una vez tendido el material en la plataforma del tratamiento en capas de 30 a 40 cms., de espesor, se realizan sondeos con posteadora de donde se extraen muestras integrales.

El muestreo se realiza hasta la profundidad de la capa que se desea muestrear, se identifica y se envía al laborato-

rio de campo, cada muestra es de aproximadamente 4 Kg.

Para una superficie de 60 x 60 m., se realizan de 6 a 8 sondeos.

A fuego directo .- Cada una de las muestras se tamiza por la malla No. 4 con la humedad natural y se homogeniza el material menor de la malla No. 4 para tener \pm 1 kg húmedo para su secado.

El secado queda listo en 20 min. y se verifica con el empañado de una cápsula de vidrio transparente; el resultado se presenta en decimales.

A horno .- De las muestras para fuego directo se toman de 2 a 3 para horno, eliminando a mano los tamaños mayores de 3/4" y se toma \pm 1 kg., de material para su secado que dura de 16 a 24 hrs., a 110° c.

El objetivo de esto es conocer la cantidad de agua que será necesario agregar al material. Para esto es necesario conocer; el contenido de agua óptimo, el contenido de agua especificado para el tratamiento y una correlación entre contenidos de agua a fuego directo y a horno, con el fin de ir actualizando dicha correlación entre ellos que generalmente ha resultado del 3 %.

Humedades después de riego a fuego directo y a horno.-

El objetivo de estas humedades es verificar el contenido de humedad de la capa que ha sido tratada ó si es necesaa-

rio corregir el exceso a falta de humedad en la misma.

El procedimiento es igual al mencionado en el punto anterior, dichas muestras se toman después de 6 hrs., de terminado el riego a efecto de que tome lugar la penetración total del agua en la capa en cuestión.

Humedades durante el envío a cortina .-

El objetivo de estas es preservar durante el envío del material el contenido de agua especificado.

El muestreo se realiza a mano, envasando en bolsas de polietileno el material habilitado del almacén cortado en rampa con tractor.

Por cada turno de 8 hrs., se obtienen 20 contenidos de humedad siguiendo el mismo procedimiento mencionado anteriormente.

Muestreo de capas en las plataformas de tratamiento .-

De cuatro sondeos con posteadora, antes del riego se toman dos muestras intercaladas por cada 1,500 m³ de material mandándolas al laboratorio donde se les realizan todos los ensayos como son: Granulometría, Compactación, Límites de consistencia y Densidad de Sólidos.

El conocer las características índice del material nos servirá de base para compararlas con las obtenidas en la colocación de la cortina; además de que se auxilia al laboratorio

de campo conociendo las características del material previamente a su envío.

El control de humedades puede llevarse en forma tabular como se muestra en la siguiente tabla (5.B).

TABLA 5.B

~~DETERMINACION DE CONTENIDO NATURAL DE AGUA EN %~~

MUESTRA No.	CAPSULA No.	Suelo Humeda + Cap.	Suelo Seco + Cap.	PESO CAPSULA	PESO AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO AGUA
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
		(1)	(2)	(3)	(4) = 1 - 2	(5) = 2 - 3	(6) = $\frac{4}{5} \times 100$

Peso Volumétrico "in situ" .-

La cala se realiza en la capa recién compactada por debajo de la huella del compactador, para ello se hince un marco cuadrado metálico biselado (ángulo de 3" x 1 1/2") de 30 x 30 cm., en una superficie con el acabado horizontal y se inicia la excavación hasta 20 cms., de profundidad (espesor de capa suelta) se va envasando el material y se pesa según vaya progresando la excavación.

Terminada la excavación se afinan las paredes y se cubre con polietileno de calibre delgado, el volúmen se mide con agua que se pesa con báscula en el mismo sitio.

Al término de la cala se cuenta con un peso volumétrico húmedo integral cuyo valor nos indica aproximadamente su rango de compactación.

Eficiencia de Compactación .-

Del producto de la cala se toman 8 kg. y se compactan de inmediato con el contenido de agua del terraplén, eliminando a mano las gravas mayores a $3/4"$, las cuales se reintegran al material producto de cala para su granulometría integral.

Para esto se sigue el mismo procedimiento que se describe en la prueba proctor, así como el equipo de compactación y herramienta.

El resultado es un peso volumétrico húmedo con la energía de la proctor corregida a $3/4"$ para compararlo con el peso volumétrico húmedo integral; se resta a este entre 20 y 30 kg/m³ que es un promedio de la corrección por gravas.

Para una eficiencia de compactación menor que el 96% se estima que no fué aplicada en su totalidad la energía de compactación de campo, lo que se notifica a la supervisión de cortina para que sea recompactada la capa de la que se extrajo la muestra. Todo esto está apoyado en los resultados de los terraplenes de prueba los cuales admiten un mínimo --

del 97 % de eficiencia de compactación con lo cual se puede casi asegurar de obtener el 95 % del grado de compactación - que es el especificado.

Prueba de Permeabilidad Matsuo - Akai .-

El procedimiento de esta prueba es como sigue : Se hace una zanja de 1.0 x 0.5 x 0.5 M., se afina el fondo y las paredes y se llena de agua hasta el ras.

Después de 12 a 15 hrs., se toman lecturas con un flexómetro, para conocer el tirante de agua que se infiltró y - se registra en centímetros.

El cálculo se realiza con la fórmula:

$$K = \frac{Q}{100 (B + 2H)}$$

Donde : 100 = Longitud en cms.

B = Ancho en cms.

H = Tirante en cms.

Q = Gasto en cm³/seg.

K = Permeabilidad en cm/seg.

Filtro .-

El producto de la planta clasificadora sale separado en graves y arenas que son dosificados en una plataforma de tra-

tamiento de tal manera que se forme un almacén con 75 % de gravas y 25 % de arenas.

Peso Volumétrico "in situ" .-

Un anillo metálico de 75 cms., de diámetro es el que se utiliza para delinear el área de la cala, la excavación se inicia al centro y se va dejando un talud para evitar a-- solvamiento, la profundidad de esta cala es de 40 cms. El material producto de cala en peso es entre 150 y 160 kg., se envía envasado en costales al laboratorio, para realizarle -- los diferentes ensayos.

Para la medición del volúmen de la cala se utiliza gran zón (grava entre 3/4" y 3/8") previamente calibrado, que se va dejando caer en el hueco para formar un cono que después se enrasa al nivel inferior del anillo. Se registra el peso del granzón sobrante y se calcula el volúmen.

Relación Grava - Arena .-

Se efectúa el muestreo en capas recién colocadas de unos 50 kg a 40 cms., de profundidad, se cuarteán en el mismo sitio de colocación, se toman de 15 a 20 kg., húmedos y se tamizan por la malla No. 4. Se pesan los retenidos y lo que pasa la malla No. 4 (arenas) se corrige por humedad (se estima un 3 %) obteniendo así la relación grava - arena en el sitio.

Pérdida por lavado (obtención de finos) .-

El muestreo puede ser en cortina o en el tratamiento se

cuarteas para conseguir unos 15 kg., secándose a fuego directo, se registra el peso seco y se lava en la malla No. 200, cuando el agua utilizada para el lavado ya está clara, se vuelve a secar a fuego directo. La diferencia de pesos es el contenido de finos en peso.

Prueba de Permeabilidad Matzuo - Akai .-

Se realiza en excavación de 1.0 x 0.5 x 0.5 M., dicha excavación se llena con agua hasta 10 cms., antes del hombro de la zanja y a partir de ahí se mantiene el nivel de agua durante 30 min., medidos con cronómetro y se registra el volumen de agua necesaria en este período para mantener el nivel del agua.

$$K = \frac{Q/t}{100 (B + 2H)}$$

Donde: 100 = Longitud en cms.

B = Ancho en cms.

H = Tirante de agua que se mantiene en cms.

Q/t = Volúmen en cm³/seg.

K = Permeabilidad en cm/seg.

Transición .-

Este material es producto de voladuras en cantera de -

arenisca color gris, el tamaño máximo especificado en este material es de 5".

Peso Volumétrico "in situ" .-

Para la obtención de este, se sigue el mismo procedimiento descrito para el filtro.

Prueba de Permeabilidad Matzuo - Akai .-

De acuerdo con intentos realizados, este material requiere de un gasto mayor a 20 lts/seg., en zanjas de 2 x 2 x 1 M., puesto que no se ha logrado formar un tirante de agua debido a su alta permeabilidad.

Enrocamiento Compactado .-

El banco es de un macizo de arenisca con intercalación de lutita, se ataca en banqueos de 10 m., de altura y se especifica como tamaño máximo 30 cms.

Peso Volumétrico "in situ" .-

Las calas se realizan en tamaños de 4 M3 y 1.5 M3, el primero con ayuda de una retroexcavadora con dimensiones de caja de 2 x 2 x 1 y el segundo de 1.5 m., de diámetro por 60 cms. de profundidad, en los dos casos se utiliza agua para medir el volumen de la cala, recubierta la excavación con polietileno. Cuando la cala es de 4 M3 se lleva una pipa que se pesa antes y después del llenado.

Prueba de permeabilidad Matzuo - Akai

Para la realización de esta prueba se aprovecha el riego del enrocamiento con un gasto de 26 lts/seg., en zanjas -- esta de 1.4 m., de profundidad.

Se realiza una zanja de 2 x 2 x 1.4 m y se sigue el mismo procedimiento descrito para la zona del filtro.

SEPARACION DE MATERIALES PARA SUS ENSAYES

1).- Procedente del Tratamiento.-

Si el material proviene del tratamiento se encuentra relativamente seco, por lo cual se mezcla de inmediato y se cuartea para los diferentes ensayos que se le harán.

