

1284

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

DISEÑO DE LA CORTINA DE LA PRESA MIGUEL  
HIDALGO, SIN. DESDE EL PUNTO DE VISTA  
DE MECANICA DE SUELOS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA EL PASANTE

JAIME TRASLOSHEROS PERALTA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

A mis padres  
con cariño y gratitud.

A mi abuela materna  
con todo cariño.

A la memoria de mi  
abuelo paterno.

A mis hermanos y tíos.

A los Ingenieros:  
Enrique Ríos Lazcano.  
Ernesto García C.

en agradecimiento por su  
ayuda y enseñanzas.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA  
Dirección  
Núm. 731-1350  
Exp. Núm. 731/214.2/-1802

Al Pasante señor Jaime TRASLOSHEROS PERALTA.  
P r e s e n t e.

En atención a su solicitud relativa me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el señor profesor ingeniero Enrique Ríos Lazcano, para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero CIVIL.

"Diseño de la cortina de la presa Miguel Hidalgo, Sin. desde el punto de vista de Mecánica de Suelos.

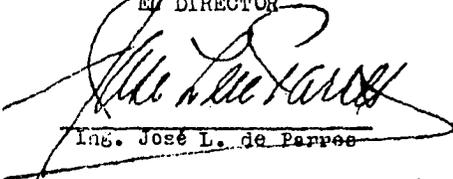
- 1°- Generalidades
- 2°- Trabajos de campo (Exploración y muestreo)
- 3°- Estudios de laboratorio
- 4°- Análisis de resultados
- 5°- Recomendaciones para el control de los materiales durante la construcción.
- 6°- Diseño de la cortina - Análisis de estabilidad
- 7°- Programa de trabajo y costos
- 8°- Conclusiones y recomendaciones".

Ruego a usted que tome nota del contenido de la Circular que me permito enviarle adjunta al presente, con el fin de que cumpla con el requisito a que ella alude, indispensable para sustentar su examen profesional.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
México, D. F., a 4 de julio de 1953

EL DIRECTOR

  
Ing. José L. de Parra

Núm. Circular anexa  
JLP/HUM/rr.



## I.- GENERALIDADES.

Las investigaciones y estudios que se han llevado a cabo en el distrito de riego del Río Fuerte en el estado de Sinaloa, han tenido por objeto regularizar las aguas de dicho río, mediante uno o varios vasos de almacenamiento para aprovecharlas en riego de una extensión de 267 000 hectáreas, situadas en la planicie costera en ambas márgenes del río, así como para generación de energía hidroeléctrica, además de protección contra inundaciones.

Como resultado de las exploraciones realizadas en la cuenca del Río Fuerte en busca de vasos de almacenamiento, se localizó el de "Mahone" situado a 60 km. aguas arriba de la zona de riego.

El Río Fuerte es el más septentrional del estado y también el de mayor caudal y recorrido.

La cuenca del Río Fuerte está localizada en la ladera Oeste de la Sierra Madre Occidental y sobre los valles situados entre esta cadena de montañas y la costa del Océano Pacífico, abarcando parte del territorio de cuatro estados que son: Sinaloa, Sonora, Chihuahua y Durango. En Chihuahua se encuentra la mayor parte de la cuenca superior y casi toda la parte baja de la cuenca se encuentra en Sinaloa.

La extensión de dicha cuenca es de cerca de 50 000 Km<sup>2</sup> y se encuentra limitada por las cuencas de los ríos Mayo, Yaqui, Conchos, Mazas, Sinaloa y Culiacán.

Desde el territorio Sur-Oeste del estado de Chihuahua en su límite con Durango bajan los más lejanos tributarios del Río Fuerte como son el Verde y el Chinatú que juntamente y después de su unión con el Río de los Loeras, toma el nombre de San Miguel.

En el territorio Norte de la cuenca en el estado de Chihuahua y en la región de Umachic nace el río Oteros con sus numerosos tributarios, de los cuales el más importante es el río septentrional.

Los ríos San Miguel y Oteros se unen en el punto llamado " La Junta " y después de la confluencia, la -

corriente es conocida como Río Fuerte. El curso de este río sigue una dirección predominante hacia el Suroeste pasando por los poblados de Vaca, Jaguari, Mahone, El Fuerte, Zozorique ( en donde recibe la corriente del Río Alamos que procede del estado de Sonora ), Tehueco, Jivirigoa, San Blas, Charay y Ahome desembocando un poco más adelante en el Golfo de California, cerca de la isla Piedra.

En esta gran cuenca se distinguen tres zonas bien definidas, la zona superior, que comprende la parte más intrincada del sistema hidrográfico con corrientes que nacen a lo largo de estrechos y escarpados cañones. En esta parte elevada de la cuenca la lluvia es más intensa que en otras partes y consecuentemente aquí es donde se genera la mayor parte del volumen de la corriente; la zona intermedia que se puede considerar como de transición entre la mencionada y la zona de la costa, en la cual el terreno presenta onduladas colinas, pendientes moderadas y el sistema hidrográfico se reduce prácticamente al río principal, si se exceptúa el Río Alamos y por último la zona baja localizada en el plano de la costa.

La zona superior de acuerdo con su extensión y la intensidad de lluvias puede considerarse como área de captación; la segunda, atendiendo a sus condiciones topográficas, puede considerarse como zona de almacenamiento o recolección por hacer posible la existencia de grandes almacenamientos y la última con muy buenas y extensas tierras de cultivo como una posible zona de riego.

Por tanto en la zona intermedia se encuentran localizados los mejores y más grandes depósitos para el almacenamiento del agua que proviene de la zona superior.

Estas regiones tienen un clima contrastable; muy caliente en verano y muy frío en invierno. En general el clima es muy seco con humedad deficiente en todas las estaciones, cuya temperatura máxima ha llegado a ser de  $51^{\circ}\text{C}$  y la media de  $26.1^{\circ}\text{C}$ , siendo la mínima de  $0^{\circ}\text{C}$ . La estación calurosa se inicia en el mes de mayo disminuyendo cuando comienza la época de lluvias, lo que ocasiona que el calor en esos meses sea menos intenso. Se registran dos períodos de lluvias, una comúnmente de junio a septiembre y otra durante el invierno, constituidas por lloviznas localmente "equipatas". Por lo consiguiente hay dos

períodos de crecientes.

Naturalmente en la extensa área la precipitación no es uniforme; en la zona alta es registrada una altura promedio anual alrededor de 1200 mm. y en la zona baja aproximadamente la mitad. Al presente sólo una pequeña parte de los enormes volúmenes de precipitación es de utilidad. Además de las pérdidas naturales se puede agregar que la mayor parte de la corriente llega al mar sin provecho.

El escurrimiento medio anual a la altura del Mahone lugar en que se construirá la presa es de 4005 millones de m<sup>3</sup>.