2).- Procedente de la Cortina.-

Si el material proviene de la cortina se encontrará húmedo por lo cual dependiendo del tipo de material se tiende para su secado a la intemperie o a estufa para determinar sus ensayos.

ARCILLA.-

Si proviene del tratamiento, se mezcla y se cuartea para tomar \pm 4 kg., para granulometría, \pm 45 kg., para la prueba -- doctor, \pm 2 kg., para la densidad de sólidos, \pm 1 kg., de material menor de la malla No. 4 para límites de consistencia; -- granulometría es integral hasta 3" de tamaño máximo.

El muestreo en cortina llega al laboratorio separado en 9 kg., producto de cala para un punto de la proctor al contenido de agua de terraplén, \pm 40 kg., de material adyacente a la cala para los cuatro puntos restantes de la proctor.

FILTRO.-

Si el material proviene de la cortina, los 150 kg., producto de la cala que llegan al laboratorio se mezclan, reduciéndolo en cuarteos hasta obtener \pm 10 kg., para granulometría por vía húmeda, que se aprovecha para conocer el contenido de agua a fuego directo; \pm 3 kg., para densidades, \pm 1 kg. para límites menores que la malla No. 200 y el resto para los pesos volumétricos máximos y mínimos.

TRANSICION.-

Tal como llega de la cortina el material producto de cala, se criba por las mallas de 3" y 1 1/2", lo que logra pasar la malla 1 1/2" se cuarteo para tomar una muestra de 15 kg., para granulometría hasta la malla No. 200, también se separa material suficiente para densidades y límites menor que la malla No. 200.

ENROSCAMIENTO COMPACTADO.-

Llegada la muestra al laboratorio se separan a mano los tamaños mayores de 6" para realizar la granulometría, posteriormente se tamiza en cribas de 3" y 1 1/2" pesando todos los retenidos; lo que pasa la malla de 1 1/2", se mezcla y cuarteo para tomar 15 kg., para realizarle granulometría por vía húmeda hasta la malla No. 200.

De este material también se aparta suficiente para densidades y para límites de consistencia menor que la malla 200.

V.6 Pruebas de Laboratorio

Determinación del Límite Líquido .

- 1).- El material se tamiza por la malla # 40 con agua y se deja reposar para eliminar el agua libre para posteriormente transferirlo a un vidrio para remoldearlo con espátula de abanico; luego se guarda en un recipiente cerrado de plástico durante 24 hrs., después de este tiempo se inicia la prueba.
- 2).- Se deposita la muestra en una cápsula y se remoldea con espátula hasta homogenizarla.
- 3).- Se deposita en la copa de casagrande hasta el enrase, - aproximadamente entre 60 y 80 gr., de material.
- 4).- Del centro de la muestra y de atrás hacia adelante se desliza el ranurador plano, en una longitud mínima de - 4 cms.
- 5).- Si el material es limoso o contiene cierta cantidad de arena se recomienda se utilice un ranurador curvo metálico.
- 6).- Antes de ejecutar los golpes, se revisa que la copa y - la base se encuentren limpias y secas.

- 7).- Se hace girar la manija con una velocidad de 2 golpes por segundo parándose instantáneamente al observar que longitudinalmente se ha unido la ranura aproximadamente 1 cm.
- 8).- Con el mismo contenido de humedad que posee el material se procede a realizar un nuevo ensaye, para tener un valor representativo de 2 ensayes simultáneos, la diferencia mínima entre el número de golpes respectivos debe ser uno, anotandose el primer valor en el registro, de no cumplirse se repite el procedimiento descrito hasta lograrlo.
- 9).- Se toman aproximadamente 10 gr., de la muestra, se deposita en vidrio de reloj y se pesa para determinar su contenido de humedad.
- 10).- Se repiten los pasos anteriores, disminuyendo o aumentando la humedad hasta obtener cuatro valores comprendidos entre 8 y 40 golpes.
- 11).- Con los valores obtenidos del número de golpes y contenido de humedad se traza la curva de fluidez en un rayado semilogarítmico.

El límite líquido queda definido por la ordenada que intersecta la abscisa de 25 golpes con la curva de fluidez del suelo analizado.

El control se puede llevar de la siguiente manera: Tabla 5.C.

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

Esta prueba puede hacerse simultáneamente que el límite líquido ya que la preparación del material se efectúa de manera similar.

- Se toma el material suficiente para formar un cubo de 1 cm., por lado si la humedad del material es excesiva es necesario reducirla ya sea con papel secante o a la intemperie.
- Se forma una esfera y se rola con la palma de la mano sobre una placa de vidrio liso hasta adoptar la forma de un cilindro de aproximadamente 3.2 mm., de diámetro y 13 cms., de largo (se compara con un alambre de 1/8" \varnothing).
- Si se observa que el material se agrieta y queda separado en tramos de \pm 1 ó 2 cms., de largo, se dice que el material en ese instante ha llegado a su límite plástico, se pesa el suelo húmedo y se mete al horno para posteriormente (18 hrs.) obtener su contenido de humedad.

DETERMINACION DEL INDICE DE PLASTICIDAD.

Con los valores obtenidos del límite plástico y del límite líquido se determina el índice plástico con la expresión:

$$I_p = LL - LP$$

Con estos valores entramos a la carta de plasticidad pa

C	M	S	G	pt	M.O.	COLOR	CRIPA de 40	OBSERVACIONES

SIMBOLOGIA

CLASIFICACION

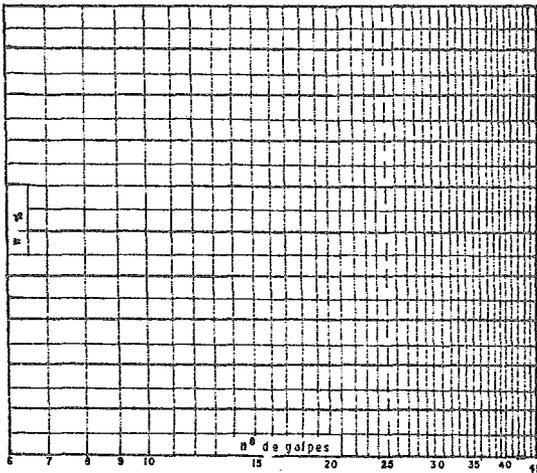
C	Arcilla
M	Limo
B	Arena
G	Grava
Pt	Turba
M.O.	Materia orgánica

COLOR

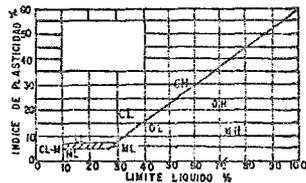
C	cafe'
G	gris
N	negro
R	rojizo
B	blonquizzo
V	verdoso
A	amarillento

Vidrio no	P e s o G r a m o s					W %	No. golpes
	Vidrio	Vidrio + suelo húmedo	Vidrio + suelo seco	agua	suelo seco		
	1	2	3	4=2-3	5=3 1	$5 = \frac{4}{5} \times 100$	

LL
límite líquido
LP
límite plástico



W =	%
LL =	%
LP =	%
lp =	%



U.N.A.M.
ENER ACATLAN
TABLA 5C

ra clasificar el suelo estudiado.

DETERMINACION DE LA DENSIDAD MENOR MALLA No. 4

- 1).- Se determina el peso del matraz perfectamente limpio - (previamente calibrado).
- 2).- De la muestra traída del campo se toma una porción representativa, se seca a la intemperie o en horno durante 24 hrs., a 110°C ., después se criba por la malla -- No. 40 y aproximadamente se pesan de 60 a 100 gr., de material.
- 3).- Mediante un embudo se deposita el material en el matraz y se pesa.
- 4).- La diferencia del punto 1 y 3 nos da el peso del material sólido y el valor obtenido se registra (W_s).
- 5).- Se le agrega al matraz aproximadamente de 150 a 300 cm^3 de agua destilada, procurando que las partículas que hayan quedado adheridas al cuello sean depositadas en la suspensión.
- 6).- El aire retenido queda eliminado con una bomba de vacíos, logrando con esto trabajar a temperaturas menores (el desaerado se realiza durante un tiempo de 15 a 20 - min.)
- 7).- Se enrasa el matraz hasta su marca de aforo con agua -- destilada mediante la ayuda de una pipeta o gotero.

- Se seca con papel absorbente el interior del cuello del matraz hasta la superficie del agua procurando no tocarla.
- Se pesa el matraz aforado con sólidos y se registra - (Wmwfs).
- Tomamos 3 temperaturas, parte inferior media y superior la temperatura final será el promedio de las tres.
- Con la temperatura promedio se localiza en la curva de calibración del matraz su correspondiente peso aforado sin sólidos y se registra. (Wmwf).
- Con los valores obtenidos se calcula la densidad de sólidos con la siguiente expresión:

$$Ss = \frac{Ws}{Ws + Wmwf - Wmwfs}$$

DETERMINACION DE LA DENSIDAD MAYOR MALLA No. 4

- El ensaye se realiza al material producto de la granulometría que pasa la malla 3/4" y retiene la malla No. 4 - aproximadamente 300 gr.
- Se deposita el material en un recipiente con agua durante un tiempo de 18 a 24 hrs.

- 3).- Al término de la saturación, se seca el material superficialmente con una tela y se toma este peso.
- 4).- En una probeta con capacidad de 1000 ml., se vierten de 400 a 600 ml., de agua.
- 5).- Se introduce el material en una probeta y se lee su lectura correspondiente.
- 6).- La diferencia de los puntos 4 y 5 determinan el volumen de las gravas saturadas.
- 7).- El material en estudio se deposita en un recipiente y se mete al horno durante un tiempo de 18 a 24 hrs., a 110° C.
- 8).- Después del tiempo fijado se determina el peso seco del material en cuestión.
- 9).- En el caso de que el volumen de la probeta sea insuficiente se utiliza un pignómetro (vaso de fierro inoxidable de 1 lt.)
- 10).- Se nivela con agua al equilibrio del sifón.
- 11).- Se obstruye la salida del sifón mientras se coloca el material (pesado previamente en seco y luego parcialmente seco) dentro del pignómetro.
- 12).- Se deja salir el agua tomándola en una charola.

- El volúmen de agua desalojado se pesa y este peso nos representa el volúmen de sólidos.
- Este volúmen se resta al contenido de agua de la muestra y se obtiene el volúmen de sólidos corregido.

La densidad se determina mediante la expresión:

$$S_s = \frac{\text{Peso del material seco}}{\text{Volúmen desalojado} - \text{Volúmen de absorción}}$$

DETERMINACION DE LA PRUEBA PROCTOR

- Esta prueba se realiza en material menor a 3/4" de una -- muestra de \pm 40 kg., secado a la intemperie; se mezclan y se cuartea para tomar 8 kg., para cada punto de la proc-- tor.
- El material de cada punto se humedece midiendo la canti-- dad de agua que debe llevar en una probeta de 1000 ml.
- Después de agregarle el agua se remueve el material con - espátula de abanico o solera de fierro en una charola pa-- ra homogenizarlo.
- La diferencia entre contenidos de agua de cada punto es - de 1 y 1.5 %.

- .- Como el material es homogéneo es conocido el contenido de agua óptimo (varia entre $\pm 2\%$) y el humedecimiento siempre se inicia con un 8 ó 9 % de contenido de agua.
- .- El material saturado (humedecido) se deja reposar 24 - hrs., en bolsas de polietileno, al término de las cuales se realiza la compactación en compactador mecánico o manualmente.
- .- Se utiliza energía de 7 kg. - cm. /cm³., molde de 6" - (15.2 cms) de diámetro, pisón de 3" (7.6 cms.) de diámetro, altura de molde 7" (17.8 cm), peso del martillo más peso del pisón 3.401 kg., altura de caída 45.6 cm. 5 capas y 32 golpes por capa.
- .- Se agrega al cilindro la primer capa de material aproximadamente 3 cm. y se compacta aplicando 32 golpes -- con el martillo repartidos en toda la superficie.
- .- En idéntica forma se procede con las cuatro capas siguientes, procurando que la quinta capa compactada se encuentre 1 ó 2 cms., arriba de la parte superior del cilindro.
-).- Al terminar la compactación de las cinco capas se recoge el perímetro interior con el objeto de despegar en parte el material y quitandose la extensión se enrasa la muestra al nivel superior del cilindro.

- 11).- Se limpia exteriormente el cilindro determinando su peso con la muestra compactada.
- 12).- A continuación con un extractor se quita la placa base y se extrae la muestra del cilindro y se toma una muestra integral de ± 1 Kg., para el contenido de agua.
- 13).- Se pesa la muestra para la humedad y al término de la compactación de los puntos se procede al secado en horno durante 18 a 24 hrs., a 110° C.
- 14).- De esta manera se obtienen los datos para trazar los puntos en la gráfica de compactación (contenido de humedad Vs peso volumétrico seco).
- 15).- Con los valores obtenidos (W y V_d) se dibuja la curva de compactación proctor localizandose en la misma el peso volumétrico seco máximo correspondiente a una humedad óptima.

La forma de llevar el control de esta prueba es la siguiente Tabla 5.D.

Volumen molde: _____ o _____ cm.
 Peso del martillo: _____ o _____ kg
 No. de capas: _____
 Área molde: _____ o _____ kg
 Diámetro del martillo: _____ o _____ cm
 Energía de compactación: _____ kg-cm/cm³
 Altura de caída: _____ o _____ cm
 No. de golpes /capa: _____

Cápsula No.	CONTENIDO DE AGUA						DATOS MOLDE			
	Tara cápsula (3)	Peso suelo húmedo + cápsula (4)	Peso suelo seco + cápsula (5)	Peso agua (6)	Peso suelo seco (7)	Contenido de agua (8)	Peso suelo húmedo + molde (9)	Peso suelo húmedo (10)	Peso suelo seco (11)	Peso volumétrico seco (12)
	gr.	gr.	gr.	(4)-(5)	(6)-(5)	$\frac{(6)}{(7)} \cdot 100$ %	kg.	kg.	$\frac{(10)}{1+(9)/100}$ kg.	$\frac{(11)}{(1)}$ kg/lt.

Peso Volumétrico seco óptimo (V_o) = _____ kg/lt.
 Contenido de agua óptimo (W_o) = _____ %
 Densidad de sólidos suelo < malia 4 (S_s): _____
 Relación de vacíos para - $V_o(e_o) = \frac{S_s}{V_o} - 1$: _____
 Grado de saturación para $V_o, (G_o)$
 $G_o = \frac{W_o S_s}{e_o} \cdot 100$: _____ %
 Observaciones: _____

Contenido de agua en % (w)

U.N.A.M.
ENER ACATLAN
TABLA 5-D

DETERMINACION DE LA GRANULOMETRIA

- 1).- Durante la preparación de la muestra para el ensaye el material debe estar seco y disgregado.
- 2).- El material ya seco, se satura con el objeto de eliminar las partículas finas.
- 3).- El material que ha quedado en suspensión se vierte en la malla No. 200 logrando con ello ir separando las -- partículas gruesas de los finos, el material retenido se somete a un nuevo lavado, repitiendo cuantas veces sea necesario hasta observar que el agua sea clara.
- 4).- Los retenidos se proceden a tamizarlos con agua por -- las mallas 3/4", 3/8", No.4, 10, 20, 40, 60, 100 y 200 arriba de 3/4" sólo se utiliza la de 1 1/2".
- 5).- Tanto los finos como los retenidos se secan a horno durante 24 hrs. a 110°C.

La forma de llevar el control de esta prueba es la siguiente: además se presentan en gráficas, las cuales nos indican la distribución de los tamaños que componen los diferentes materiales. (Tabla 5.É).

Malla	Abertura m m	Peso Saco Ret Kg.	% Parcial Retenido	Pasa %
9"	228			
6"	152			
3"	76			
1 1/2"	38			
S U M A				
Paso 1 1/2				
Peso Seco Total				

Estudio _____
Material _____ Muestra No. _____
Procedencia del material _____
Muestreo fecha _____
OBSERVACIONES _____
Operador _____ Fecha Ensaye _____

Malla	Abertura mm	P. Seco Ret. + Charola	Charola Nº	Charola Peso, Kg.	Peso Seco Ret. Kg.	Ret. Parcial %	Pasa %
2"	51						
1 1/2"	38						
3/4"	19						
3/8"	10						
4	5						
Pasa 4	5						
Peso Seco Total							

Via _____

> 3" _____

< 1 1/2" _____

Gravas _____

Arenas _____

Finos _____

Tam. Máx _____

9	2:000						
20	0:840						
40	0:420						
60	0:250						
100	0:149						
200	0:074						
Pasa 200	0:074						
Peso Seco Total							

Via _____

U.N.A.M.
ENER ACATLAN

TABLA 5E

CORRECCION DE GRAVAS EN EL PESO VOLUMETRICO "IN SITU"

Como la prueba próctor se efectua hasta tamaño máximo de $3/4"$ es necesario corregir el peso volumétrico "in situ" a este tamaño.

Una vez seco a la intemperie y disgregado el material a mano, se tamiza por $3/4"$, se pone en una charola y se lava el material para eliminar finos adheridos y se seca en horno durante 24 hrs., a 110° C.

Ya seco el material se pesa y el resultado se divide entre una densidad de sólidos promedio obteniendose así la corrección.

PESOS VOLUMETRICOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS

Estas pruebas se realizan en los materiales de filtro / transición.

Determinación del Peso Volumétrico Máximo.-

El material mezclado en el laboratorio se vierte en un recipiente cilíndrico de volúmen y peso conocido, se llena en 3 capas y se vibra cada una de ellas con un vibrador eléctrico, penetrando este 30 veces por capa, cuando el recipiente se encuentra lleno se enrasa y después se pesa. El peso volumétrico se obtiene de la siguiente forma :

$$\gamma_{\max} = \frac{WRM - WR}{VR}$$

En donde:

WRM = Peso del recipiente más material

WR = Peso del recipiente

VR = Volúmen del recipiente.

Determinación del Peso Volumétrico Mínimo .-

En el mismo recipiente que se utiliza para determinar el peso volumétrico máximo se realiza esta prueba. El material se coloca cuidadosamente hasta llenarlo y se enrasa, se pesa y se obtiene el peso volumétrico mínimo (γ_{\min}) a partir de la expresión anterior.

Con los pesos volumétricos obtenidos se puede calcular la Compacidad Relativa (CR) con la expresión:

$$CR = \frac{\gamma_{\text{nat}} - \gamma'_{\min}}{\gamma_{\max} - \gamma'_{\min}} \times 100$$

Donde: γ_{nat} = Peso Volumétrico del material colocado en cortina.

CAPITULO VI

CONTROL ESTADISTICO

¿ Por que se tiene necesidad de estadística ?

Porque la estadística es un instrumento de síntesis, nos permite un análisis histórico detallado, nos facilita la investigación de las causas y nos permite ser comprendidos fácilmente.

La estadística es un instrumento de análisis, porque permite obtener detalles que con frecuencia se deprecian. -- sí podemos decir que se tiene necesidad de estadística cuando se quiere saber preveer, ejecutar y controlar; estos diversos conceptos están por supuesto perfectamente ligados -- nos a otros, es necesario saber para preveer y cuando se -- ejecuta es indispensable controlar.