En esta región la superficie geológicamente es singular; las altas montañas de la sierra madre Occidental están constituidas casi exclusivamente por rocas efusivas e intrusivas, cuyo pequeño núcleo de piedra caliza de la era cretácea no puede ser definido exactamente de acuerdo con su época. En algunos lugares se han formado recientes rocas sedimentarias sobre las rocas efusivas o intrusivas de acuerdo con su accidentada Topografía.

Juntamente con las rocas efusivas aparecen productos piroclásticos arrojados (brechas y macizos de origen volcánico), acompañados de las erupciones volcánicas. Dichos macizos y brechas se encuentran en una pequeña área del Río Alamos.

En la zona de transición hay antiguas rocas como pizarras, abajo de formaciones recientes o cenozoicas. Sobre estas formaciones hay también remansos de corriente de lava que constituyen elevaciones aisladas. Las rocas efusivas generalmente basaltos como la que puede verse exactamente en el sitio de la presa de Mahone se presentan cubriendo la parte superior de las colinas constituyendo una capa protectora de aquellas rocas menos resistentes a las cuales cubren.

Indudablemente las capas aisladas son residuos de mantos más o menos continuos que cubren grandes extensiones; pero el continuo trabajo de la erosión y las tempestades lo ha destruido en una gran extensión dejando estos aislados vestigios.

En el plano costero predominan los sedimentos re -

cientes pero en su superficie emergen aquí y ahí aisladas elevaciones vestigios de antigua e incompleta topografía, modelada generalmente en rocas andesíticas y graníticas. Por lo tanto muchas de estas elevaciones están compuestas por masas ígneas de profundas raíces.

La presa " Miguel Hidalgo "será uno de los almacenamientos más importantes que habrá en la República.

El sitio de la cortina se halla localizado en la boquilla denominada Mahone, al lado del cerro del mismo nombre, a más o menos 25 kms. de la población del Fuerte.

La Ciudad del Fuerte se encuentra situada hacia los 26° 30' latitud Norte y los 108° 30' longitud Oeste de Greenwich. La cabecera del distrito, la villa del Fuerte está situada a inmediaciones de la orilla derecha del Río Fuerte.

Este distrito de riego alcanza al litoral del Golfo de California y limita por el Noroeste con los Estados de Sonora y Chihuahua. El distrito de riego del Río Fuerte junto con el de Culiacán son los dos más grandes del Estado y comprende las ciudades del Fuerte, Choix, Vaca, Baimena, Tora y Tehueco.

La altitud del distrito varía desde 5 hasta 40 metros sobre el nivel del mar, siendo atravesado en la parte sur por la sierra Tasajera y la de San Vicente donde alcanza mayor altura.

Los suelos del distrito son suelos profundos originados por la desintegración del granito y están constituidos esencialmente por arcilla, cuarzo y restos de mica, la mezcla de ellos y de otras rocas metamorfoseadas, tales como las felsitas y gneirs hacen a estos suelos ricos en cal y otros elementos minerales de gran valor para la nutrición y desarrollo de las plantas. Es principalmente por esto que se les considera de gran valor agrícola.

La principal riqueza es la agricultura en la que se cuentan como productos principales el garbanzo, caña de azúcar, alfalfa, algodón, arroz, tomate, hortalizas y frutas.

Las superficies cultivadas en la actualidad se encuentran bajo riego por bombeo alcanzando una superficie de 37 000 hectáreas, de las cuales corresponden 18 000

hectáreas al sistema S.I.C.A.E; el resto pertenece a particulares y a algunos ejidos independientes que utilizan las aguas mediante 160 equipos de bombeo instalados en ambas márgenes del río.

El cultivo del garbanzo es uno de los más desarrollados, no únicamente dentro del distrito de riego, sino que también en todo el Estado, habiéndose obtenido siempre un rendimiento muy satisfactorio; el garbanzo representa un artículo de exportación de primera para el Estado.

El cultivo de la caña de azúcar se ha practicado sin interrupción desde el año de 1892 siendo un producto agrícola que se ha industrializado ampliamente.

El cultivo de legumbres es de consideración; siendo la principal legumbre desde el punto de vista comercial el jitomate, el que siempre ha tenido aceptación en los mercados de E.U. y Canadá por lo que resulta ser de gran importancia para la economía del Estado.

La región está comunicada con los Estados del Norte de la República con vías que sin ser muy rápidas son lo suficientemente efectivas para el intercambio comercial de sus productos, estas vías de comunicación consisten en carreteras, ferrocarriles y puertos.

Caminos carreteros.- Existe la carretera internacional que sólo es transitable en tiempos de secas. Comunica con los Estados del Norte de la República hasta Nogales Son., frontera con E.U. y toca las poblaciones de importancia agrícola de Los Mochis. El Fuerte, Guasave, Cuamuchil, Angostura y hacia el Sur llega hasta el puerto de Mazatlán.

Existen además un gran número de caminos carreteros que comunican esta región con el exterior y que en general puede decirse que están en muy malas condiciones, siendo transitables la mayoría de ellos únicamente en tiempo de secas.

Ferrocarriles.- El estado es atravesado por el ferrocarril Sudpacífico de México que cubre el Trayecto de Guadalajara a Nogales; bordea la región costera del Estado que es la que forma la zona agrícola de la región.

Los medios de vida con que cuenta la región son la agricultura, ganadería e industria. De estos recursos -

de vida, para los habitantes de la región, la agricultura ha alcanzado un amplio desarrollo dentro del Estado y es - por eso que se le considera como la principal fuente de riqueza.

La prosperidad tan marcada que se ha notado en la agricultura se debe principalmente a que el Estado posee una enorme variedad de climas y de suelos. Sus valles están formados por muy buenas tierras de aluvión, y sus laderas y montañas abundan en arcilla arenosa bastante productiva cuando se riega. Esto se completa con el espíritu de trabajo y progreso de sus habitantes, pues desde hace muchos años los agricultores han represado las corrientes de sus arterias fluviales canalizando las tierras con el fin de hacer llegar a ellas el agua tan indispensable para la agricultura, y así poder obtener de ellas el máximo rendimiento. No obstante ser la agricultura la principal riqueza de la región, también existen las industrias derivadas de la agricultura y que han tenido un desarrollo muy amplio en todo el Estado.

Con la construcción de la Presa "Miguel Hidalgo", así como posteriormente el vaso de "San Blas", se incrementará el desarrollo de las industrias en general y la eléctrica que alcanza dentro del Estado un 0.79% de la total desarrollada en la República.

Los estudios hidrológicos que se realizaron para definir las características del vaso de almacenamiento, que se adoptará para riego, generación de energía y depósito de azolves, arrojaron los siguientes resultados; que correspondieron al máximo aprovechamiento de la corriente:

|  |                              |   |
|--|------------------------------|---|
| Para riego y generación de energía ..... | 5400 mill. de m <sup>3</sup> |   |
| Para depósito de azolves .....           | 450                          | " |
| Capacidad total.....                     | 5850                         | " |

De acuerdo con los estudios con esta capacidad - la superficie regable será de 267 000 hectáreas y se podrá producir energía con un total de 200 millones de K.W.H. anuales, en una planta que se instale al pié de la cortina

con una capacidad de 48 000 K.W.