Hay diferentes medios para utilizar la estadística; agrupaciones sintéticas, coeficientes o razones, índices, tablas estadísticas, series cronológicas, gráficas.

La estadística debe suministrar el máximo de datos úti es con el mínimo de esfuerzo, la máxima claridad para que -- uedan comprenderse en el mínimo de tiempo.

Es evidente que se deben establecer normas de control metas por conseguir, para las distintas obras, diversas en

sus características, riesgos e importancia por lo que la estadística no debe ser numerosa, es necesario elegir entre todas las posibles, aquellas que son verdaderamente útiles, -- nos atreveríamos casi a decir indispensables. La forma de su presentación es de tanta importancia como su contenido, -- el gráfico es con frecuencia el medio ideal de expresión.

Dos ideas creemos son particularmente capaces de orientar la elección de estadística, la primera es que deben permitir puntualizar y la segunda es que deben orientar la acción; sería aquí donde nos podríamos plantear la situación -- de ver donde estamos pero veamos donde nos deberíamos encontrar.

1 Métodos estadísticos de control de calidad.

Existen dos métodos fundamentales :

- 1.- Métodos basados en el uso de gráficas del control
- 2.- Métodos basados en estimación estadística.

En este tema solo veremos el primer método basado en uso de gráficas, ya que es el que utilizamos en el proyec

METODO BASADO EN EL USO DE GRAFICAS DE CONTROL .-

Este método consiste en graficar los resultados de las pruebas obtenidas, que determinan los límites de control, es los límites se fijan mediante las leyes de la estadística -- aunque es muy común que dichos límites se fijen arbitraria o experimentalmente, pero el hacerlo así, el proceso de control ja de ser un proceso realmente estadístico.

Los límites de control pueden calcularse con base en diferentes parámetros los cuales se determinan estadísticamen, así tenemos :

- A).- Con base en el promedio de las amplitudes

Las fórmulas empleadas son :

$$LS = \bar{x} + A_2 R$$

$$LI = \bar{x} + A_2 R$$

Donde :

R = (Amplitud) diferencia entre el valor más alto y el más bajo.

LS = Límite superior

LI = Límite inferior

R = Promedio de las amplitudes que se tengan en cada muestra.

\bar{x} = Promedio de las medidas de las muestras analizadas.

A₂ = Coeficiente que se puede calcular en la tabla 6.A.

TABLA No 6 A

Factores para determinar los límites de control a partir de R para gráficas \bar{x} y \bar{R}

Número de observaciones en el subgrupo	Factor para la gráfica \bar{x}	Límite inferior de control	Límite superior de control
n	A_2	D_3	D_4
2	1.88	0	3.27
3	1.02	0	2.57
4	0.73	0	2.28
5	0.58	0	2.11
6	0.48	0	2.00
7	0.42	0.03	1.92
8	0.37	0.14	1.86
9	0.34	0.18	1.82
10	0.31	0.22	1.78
11	0.29	0.26	1.74
12	0.27	0.28	1.72
13	0.25	0.31	1.69
14	0.24	0.33	1.67
15	0.22	0.35	1.65
16	0.21	0.36	1.64
17	0.20	0.36	1.62
18	0.19	0.39	1.61
19	0.19	0.40	1.60
20	0.18	0.41	1.59

B).- Con base en el promedio de desviaciones estándar.

Para este método se proponen las siguientes fórmulas:

$$LS = \bar{x} + A_1 \bar{v}$$

$$LI = \bar{x} - A_1 \bar{v}$$

Donde:

\bar{v} = Promedio de las desviaciones estándar de las muestras que se manejan.

A_1 = Factor que puede obtenerse de la table 6.8 las demás variables tienen el significado visto con anterioridad.

Factores para determinar los límites de control para gráficas de \bar{x} y σ a partir de $\bar{\sigma}$

Factores para la gráfica σ

Número de observaciones en el subgrupo	Factor para la gráfica \bar{x}	Límite inferior de control	Límite superior de control
n	A ₁	B ₃	B ₄
2	3.76	0	3.27
3	2.39	0	2.57
4	1.88	0	2.27
5	1.60	0	2.09
6	1.41	0.03	1.97
7	1.28	0.12	1.88
8	1.17	0.19	1.81
9	1.09	0.24	1.76
10	1.03	0.28	1.72
11	0.97	0.32	1.68
12	0.93	0.35	1.65
13	0.88	0.38	1.62
14	0.85	0.41	1.59
15	0.82	0.43	1.57
16	0.79	0.45	1.55
17	0.76	0.47	1.53
18	0.74	0.48	1.52
19	0.72	0.50	1.50
20	0.70	0.51	1.49
21	0.68	0.52	1.48
22	0.66	0.53	1.47
23	0.65	0.54	1.46
24	0.63	0.55	1.45
25	0.62	0.56	1.44
30	0.56	0.60	1.40
35	0.52	0.63	1.37
40	0.48	0.66	1.34
45	0.45	0.68	1.32
50	0.43	0.70	1.30
55	0.41	0.71	1.29
60	0.39	0.72	1.28
65	0.38	0.73	1.27
70	0.36	0.74	1.26
75	0.35	0.75	1.25
80	0.34	0.76	1.24
85	0.33	0.77	1.23
90	0.32	0.77	1.23
95	0.31	0.78	1.22
100	0.30	0.79	1.21

C).- Con base en la media (\bar{x}') y la desviación estándar ($\sqrt{v'}$) del universo original.

Las fórmulas para este caso son :

$$LS = \bar{x}' + A\sqrt{v'}$$

$$LI = \bar{x}' - A\sqrt{v'}$$

La aplicación de estas fórmulas implica calcular (\bar{x}) y (\sqrt{v}), pero sabemos que si la curva de distribución de datos del tipo normal o gaussiana.

$$\bar{x} = \bar{x}' \quad \text{y si } n > 30$$

$$\sqrt{v} = \sqrt{v' / n}$$

El coeficiente (A) se puede obtener de la tabla -

C.

TABLA No.6 C

Factores para determinar límites de control de 3σ
para gráficas \bar{X} , R y \bar{S} a partir de \bar{S}

Numero de observaciones en el subgrupo	Factor para la gráfica \bar{X}	Límite Inferior de control	Límite superior de control	Límite inferior de control	Límite Superior de control
n	A	D ₁	D ₂	B ₁	B ₂
2	2.12	0	3.69	0	1.84
3	1.73	0	4.36	0	1.86
4	1.50	0	4.70	0	1.81
5	1.34	0	4.92	0	1.76
6	1.22	0	5.08	0.03	1.71
7	1.13	0.20	5.20	0.10	1.67
8	1.06	0.39	5.31	0.17	1.64
9	1.00	0.55	5.39	0.22	1.61
10	0.95	0.69	5.47	0.26	1.58
11	0.90	0.81	5.53	0.30	1.56
12	0.87	0.92	5.59	0.33	1.54
13	0.83	1.03	5.65	0.36	1.52
14	0.80	1.12	5.69	0.38	1.51
15	0.77	1.21	5.74	0.41	1.49
16	0.75	1.28	5.78	0.43	1.48
17	0.73	1.36	5.82	0.44	1.47
18	0.71	1.43	5.85	0.46	1.45
19	0.69	1.49	5.89	0.48	1.44
20	0.67	1.55	5.92	0.49	1.43
21	0.65			0.50	1.42
22	0.64			0.52	1.41
23	0.63			0.53	1.41
24	0.61			0.54	1.40
25	0.60			0.55	1.39
30	0.55			0.59	1.36
35	0.51			0.62	1.33
40	0.47			0.65	1.31
45	0.45			0.67	1.30
50	0.42			0.68	1.28
55	0.40			0.70	1.27
60	0.39			0.71	1.26
65	0.37			0.72	1.25
70	0.36			0.74	1.24
75	0.35			0.75	1.23
80	0.34			0.75	1.23
85	0.33			0.76	1.22
90	0.32			0.77	1.22
95	0.31			0.77	1.21
100	0.30			0.78	1.20

GRAFICAS DE CONTROL DE AMPLITUD

En este caso los límites de control quedan dados por las expresiones.

$$LS = D_4 \bar{R}$$

$$LI = D_3 \bar{R}$$

Los valores de los factores D_3 y D_4 pueden obtenerse de la tabla No. 6 A.

GRAFICAS DE CONTROL DE DESVIACIONES ESTANDAR.

Los límites de control para estas gráficas se dan por las expresiones :

$$LS = B_4 \bar{\sigma}$$

$$LI = B_3 \bar{\sigma}$$

Donde: $\bar{\sigma} = \sum \bar{r}/N$

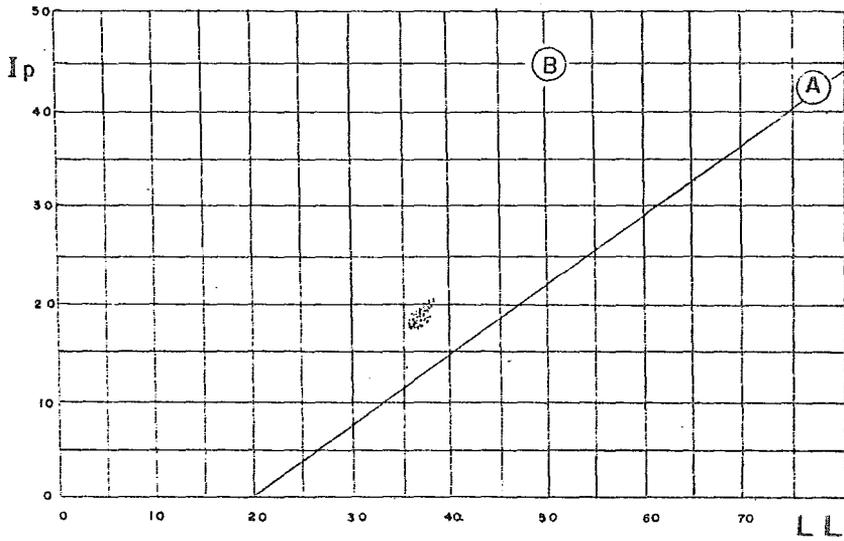
Los factores B_3 y B_4 salen de la tabla No. 6 B.

Los valores que quedan dentro de los límites de control obtenidos de la manera que se indica para cada caso, corresponderán a variaciones inevitables inherentes al proceso que se está efectuando, si estas variaciones exceden los límites

de tolerancia impuestos, estos no son realistas, deben ser -
cambiados, o el proceso debe ajustarse o substituirse por --
otro.

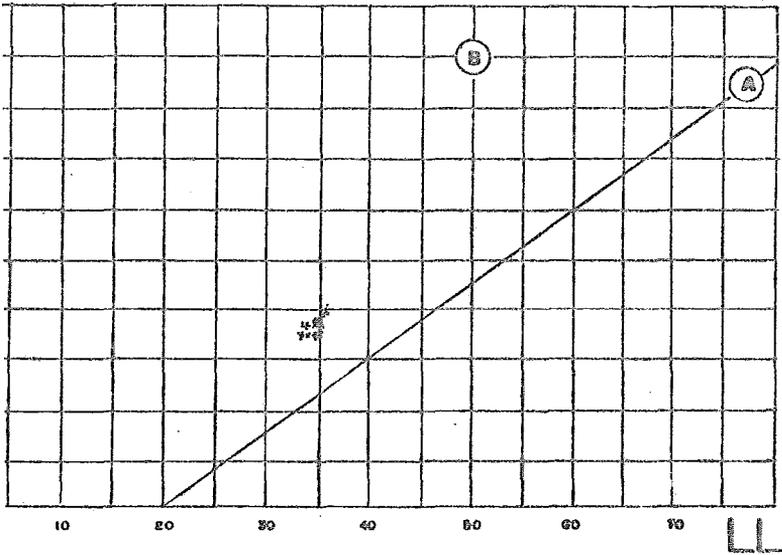
VI.2 Control estadístico gráfico de los resultados de pruebas de laboratorio.