Las 267 000 Ha. que es posible regar mediante el aprovechamiento total de los recursos hidráulicos del Río Fuerte se distribuyen como sigue:

Margen derecha:

|   |          |
|---|----------|
| Aguas arriba de San Blas .....                                | 2 000 Ha |
| Aguas abajo .....   | 2 000 "  |
| Aguas abajo de Camayeca hasta el límite de las marismas ..... | 15 000 " |

Margen izquierda:

|                               |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| Aguas abajo de San Blas ..... | 248 000 "          |
| Superficie total .....        | <u>267 000 Ha.</u> |

## II.- TRABAJOS DE CAMPO (EXPLORACION Y MUESTREO)

### Exploración.

En el lugar elegido para la construcción de una estructura de tierra debe hacerse un estudio detallado de la cimentación, así como una exploración visual de los terrenos adyacentes con el objeto de escoger aquellos lugares cuya topografía y distancia a la obra sean más favorables para la elección de los materiales que puedan ser empleados en la misma, iniciándose desde luego la apertura de excavaciones, generalmente pozos a cielo abierto que pongan al descubierto las capas del subsuelo; además se debe observar en los paredones del río, barrancas, talwegs y pozos existentes, el aspecto del material y hacer en ellos una identificación rápida de los suelos por medios que no requieran instrumentos de laboratorio.

a).- Cimentación.- La estimación de la propiedad de una cimentación por medio de signos exteriores compete a un geólogo; el ingeniero necesita hacer las perforaciones necesarias para estar en posición de conocer las propiedades del material en que quedará cimentada la estructura.

Para determinar el corte geológico de la boquilla en el sitio de la presa Mahone se procedió a efectuar perforaciones como se indica en el plano No 2. Dichas perforaciones fueron hechas con máquina perforadora de punta de diámetro.

Sobre el eje de la cortina fué hecha una detallada exploración con máquina perforadora, pozos a cielo abierto y túneles; además en la ladera derecha fueron excavadas cuatro líneas de túneles más, denominadas series A1, B1, B2 y B3.

Como resultado de dichas perforaciones fueron encontradas exclusivamente rocas sedimentarias, incluyendo una serie de antiguas pizarras hasta recientes aluviones fluviales además de areniscas, conglomerados y arcillas de "Formación Baucarit".



Los espesores de los depósitos de cascajos sueltos y arena es variable; desde un mínimo registrado de -- 3m. a un máximo de cerca de 15 m. por lo que se puede asegurar que se trata de un basto aluvión.

Es una gran parte del lado izquierdo del lecho -- del río el reciente aluvión reposa directamente en los -- conglomerados, areniscas, y arcillas. Donde la "Formación Baucarit" se pierde, el aluvión reposa sobre pizarras de -- variado grado de conservación en el mismo lecho del río.

La roca más abundante en la "Formación Baucarit" es una piedra arenisca de una media a una basta textura de un color gris, que tiene indicios de fracturas con intrusiones de calcita.

El conglomerado está formado principalmente de -- guijas de andesita, pero también de guijas de granito, alternadas con areniscas y algunos pedazos redondos de basalto. Estos conglomerados están casi siempre compuestos de -- pequeñas porciones sobre los guijarros que casi nunca son más grandes que el tamaño de una nuez.

Junto con los conglomerados y la burda piedra -- arenisca gris, aparece esporádicamente una arenisca muy fina y frecuentemente arcilla, casi siempre de poca consistencia y de color rosado que en algunas capas cambia a una arcilla compacta con la misma coloración rosada.

La "Formación Baucarit" que constituye el fondo rocoso del río y prosigue en las colinas del lado izquierdo se compone de arcillas de conglomerados y areniscas alternadas colocadas en general en posición horizontal o ligeramente inclinada.

Parece ser que no todos los conglomerados encontrados en el sitio de la presa Mahone pertenecen a la "Formación Baucarit". En el lado izquierdo en algunos de -- los pozos a cielo abierto se encontró en un cuerpo lenticular conglomerado de menor consistencia con guijarros más grandes y menos redondos de andesita, granito, riolita, rocas metamórficas y también basaltos.

Precisamente la menor cohesión tamaño y forma de los aguijarros así como la presencia de basalto diferencian a este conglomerado del de la "Formación Baucarit".

Los restos del conglomerado sobre la ladera derecha donde se encuentran las pizarras alteradas parecen --

pertenecer a esta formación más reciente.

De las observaciones hechas de los registros de las perforaciones efectuadas en el lugar de la boquilla se determinó el perfil geológico de la misma, como se indica en el mismo plano No 2, en donde se observa que los estratos de características propias para cimentación son; en la margen izquierda, las areniscas y conglomerados compactos; y en la margen derecha la pizarra poco alterada. El acarreo arenoso suelto que forma el cauce del río, es buen material de cimentación, pero es permeable, por lo tanto se impone la necesidad de sellar dichos mantos al paso del agua por medio de una trinchora. La pizarra alterada de la margen derecha es mal material de cimentación en cuanto a resistencia y posiblemente también en cuanto a permeabilidad. Por las razones anteriores se considera que es conveniente remover dichos estratos de pizarra alterada.

En el sitio de la presa " Miguel Hidalgo " toda la roca fija es de origen sedimentario exceptuando el basalto que se encuentra en la cima de la montaña Mahone y una intrusión ígnea en el banco derecho. Aquí la presa reposará en conglomerados y areniscas de la " Formación Baucarit " y sobre pizarras. " La Formación Baucarit " se encuentra en las colinas del lado izquierdo, en la mayor parte del lecho del río y en las más lejanas colinas del borde derecho. Las pizarras se encuentran en la ladera derecha y también en parte de las colinas de la misma ladera.

El aluvión que se encuentra en la " Formación Baucarit " o sobre las pizarras tienen un espesor máximo registrado de cerca de 15 m.

La mayor desventaja en el sitio de la presa Mahone es un gran depósito incoherente, formado por blocks angulares de basalto, restos de conglomerado e inconsistentes pizarras, alteradas y agrietadas que cubren las pizarras inalteradas de la ladera derecha. Realmente el volumen de esa masa incoherente es solamente un pequeño porcentaje del volumen de los materiales que se excavarán para construir la presa en este sitio.

En general se puede decir que el sitio para la construcción de la presa Mahone es satisfactoriamente impermeable.