PLASTICIDAD EN LA FRACCION MENOR MALLA No. 40
ZONA HUMEDA BANCO SAN MARCOS



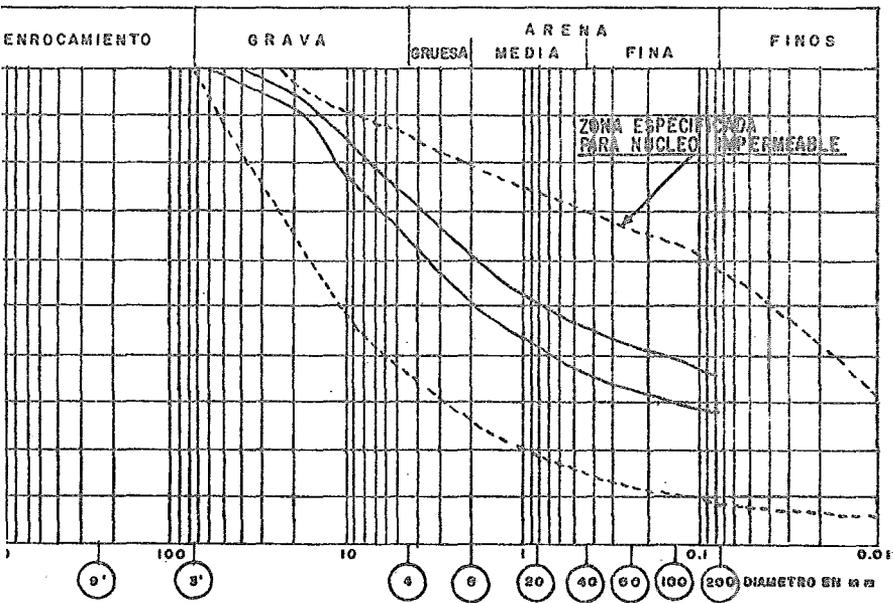
U.N.A.M.
ENER ACATLAN

ICIDAD EN LA FRACCION MENOR MALLA No 40
NORMAL BANCO EL REMOLINO



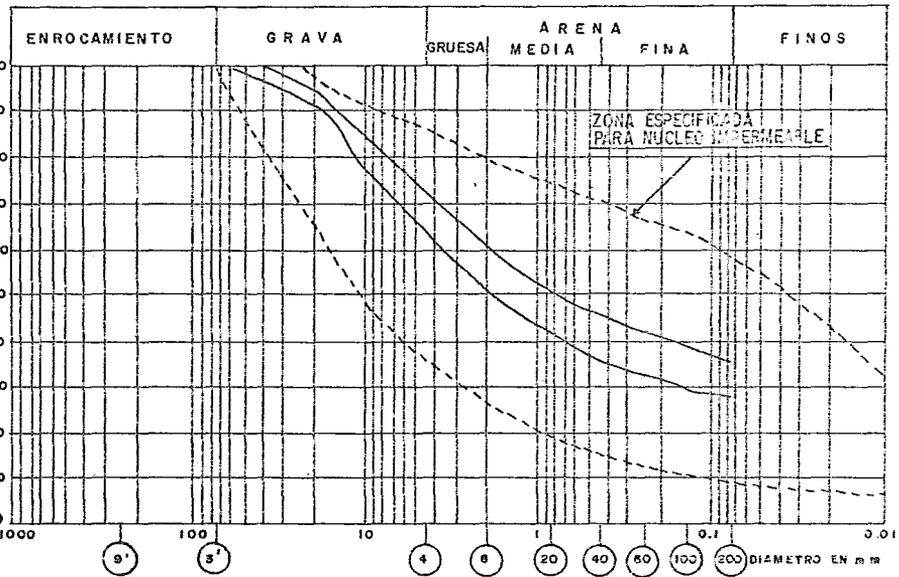
U.N.A.M.
ENER ACATLAN

CURVAS GRANULOMETRICAS OBTENIDAS DEL NUCLEO IMPERMEABLE
 HUMEDA DEL BANCO SAN MARCOS



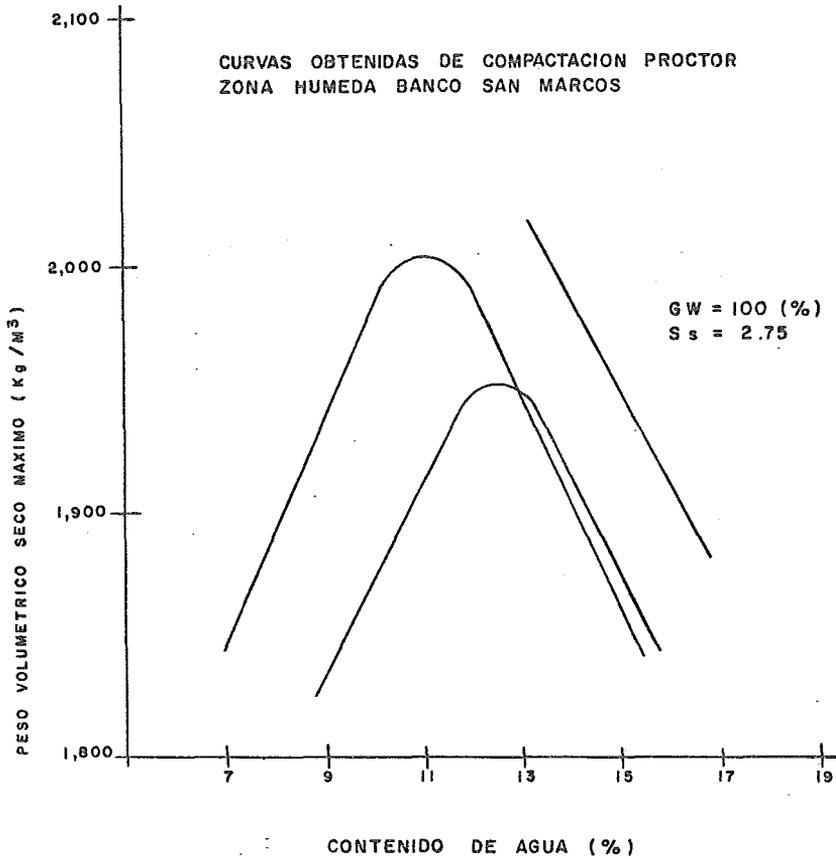
U.N.A.M.
 ENER. ACATLAN

**CURVAS GRANULOMETRICAS OBTENIDAS DEL NUCLEO IMPERMEABLE
ZONA NORMAL BANCO "EL REMOLINO"**

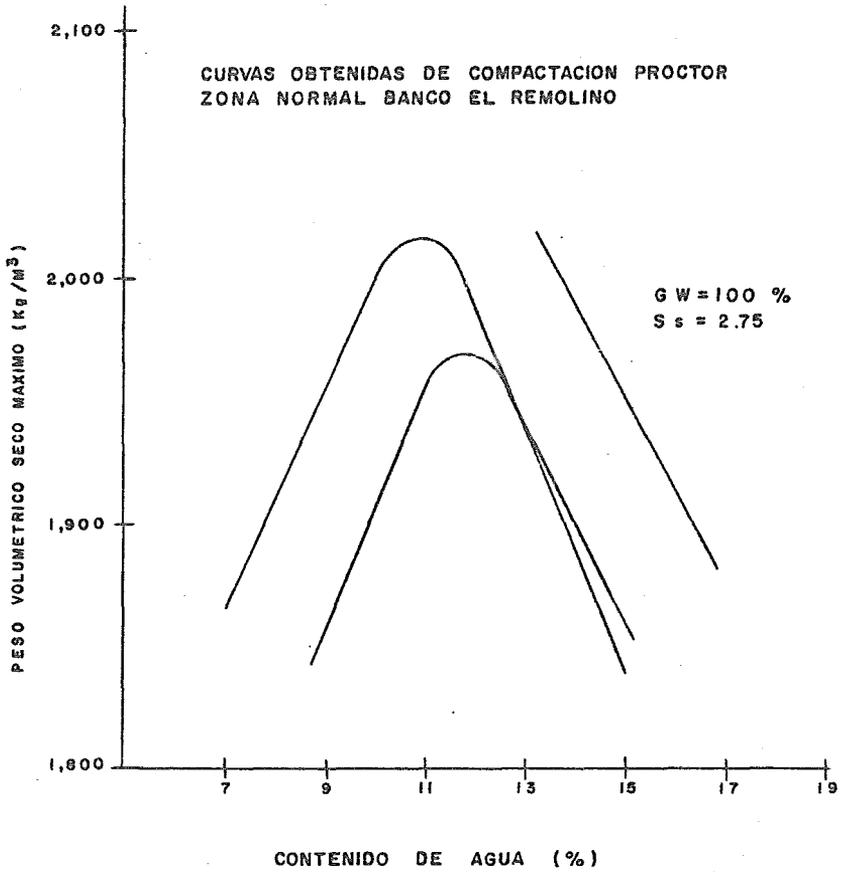


**U.N.A.M.
ENER ACATLAN**

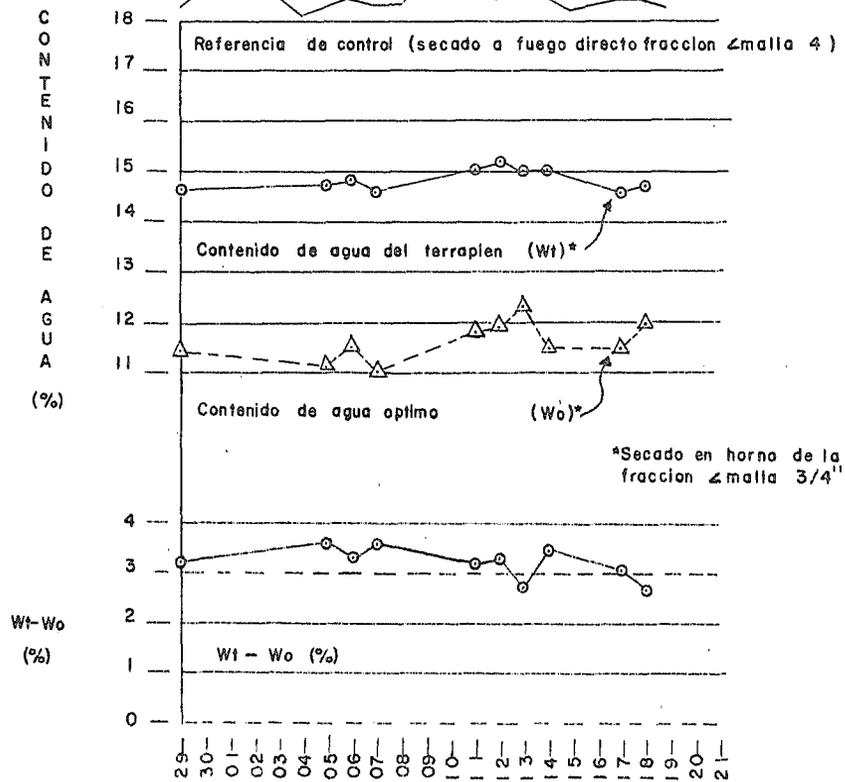
CURVAS OBTENIDAS DE COMPACTACION PROCTOR
ZONA HUMEDA BANCO SAN MARCOS



U.N.A.M.
ENER ACATLAN

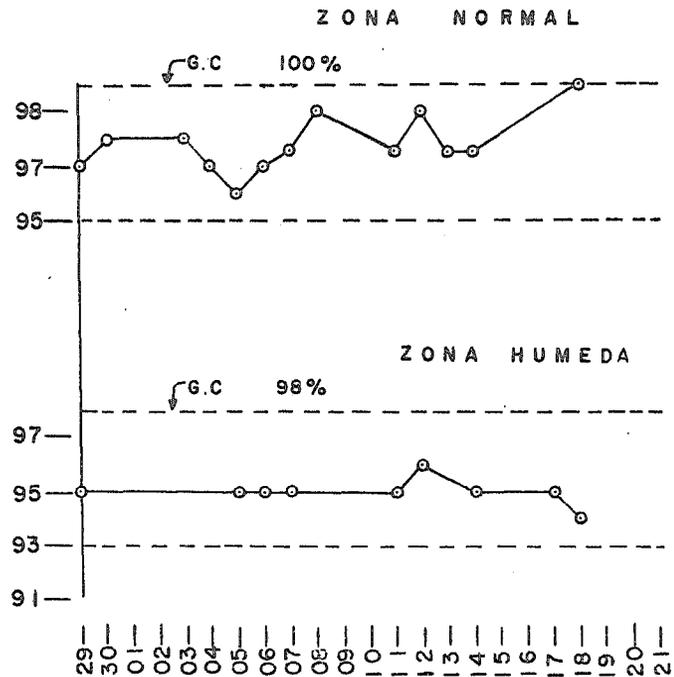


U.N.A.M.
ENER ACATLAN



CONTENIDO DE AGUA DEL MATERIAL IMPERMEABLE
COLOCADO EN CORTINA ZONA HUMEDA

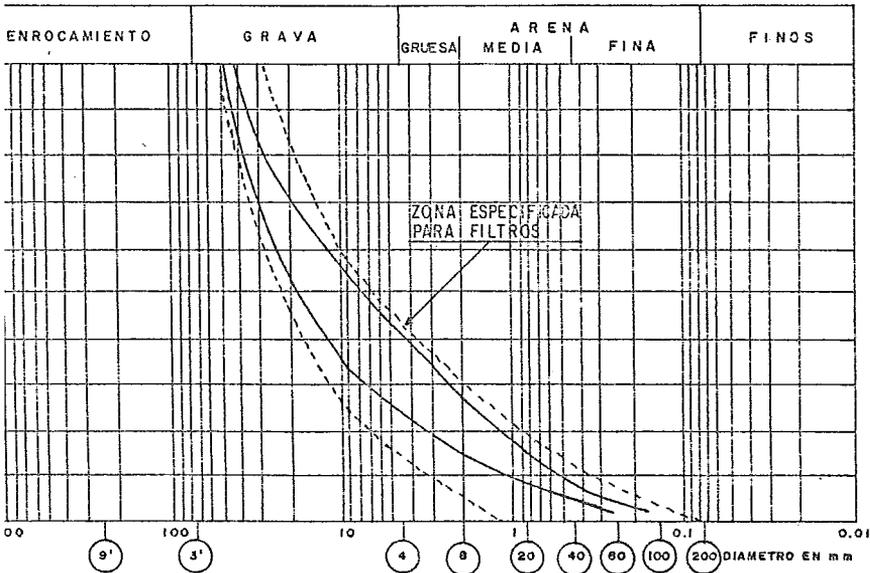
U.N.A.M.
ENEP. ACATLAN



GRADO DE COMPACTACION DEL MATERIAL
COLOCADO EN CORTINA.