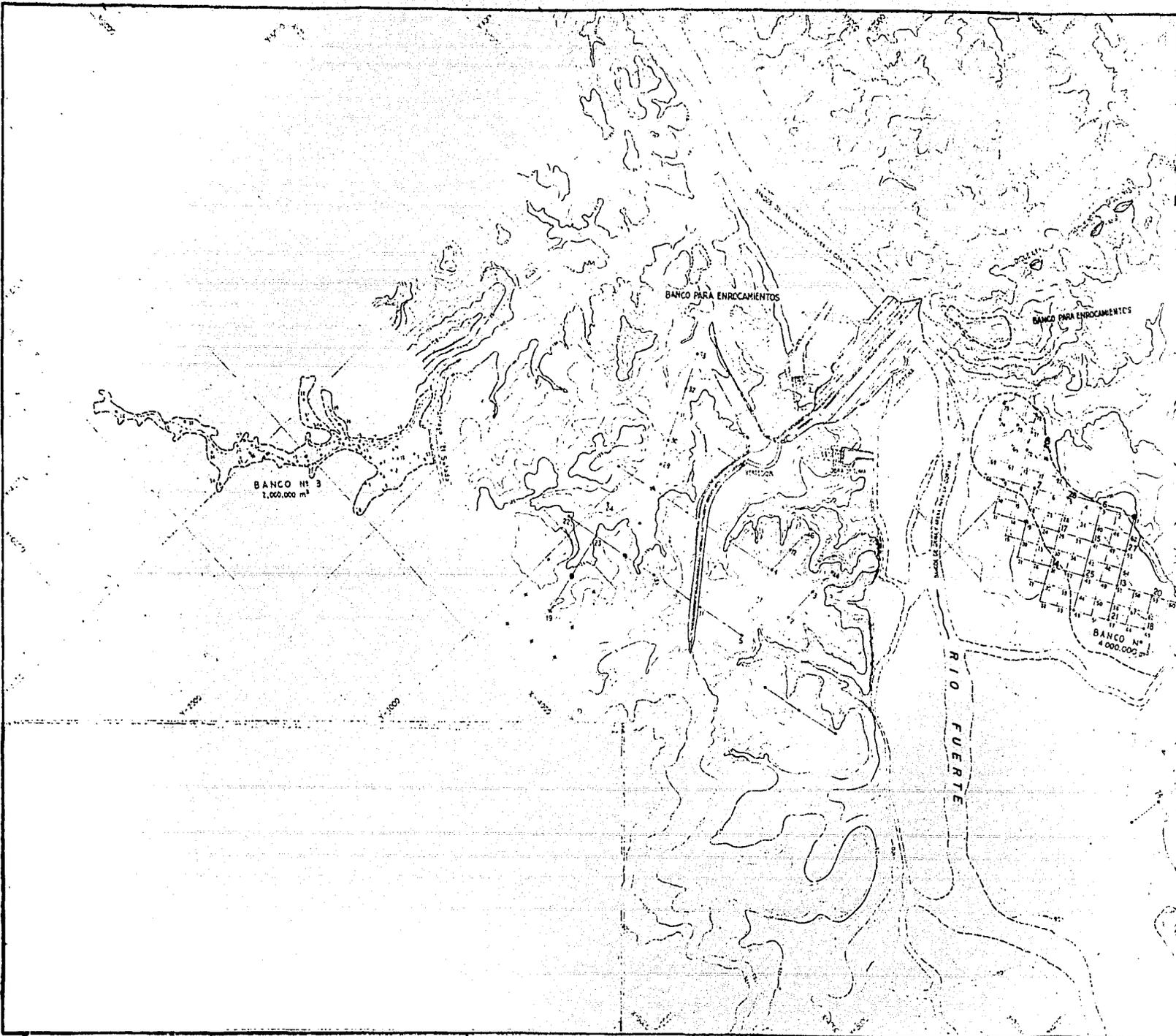
b).- Bancos de Préstamo. Una vez hecha la exploración preliminar se procede a localizar los bancos de préstamo de los materiales que se emplearán en la construcción de la cortina. La localización de los bancos de préstamo debe atender a varios factores; uno de los principales es el tipo de material que se encuentra en cada banco, tomándose también en cuenta la distancia al sitio de la obra que redundará en economía así como la topografía del lugar y la cantidad de material que debe ser garantizada por dicho banco. En el plano No. 3, se muestran los lugares en que se localizaron los bancos que satisfacen las principales condiciones requeridas y que son el banco 3 en la margen izquierda que se aprovechará para el cierre de la cortina y los bancos 1 y 1B situados en la margen derecha dentro del vaso, que se usarán para la primera etapa de construcción ya que parte de ellos se inundará al hacer el cierre por lo que no se podrán seguir explotando; también se localizan en dicho plano el lugar donde se encontró el material estabilizador que comprende la arena, grava y roca, encontrándose el primero, en el lecho del río tanto aguas arriba como aguas abajo de la cortina; y en la parte de aguas abajo de los diques se encuentran los bancos para el enrocamiento siendo este un lugar de poca vegetación donde aflora la roca y no dificulta su explotación.

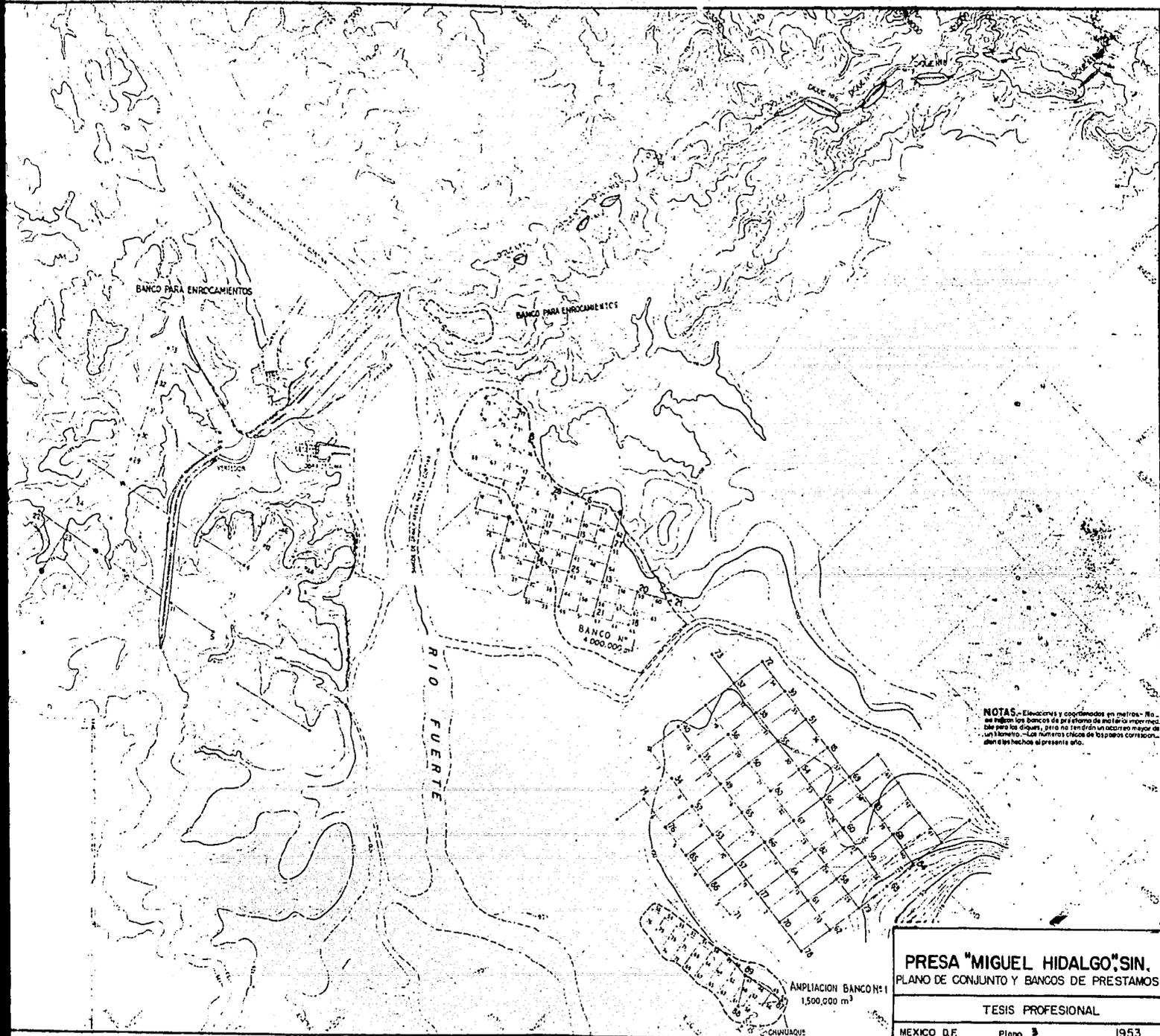
### Muestreo.

El conocimiento de los estratos que van a soportar una estructura y de los materiales que constituyen un banco de préstamo se obtiene tomando porciones o muestras representativas de los suelos cuyo estudio se va a hacer en el laboratorio.

Las muestras representativas de los suelos son de dos tipos: las inalteradas que son porciones de suelo en las mismas condiciones de estructuración, peso volumétrico y humedad, en que se encuentran en el lugar de que se extraen y las alteradas o remoldeadas en las cuales no se conservan estas condiciones.

Las muestras remoldeadas o alteradas pueden abarcar toda la profundidad de ataque de un banco y entonces





NOTAS.- Elevaciones y coordenadas en metros.- No se pegan los bancos de préstamo de material imperfecto para los diques, sino se tendrán en cuenta mayor de un metro.- Los números chicos de los papeles correlacionados se los hechos el presente año.

PRESA "MIGUEL HIDALGO", SIN.  
PLANO DE CONJUNTO Y BANCOS DE PRESTAMOS

TESIS PROFESIONAL

MEXICO D.F.

Plano 3

1953

toman el nombre de muestras integrales; o bien pueden representar únicamente una capa determinada de espesor variable y en este caso constituyen las muestras parciales o muestras por capas.

a).- Cimentación.- En general para estudiar a los materiales que van a soportar la estructura se requieren muestras inalteradas que se obtienen por medio de pozos a cielo abierto o máquinas perforadoras.

De las perforaciones que se hagan para conocer las condiciones de la cimentación deben sacarse muestras de los materiales que se vayan encontrando con el fin de identificar y clasificar los diferentes estratos y en caso necesario estudiar las propiedades físicas y químicas de algunas muestras que se consideren críticas.

Es conveniente saber también, cuando la exploración se hace extrayendo corazones de material, los porcentajes de recuperación de dichos corazones. Estos porcentajes de recuperación se calculan como la relación de la longitud de la muestra obtenida y la longitud de perforación que se haya efectuado, multiplicando este porcentaje por 100.

Si el material soportante se encuentra de mala calidad, se debe muestrear obteniendo muestras inalteradas y a diferentes profundidades. Estas muestras deben remitirse al laboratorio para hacerles pruebas de consolidación y esfuerzo cortante en su estado inalterado y saturando posteriormente el material, y pruebas de permeabilidad.

Las pruebas anteriores son las más importantes que se hacen a un material de cimentación.

Los trabajos de exploración y muestreo efectuados para el estudio de la cimentación de la presa " Miguel Hidalgo " fueron los siguientes:

Sobre el eje de la cortina:

32 perforaciones con máquina perforadora con una longitud total de: 818.23 m.

100 pozos a cielo abierto con una longitud total de: 529.70 m.

11 túneles con una longitud total de: 477.80 m.

En consecuencia 143 exploraciones fueron hechas en esa línea con un total de 1825.73 m. de longitud.

Sobre la línea de túneles de la serie A1:

1 pozo a cielo abierto con una profundidad de: 6 m.

4 túneles con una longitud total de: 128.50 m.

En total 5 explotaciones fueron hechas en esta serie cuya longitud total es de 134.50 m.

Sobre la línea de túneles de la serie B1:

1 pozo a cielo abierto con una profundidad de: 9.60 m.

4 túneles con una longitud total de; 123.35 m.

En total 5 exploraciones fueron hechas en esta serie con una longitud total de 132.95 m.

Sobre la línea de túneles de la serie B2:

8 túneles con una longitud de: 192.65 m.

Sobre la línea de túneles de la serie B3:

7 túneles con una longitud total de: 194.50 m.

En resumen, las exploraciones geológicas en el sitio de la presa implican la ejecución de 168 exploraciones cuya longitud total es de 2480.33m.

De estos trabajos se observó lo siguiente:

Sobre el eje de la cortina, desde la perforación I a la XXII existe un pequeño cambio del aluvión fluvial -- suelto a los sedimentos descritos anteriormente de la " -- Formación Baucarit". En el resto del lecho del río desde la perforación XXIII y bajo el subsuelo se observa un cambio -- completo; este cambio se presenta bajo el aluvión de púza -- rra negra en lugares donde la roca se encuentra en una avanzada etapa de desintegración. Por lo anterior no es posible alcanzar un buen porcentaje de recuperación.

En las escasas muestras inalteradas tomadas en --

las pizarras se observó que los estratos de esquistos están generalmente inclinados y también que existen zonas en las cuales los pliegues han producido la separación de esquistos o capas estratificadas. Además en las grietas así formadas se ha depositado un relleno de calcita. Hay así mismo también, aunque no muy frecuentemente intercalaciones de cuarzo.

Dentro de esta zona de pizarras alguna perforación descubrieron roca compacta de color obscuro como las pizarras, efervescente a los ácidos y más dura que la caliza, la cual ha sido clasificada como dolomitas. Esta roca muestra también algunas pequeñas fracturas con rellenos de calcita.

En las muestras obtenidas con máquina perforadora la recuperación de las mismas fué generalmente baja.

Sin embargo el porcentaje es mayor en las areniscas que en los conglomerados y más alto que en las pizarras. En estas rocas la recuperación de las muestras inalteradas es frecuentemente nula.

De los 818.23 m. perforados sobre el eje de la cortina, 158.13 m. fueron recuperados de las muestras inalteradas. Esto significa un promedio de recuperación de sólo el 19.3 %. Si se toma en cuenta únicamente la longitud perforada en roca fija el porcentaje llega a 27.6 %.

b).- Bancos de préstamo. Para el estudio del material que se usará en la construcción de la estructura sólo se requiere que las muestras obtenidas representen en lo posible el material que constituye el banco; esto se logra por medio de pozos o sondeos hechos a una distancia conveniente uno del otro y en número suficiente que permita limitar y estimar las áreas de los distintos materiales, así como la profundidad media de los mantos. Con estos datos se pueden conocer los volúmenes de material utilizable.