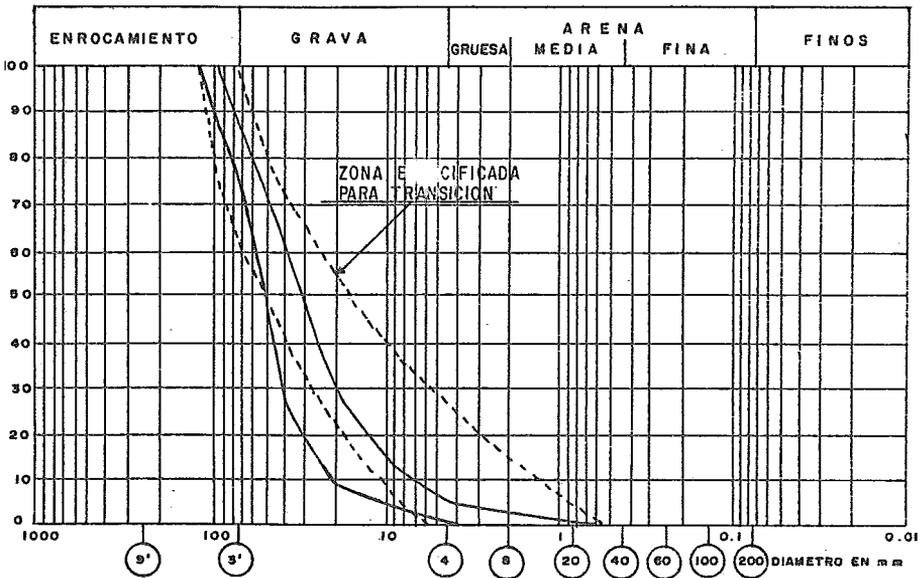
U.N.A.M.
ENER. ACATLAN

CURVAS GRANULOMETRICAS OBTENIDAS DE FILTROS
 MATERIAL COLOCADO EN CORTINA (A.A.B. Y A.A.R.) GRAVA ARENA DEL RIO



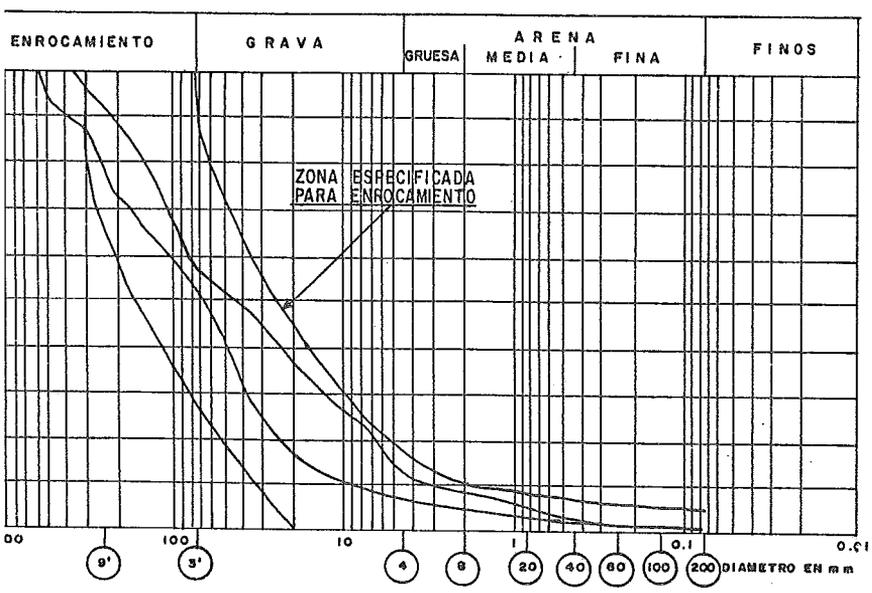
U.N.A.M.
 ENER. ACATLAN

**CURVAS GRANULOMETRICAS OBTENIDAS DE LA TRANSICION
MATERIAL COLOCADO EN CORTINA (A.AR. Y A.AB.)
CANTERA CHACHALACAS**



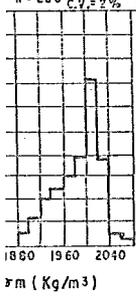
**U.N.A.M.
ENER ACATLAN**

URVAS GRANULOMETRICAS OBTENIDAS DE ENROCAMIENTO (MAT. 4)
 MATERIAL COLOCADO EN CORTINA (A. AR. Y A. AB.)
 ANTERA CHACHALACAS

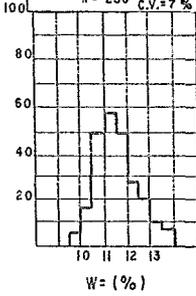


U.N.A.M.
 ENER. ACATLAN

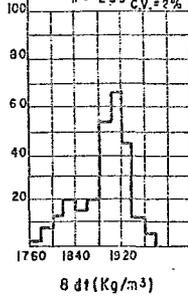
NUMERICO SECO MAXI
LA PRUEBA PROCTOR
 $\bar{x} = 1984$
 $\sigma = 37$
 $n = 236$ C.V. = 2%



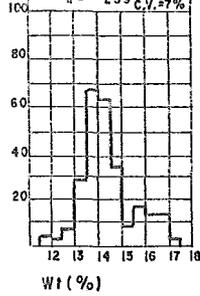
CONTENIDO DE AGUA OPTIMO
DE LA PRUEBA PROCTOR
 $\bar{x} = 11.5$
 $\sigma = 0.9$
 $n = 236$ C.V. = 7%



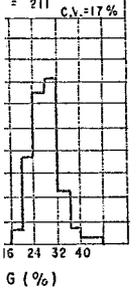
PESO VOLUMETRICO SECO
EN TERRAPLEN
 $\bar{x} = 1890$
 $\sigma = 41$
 $n = 259$ C.V. = 2%



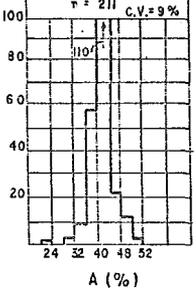
CONTENIDO DE AGUA
DEL TERRAPLEN
 $\bar{x} = 14.3$
 $\sigma = 1.1$
 $n = 259$ C.V. = 7%



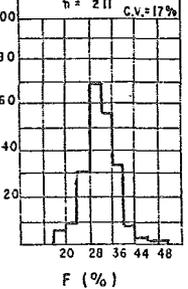
GRAVAS
 $\bar{x} = 28\%$
 $\sigma = 5\%$
 $n = 211$ C.V. = 17%



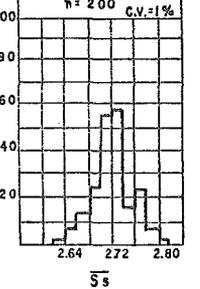
ARENAS
 $\bar{x} = 41\%$
 $\sigma = 4\%$
 $n = 211$ C.V. = 9%



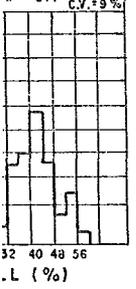
FINOS
 $\bar{x} = 31\%$
 $\sigma = 5\%$
 $n = 211$ C.V. = 17%



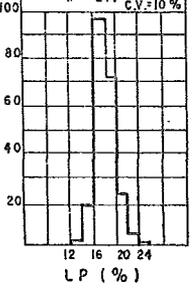
DENSIDAD DE SOLIDOS
 $\bar{x} = 2.72$
 $\sigma = 0.03$
 $n = 200$ C.V. = 1%



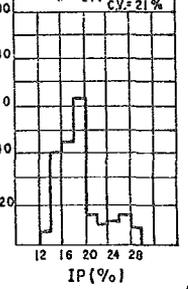
LIMITE LIQUIDO
 $\bar{x} = 27.3\%$
 $\sigma = 3.5\%$
 $n = 217$ C.V. = 9%



LIMITE PLASTICO
 $\bar{x} = 18.0\%$
 $\sigma = 1.7\%$
 $n = 217$ C.V. = 10%

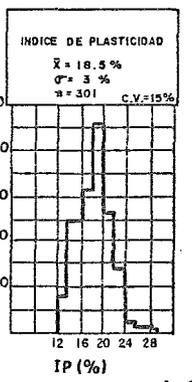
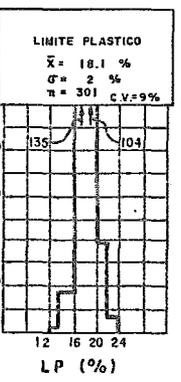
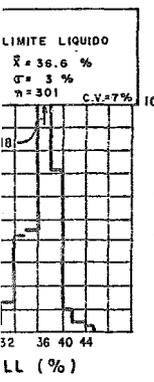
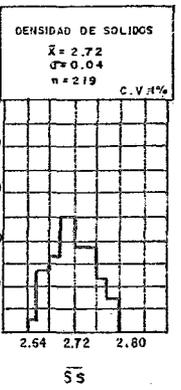
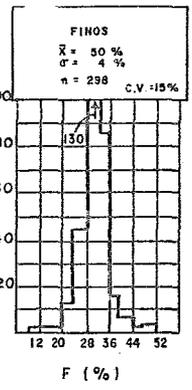
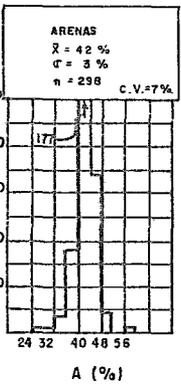
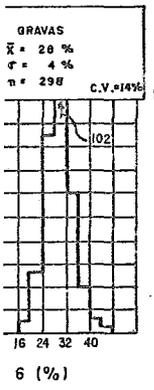
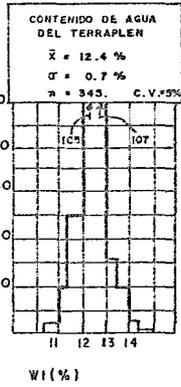
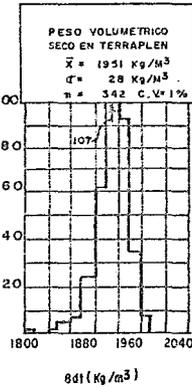
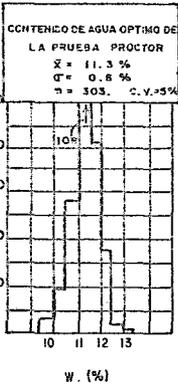
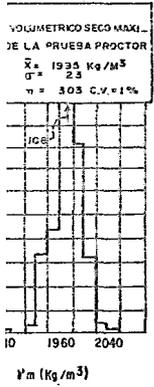