Es conveniente efectuar el muestreo localizando los pozos por medio de una cuadrícula orientada y referida a la cuadrícula general de un km. por lado que se traza en todos los levantamientos topográficos de cuencas, con el objeto de conocer las distancias de acarreo del material y tener una representación lo más exacta posible de los materiales que se encuentran en cada banco.

Conforme se van abriendo los pozos hay que fijar se en los paredones del mismo, en las capas que vayan apareciendo con el fin de hacer un corte geológico de cada uno de los bancos y hacer una distinción si es que la hay de los distintos materiales que se observen en los pozos.

Si la variación de los materiales, en un pozo se considera que influya en el comportamiento de los mismos o sea que en la construcción dichos materiales se comporten de diferente manera, entonces es conveniente muestrear por separado cada una de las capas que aparezcan en el pozo.

El muestreo debe hacerse de acuerdo con el equipo que vaya a emplearse en la explotación de cada banco, si ésta se hace por medio de escrepas, el muestreo debe hacerse por capas, si por el contrario la explotación piensa hacerse por medio de palas mecánicas o dragas, el muestreo deberá ser integral.

En los bancos elegidos para la obtención del material impermeable y que son los bancos 1, 1B que es una ampliación del banco 1, así como en el banco 3, el muestreo se llevó a cabo haciendo pozos a cielo abierto y teniendo para los primeros una cuadrícula quedando localizados los pozos en los cruces de dicha cuadrícula a cada 100m.

En el banco 1 fueron excavados 76 pozos de los cuales se muestrearon 20.

De los pozos excavados en el banco 1-B sólo se muestrearon 2 por haber sido desechada esta ampliación del banco 1 debido a la mala calidad del material.

En total 22 pozos fueron muestreados en el banco 1 y 1-B con una profundidad media de 4.10 m.

En este banco se encontraron varios tipos de material predominando el material limoso, observándose también material areno-limoso, arena sucia y materiales de frontera entre arena y limo.

En el banco 3 fueron excavados 37 pozos de los cuales se muestrearon 17 con una profundidad media de 4.25 m.

En este banco también el material limoso fué el que se encontró en mayor cantidad, observándose además cantidades considerables de grava, arena, limo y arcilla en

proporciones más o menos semejantes; este material fué clasificado como balanceado. También se encontró material arenoso-limoso y material grueso.

El volumen disponible de material impermeable en estos dos bancos es de 1,840,000 m<sup>3</sup>.

Por lo que respecta al material estabilizador como el enrocamiento, en los lugares ya indicados existe material suficiente con el cual se puede satisfacer el volumen necesario para la estructura.

### III.- ESTUDIOS DE LABORATORIO.

De los estudios de laboratorio realizados con los materiales destinados a usarse en el corazón impermeable - de la cortina se obtuvieron los resultados que se muestran en forma de resumen en el cuadro adjunto después de haber sido sometidos a las pruebas de laboratorio que a continuación se explican:

#### Granulometría:

El análisis granulométrico de un suelo consiste en clasificar y separar por tamaños los grumos que lo componen.

El análisis se hace en dos etapas:

1.- Por medio de una serie de tamices para tamaños grandes y medianos de las partículas.

2.- Por medio de un proceso de vía húmeda para granos finos.

El análisis mecánico húmedo se basa en el comportamiento del material granular en suspensión, dentro de un líquido al sedimentarse.

Los métodos de análisis húmedo consisten esencialmente en una serie de mediciones en la suspensión del suelo hechas durante el proceso de sedimentación.

1.- Análisis por tamices.

El análisis por tamices se hace:

a).- Con la muestra íntegra.

b).- Con una fracción de ella, dependiendo de las características del material fino de la muestra.

Quando los finos consisten esencialmente de arcillas, el análisis de tamices se hace con material al que por medio de lavado se le quitan los finos. Con los tamices se hace la separación de partículas desde 0.074 mm. de ---

# RESUMEN DE CARACTERISTICAS

## PRESA "MIGUEL HIDALGO"

### SINALOA.

| P<br>O<br>Z<br>O | P<br>R<br>O<br>F.  | DENSIDAD | LIMITES DE CONSISTENCIA<br>(ATTERBERG) |                    |                    | COMPOSICION GRANULOMETRICA<br>CLASIFICACION M.I.T. |                |       |      |         | PROCTOR |                    | ESFUERZO<br>CORTANTE |      |
|------------------|--------------------|----------|--|--------------------|--------------------|--|----------------|-------|------|---------|---------|--------------------|----------------------|------|
|                  |                    |          | LIMITE<br>LIQUIDO                      | LIMITE<br>PLASTICO | INDICE<br>PLASTICO | Nº 4<br>GRAVA                                      | Nº 10<br>GRAVA | ARENA | LIMO | ARCILLA | P. V.   | W. HUM.            | Ø                    | C    |
|                  |                    |          | %                                      | %                  | %                  | %  | %              | %     | %    | %       | %       | KG./M <sup>2</sup> | %                    | GRAC |
|                  |                    |          | B                                      | A                  | N                  | C  | O              |       |      | Nº      | I       |                    |                      |      |
| 7                | 6.00               | 2.650    | 28.8                                   | 23.5               | 5.1                |  |                | 30    | 60   | 10      | 1715    | 17.6               | 5                    | 4    |
| 8                | 3.60               | 2.660    | 31.7                                   | 28.2               | 3.5                |  |                | 34    | 59   | 7       | 1655    | 19.6               | 9                    | 3.0  |
| 12               | 5.00               | 2.690    | 24.5                                   | 23.0               | —                  |  |                | 29    | 54   | 17      | 1760    | 17.5               | 13                   | 2.2  |
| 24               | 2.30               | 2.690    | —                                      | 22.3               | 4.7                |  |                | 35    | 53   | 12      | 1765    | 17.5               | 0                    | 4.2  |
| 37               | 1.90               | 2.743    | —                                      | 23.7               | —                  |  |                | 60    | 32   | 8       | 1935    | 13.5               | 12                   | 3.8  |
|                  |                    |          |  |                    |                    | 2  | 0              | 59    | 32   | 7       |         |                    |                      |      |
| 41               | 2.60               | 2.674    | 26.8                                   | 28.8               | —                  |  |                | 44    | 46   | 10      | 1753    | 16.5               | 11                   | 2.6  |
| 42               | 6.30               | 2.637    | 24.5                                   | 24.0               | 0.5                |  |                | 41    | 47   | 12      | 1918    | 16.0               | 6                    | 4.5  |
| 45               | 4.70               | 2.775    | 27.8                                   | 27.0               | 0.8                |  |                | 45    | 48   | 7       | 1800    | 16.5               | 6                    | 3.1  |
| 51               | 3.90               | 2.670    | 26.2                                   | 24.3               | 1.9                |  | 1              | 46    | 45   | 8       | 1800    | 15.0               | 7.5                  | 2.1  |
| 52               | 5.00               | 2.614    | 23.0                                   | 20.0               | 3.0                |  |                | 40    | 46   | 14      | 1750    | 16.5               | 0                    | 3.8  |
| 53               | 5.00               | 2.698    | 24.0                                   | 23.3               | 0.7                |  |                | 52    | 38   | 10      | 1810    | 14.4               | 3                    | 2.4  |
| 55               | 5.00               | 2.678    | 26.7                                   | 19.3               | 7.4                |  |                | 30    | 58   | 12      | 1830    | 15.2               | 15                   | 4.7  |
| 57               | 4.10               | 2.677    | 24.0                                   | 23.4               | 0.6                |  |                | 46    | 43   | 11      | 1765    | 17.0               | 9.5                  | 1.9  |
| 59               | 5.00               | 2.691    | 21.5                                   | 18.6               | 2.9                |  |                | 30    | 64   | 6       | 1775    | 17.3               | 0                    | 6.5  |
| 60               | 5.10               | 2.632    | 33.0                                   | 22.1               | 10.8               |  | 2              | 43    | 44   | 11      | 1735    | 18.3               | 5                    | 6.5  |
| 61               | 4.50               | 2.654    | 28.0                                   | 22.5               | 5.5                |  |                | 30    | 59   | 11      | 1762    | 17.3               | 7.5                  | 4.4  |
| 62               | 3.00               | 2.694    | 26.3                                   | 23.5               | 2.8                |  |                | 50    | 40   | 10      | 1840    | 14.9               | 13                   | 6.0  |
| 63               | 3.50               | 2.691    | 32.7                                   | 20.8               | 12.2               |  | 1              | 30    | 55   | 14      | 1720    | 17.3               | 1                    | 6.2  |
| 64               | 2.00               | 2.647    | —                                      | 26.4               | —                  |  |                | 73    | 17   | 10      | 1735    | 14.5               | 30                   | 3.8  |
| 65               | 4.00               | 2.697    | 26.0                                   | 19.1               | 6.9                |  | 4              | 41    | 49   | 6       | 1857    | 15.5               | 2                    | 3.5  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  |                | 40    | 46   | 7       |         |                    |                      |      |
| 12               | RAPIDA CONSOLIDADA |          |  |                    |                    |  |                |       |      |         |         |                    | 30                   | 7.7  |
| 37               | "                  | "        | "                                      | "                  | "                  |  |                |       |      |         |         |                    | 29                   | 5    |
| 45               | "                  | "        | "                                      | "                  | "                  |  |                |       |      |         |         |                    | 30                   | 6    |
| 57               | "                  | "        | "                                      | "                  | "                  |  |                |       |      |         |         |                    | 32                   | 3    |
| 64               | "                  | "        | "                                      | "                  | "                  |  |                |       |      |         |         |                    | 34                   | 6    |
|                  |                    |          | B                                      | A                  | N                  | C  | O              |       |      | Nº      | I-B     |                    |                      |      |
| 62               | 3.80               | 2.666    | 53.5                                   | 25.3               | 28.2               |  |                | 19    | 59   | 22      | 1590    | 23.0               | 2                    | 10.3 |
| 71               | 4.60               | 2.666    | 23.8                                   | 25.0               | 0.0                |  |                | 40    | 47   | 13      | 1011    | 15.6               | 8                    | 2.7  |
|                  |                    |          | B                                      | A                  | N                  | C  | O              |       |      | Nº      | 3       |                    |                      |      |
| 1                | 5.00               | 2.788    | 37.4                                   | 24.4               | 13.0               |  | 1              | 10    | 75   | 14      | 1688    | 20.0               | 0                    | 8    |
| 4                | 3.00               | 2.694    | 44.5                                   | 21.1               | 23.4               |  | 17             | 34    | 38   | 11      | 1823    | 14.0               | 32                   | 2.5  |
| 6                | 4.90               | 2.717    | 37.3                                   | 21.8               | 15.5               | 44   | 9              | 19    | 21   | 7       |         |                    |                      |      |
| 7                | 2.40               | 2.769    | 33.4                                   | 20.2               | 13.2               | 14   | 4              | 26    | 61   | 9       | 1735    | 17.5               | 1                    | 7.4  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 4              | 25    | 50   | 7       |         |                    |                      |      |
| 8                | 1.80               | 2.803    | 27.4                                   | 20.1               | 7.3                | 1  | 0              | 32    | 62   | 6       | 1810    | 15.8               | 1                    | 5.6  |
| 10               | 4.00               | 2.744    | 29.8                                   | 22.0               | 7.8                |  | 2              | 35    | 59   | 5       |         |                    |                      |      |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 2              | 53    | 38   | 7       | 1948    | 13.2               | 2                    | 4.1  |
| 11               | 8.20               | 2.739    | 29.6                                   | 20.8               | 8.8                | 20   | 3              | 40    | 51   | 9       | 1870    | 15.0               | 0                    | 4.1  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 3              | 42    | 48   | 7       |         |                    |                      |      |
| 12               | 3.65               | 2.732    | 31.0                                   | 24.0               | 7.0                |  | 3              | 32    | 57   | 8       | 1850    | 13.5               | 3                    | 6.6  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 2              | 29    | 51   | 6       |         |                    |                      |      |
| 14               | 5.00               | 2.753    | 27.3                                   | 18.7               | 8.6                | 8  | 4              | 18    | 87   | 11      | 1740    | 18.0               | 0                    | 5.3  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 5              | 17    | 61   | 9       |         |                    |                      |      |
| 15               | 3.30               | 2.740    | 26.8                                   | 20.1               | 6.7                | 8  | 3              | 21    | 68   | 7       | 1073    | 13.5               | 1                    | 5.2  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 3              | 19    | 64   | 6       |         |                    |                      |      |
| 23               | 5.40               | 2.735    | 28.4                                   | 20.4               | 8                  | 6  | 2              | 23    | 63   | 11      | 1875    | 14.0               | 0                    | 3.7  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 2              | 26    | 63   | 9       |         |                    |                      |      |
| 25               | 5.00               | 2.792    | 20.0                                   | 18.5               | 1.5                | 4  | 2              | 25    | 62   | 7       | 1868    | 14.0               | 1                    | 5.4  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 2              | 25    | 62   | 7       |         |                    |                      |      |
| 27               | 5.00               | 2.748    | 28.0                                   | 19.1               | 8.9                | 17   | 8              | 51    | 37   | 4       | 1980    | 13.0               | 6                    | 6    |
| 29               | 5.00               | 2.778    | 22.0                                   | 18.4               | 3.6                |  | 7              | 42    | 31   | 3       |         |                    |                      |      |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 3              | 27    | 65   | 5       | 1855    | 14.5               | 7.5                  | 6.5  |
| 32               | 3.00               | 2.724    | 25.8                                   | 17.1               | 8.7                | 22   | 6              | 44    | 45   | 5       | 1975    | 13.5               | 1                    | 3    |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 6              | 34    | 34   | 4       |         |                    |                      |      |
| 33               | 5.00               | 2.767    | 25.8                                   | 21.9               | 3.9                |  | 5              | 27    | 59   | 9       | 1905    | 13.0               | 1.5                  | 5.6  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 10             | 26    | 53   | 7       |         |                    |                      |      |
| 34               | 5.20               | 2.789    | 27.5                                   | 19.9               | 7.6                | 3  | 1              | 36    | 53   | 10      | 1893    | 14.0               | 5                    | 5.8  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 13             | 36    | 52   | 8       |         |                    |                      |      |
| 15               | RAPIDA CONSOLIDADA |          |  |                    |                    | 23   | 9              | 39    | 42   | —       | 2012    | 11.4               | 3.5                  | 7.1  |
|                  |                    |          |  |                    |                    |  | 9              | 29    | 34   | 5       |         |                    | 22                   | 4    |