INDICE DE PLASTICIDAD
 $\bar{x} = 19.3\%$
 $\sigma = 4\%$
 $n = 217$ C.V. = 21%



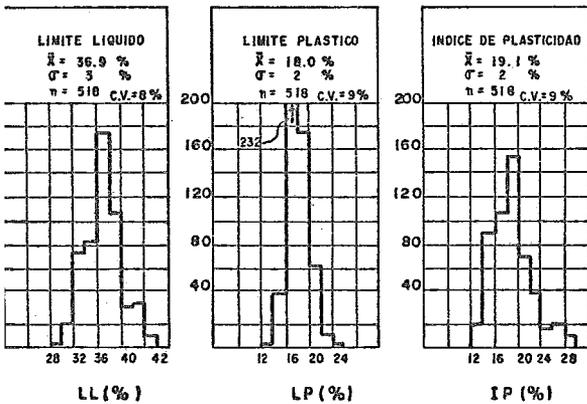
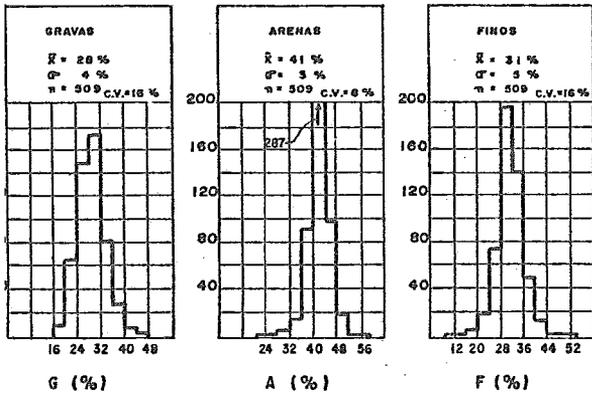
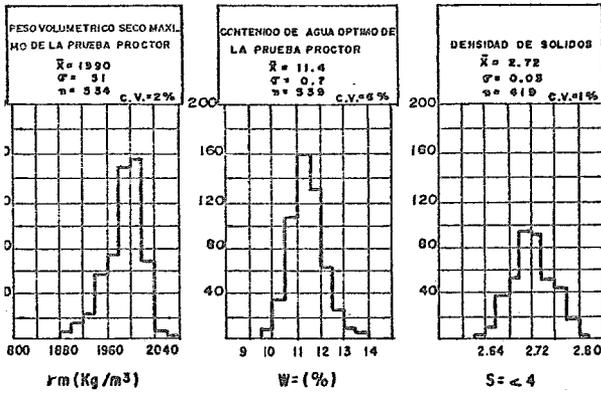
MATERIAL COLOCADO
EN CORTINA
ZONA HUMEDA

MATERIAL BCO. SAN -
MARCOS

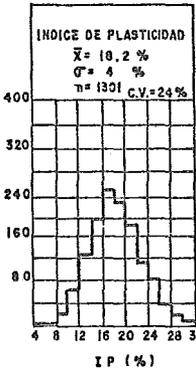
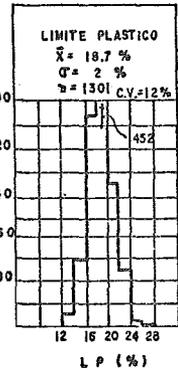
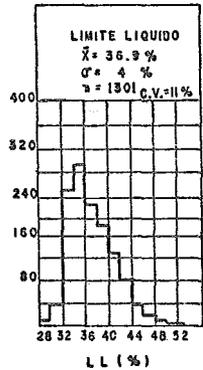
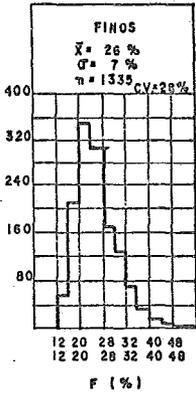
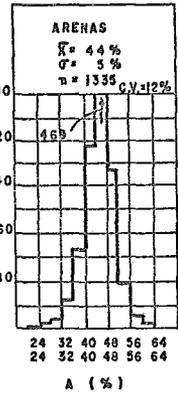
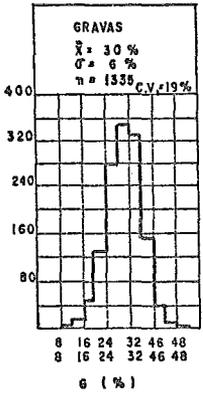
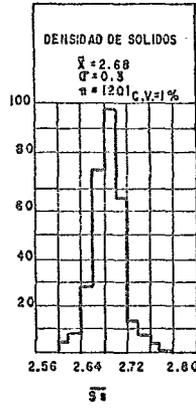
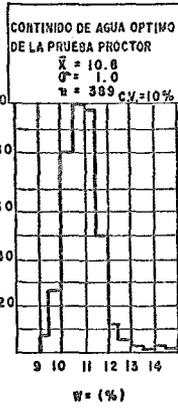
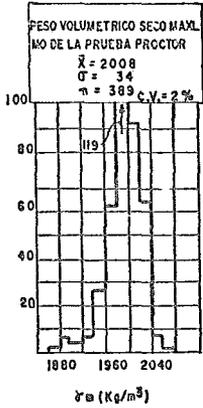


MATERIAL COLOCADO EN CORTINA ZONA NORMAL

U.N.A.M.
 ENERACATLAN



MATERIAL COLOCADO
 EN CORTINA
 BANCO SAN MARCOS
 ZONA NORMAL Y ZONA HUMEDA



MATERIAL TRATADO DEL BANCO SAN MARCOS

CONCLUSIONES

El objeto principal de lo antes expuesto, es tener una idea de control de calidad en las obras de Ingeniería de suelos.

La base fundamental del control de calidad son las pruebas de campo y de laboratorio; en las que se determinan los límites y tolerancias que debe tener el proceso de explotación, tratamiento y colocación de los materiales, como la de la cortina de Tierra y Enrocamiento del Proyecto Hidroeléctrico Ing. Carlos Ramírez Ulloa.

Cabe señalar que el análisis de estabilidad de taludes no pretende mostrar en detalle la estabilidad de la cortina, sino mostrar la influencia de las propiedades de los materiales sobre el factor de seguridad de la misma, para las diferentes condiciones de servicio.

A continuación analizaremos el comportamiento que han tenido los materiales desde el inicio de la construcción a la fecha y como influye la dispersión de los datos del análisis estadístico en las características y propiedades de los mismos.

NUCLEO IMPERMEABLE

Granulometría.- En las gráficas de granulometría se observa que el material se encuentra bien graduado aunque existe una dispersión del $\pm 24 \%$ en el contenido de finos

(menor que la malla # 200) que representa el 7.29 % de toda la masa, considerando que esta dispersión es aceptable, ya que las especificaciones admiten una dispersión de ± 22 %.

Límites de Consistencia.- Por estadística se tiene una baja dispersión, tanto en el límite plástico como en el límite líquido, esto nos indica la homogeneidad del material y situado en la carta de plasticidad presenta características de una arcilla de baja a mediana plasticidad. Estas características son: compactada es impermeable, tiene una regular resistencia al corte en estado compacto y saturado y mediana compresibilidad.

La característica de mediana compresibilidad es favorable pues se busca que el corazón impermeable tenga el menor asentamiento posible, respecto al que pudiera tener el material adjunto, en este caso el filtro, para evitar esfuerzos de tensión que ocasionan agrietamiento en el terraplén.

Contenido de agua.- De los resultados estadísticos encontramos que el control sobre el contenido de agua del material del corazón impermeable es satisfactorio, pues los valores promedio encontrados son muy cercanos a los requeridos por especificaciones y la dispersión es tal que no causa una variación considerable.

FILTRO

En este material se obtuvo un coeficiente de uniformi-

$d_{Cu} = 49.1$ lo cual indica que no es un material unifor
 y un coeficiente de curvatura $Cc = 1.07$ lo que muestra -
 e es un material bien graduado aún cuando se encuentra muy
 rca del límite inferior de lo establecido para este coefi-
 ente ($1 < Cc < 3$) y en cuanto a su permeabilidad ya se vió
 ando se diseñó que cumple satisfactoriamente.

TRANSICION

Este material presenta una mayor deficiencia granulome-
 ica pues un buen porcentaje, 35 % del material grueso se en
 entra bajo el límite inferior.

La mala granulometría y la angulosidad del material --
 ae como consecuencia la rotura de los grans, debido a que
 contacto entre partículas es menor y por lo tanto, la cur-
 por contacto es mayor en un suelo mal graduado, esta rotu-
 origina mayor compresibilidad del material.

ENRCCAMIENTO

El material de esta zona presenta las siguientes carac-
 erísticas:

- Material bien graduado
- Dispersión granulométrica media 11 %
- Bajo contenido de finos, no mayor del 5 %
- Peso volumétrico medio 2130 kg / cm³.

- Desviación estándar del peso volumétrico ± 138 kg/cm

De los resultados anteriores podemos decir que la dispersión en la granulometría del material es aceptable.

El contenido de finos puede influir en la ocurrencia de asentamientos no deseables por reacomodo de los enrocamientos después de terminada la construcción y durante el primer llenado del vaso.

Puede esperarse que los asentamientos sean mínimos al final de la construcción, ya que la roca es de buena calidad y el riego proporcionado cada 10,000 m³ favorece este efecto.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Presas de Tierra y Enrocamiento
Raúl J. Marsal y Daniel Resendiz Múñez
Editorial Limusa, México 1975.
- 2.- Secretaria de Recursos Hidráulicos
Manual de Mecánica de suelos
5ª Edición, México 1970.
- 3.- Soil Mechanics in Engineering Práctica
Karl Terzaghi - Falp B. Peck
Editorial, Jhon Wiley and Sond, New York 1967.
- 4.- La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres
Volúmen I y II
Alfonso Rico Rodríguez, Hermilo del Castillo
Editorial Limusa, México, D. F.
- 5.- Diseño de Presas Pequeñas
United states Departament of the Inerior Bureau.
of Reclamation
Editorial Continental, S.A. México 1976.
- 6.- Geología Regional alrededor del Sitio para el P.H.
El Caracol Gro.
Cerna Zoltan de
Informe Inédito
C.F.E. México 1977.

- 7.- Exploración, Muestreo y Ensayos de Suelos
Alfredo I. Martínez Cruz
I.P.N. E.S.I.A. México, D. F.
- 8.- Principios Generales de Diseño y Construcción de Presas de Tierra
Enrique Tamez González
Reproducción del original editado por la revista
"Ingeniería Hidráulica en México, de la S.F.H. 1965.
- 9.- Mecánica de Suelos - Teoría y Aplicación de la Mecánica de Suelos. Tomo II
Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez
Editorial Limusa, México, D. F.
- 10.- Estadística
Murray R. Spiegel
Editorial Mc.Graw Hill, México 1979.