diámetro ( malla No 200 ) hasta granos mayores de 2 ".

Al preparar la muestra se separó y pesó la fracción mayor que la malla No 4 que ya ha sido preparada.

La cantidad de suelo requerido para este ensayo, depende de la cantidad de finos que contenga.

Suelos arcillosos y limosos..... 200 a 500 grs.

Suelos arenosos ..... 500 a 1000 "

## 2.- Análisis por vía húmeda - Hidrómetro.

Los porcentos de las partículas de tamaños inferiores a 0.074 ( malla No 200 ) se obtienen por medio de un análisis húmedo. El método más usado para hacer la determinación indirecta de los porcentajes de partículas menores que la malla No 200 es el del hidrómetro, basado en la sedimentación de un material en suspensión en un líquido. El hidrómetro sirve para determinar la variación de la densidad de la suspensión con el transcurso del tiempo y medir la altura de caída del grano de tamaño más grande correspondiente a la densidad medida.

Si se distribuye un gran número de granos de suelo en un líquido y se sumerge un hidrómetro, el empuje hidrostático ejercido en el bulbo, es igual al peso de la suspensión desalojada por el bulbo. El hidrómetro mide el promedio de la densidad de la suspensión desalojada por el bulbo. En la lectura del hidrómetro puede determinarse directamente el porcentaje de granos de suelo por peso, con relación a la concentración original, calibrando la escala del hidrómetro en gramos por litro.

El tamaño de los granos obtenido con el hidrómetro es el equivalente de una esfera cuya velocidad de caída sea igual a la del grano de suelo. El diámetro equivale a los granos para una lectura dada se obtiene de la ley de Stokes, considerando como altura de caída la distancia entre la superficie del líquido y el centro de flotación del bulbo. El centro de flotación es variable y no se comete un error grave, si en lugar de la distancia al centro de flotación se usa la distancia al centro de volumen del bulbo. La obtención de los diámetros equivalentes se puede

lograr por medio del nomograma de A. Casagrande.

### Densidad.

Se define como densidad relativa de un material a la relación entre el peso de los sólidos del material y el peso del volumen de agua que dichos sólidos desalojan.

En el caso de los suelos, la densidad se refiere al agua destilada a la temperatura de  $4^{\circ}$  C. Tratándose de gravas o piedras se determina con relación al agua limpia, a la temperatura ambiente, estando el material saturado y superficialmente seco.

El valor de la densidad que quede expresado por un número, además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayor parte de las pruebas y cálculo de la mecánica de suelos.

Para su determinación se hace uso de recipientes aforados llamados picnómetros, que generalmente son matraces calibrados a distintas temperaturas. Esta prueba se hace con material que ha pasado por la malla No. 4,

### Prueba de compactación - Proctor.

Un suelo se puede compactar a distintos pesos volúmetricos, variando el contenido de agua del mismo. Para un método de compactación dado el contenido de agua para el cual se obtiene el peso volumétrico máximo o "peso seco" óptimo, se llama humedad óptima.

Para determinar el "peso seco" óptimo de un suelo se compacta una muestra representativa del mismo, dentro de un cilindro de acero de capacidad conocida (procedimiento Proctor).

Dividiendo el peso del material seco entre la capacidad de cilindro, se encuentra el peso volumétrico. Sacando una parte de la muestra se determina el contenido de agua o humedad de la misma.

La operación de compactación se ejecuta cinco o seis veces, aumentando de una a otra la cantidad de agua de la muestra, de manera de establecer la relación entre el peso del material seco por unidad de volumen y el contenido de agua. El mayor peso volumétrico que se obtenga, será

el peso seco óptimo y el contenido de agua correspondiente a la humedad óptima.

Esta prueba se hace con material que ha pasado - por la malla No 4, tomando aproximadamente 2.5 kg. del mismo.

### Límites de consistencia.

Las propiedades plásticas de la arcilla pueden ser estudiadas por medio de pruebas simples. Las más usuales se denominan límites de consistencia.

Un suelo arcilloso con un alto contenido de agua, se comporta como líquido. Al perder agua, va aumentando la resistencia hasta tener un estado plástico fácilmente moldeable; al continuar el secado llega a adquirir un estado semi-sólido. Al continuar la pérdida de agua pasa al estado sólido.

Los cambios de estado se producen gradualmente y los límites fijados entre uno y otro se denominan límite líquido, límite plástico y de contracción. El primero fija el cambio entre el estado líquido y el plástico, el segundo entre el plástico y el semi-sólido y finalmente el tercero, el cambio entre el estado semi-sólido quebradizo al sólido de gran resistencia.

Este último límite es de poco interés práctico en la generalidad de los casos.

Estas pruebas de consistencia se hacen con material que ha pasado por la malla No 40.

### Permeabilidad.

Estas pruebas de laboratorio se ejecutan utilizando aparatos especiales llamados permeámetros, que pueden ser de carga constante o de carga variable. Las pruebas deben efectuarse a una temperatura lo más constante posible.

El permeámetro de carga constante, se utiliza para suelos relativamente permeables, tales como gravas, arenas y mezclas de arena y grava.

Este procedimiento consiste en someter la muestra del suelo a un escurrimiento de agua bajo una carga constan

te. Es necesario conocer el área de la sección transversal de muestra, su longitud, la carga a que está sometida y la temperatura del agua.

El permeámetro de carga variable se utiliza para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos relativamente impermeable, tales como arenas muy finas; mezclas de arena y limo; mezclas de arena, limo y arcilla; limos y arcillas.

### Determinación de la resistencia al esfuerzo cortante.

El diseño de estructuras de tierra, requiere el conocimiento de la resistencia al esfuerzo cortante del material que se pretende utilizar en la construcción. Esta resistencia se puede determinar mediante las pruebas de compresión triaxial.

La prueba de compresión triaxial proporciona la relación entre los esfuerzos normales a que está sujeta la masa de suelo y su resistencia al esfuerzo cortante.

En mecánica de suelos se ha adoptado el uso de la Ley de Coulomb para fijar la relación entre los esfuerzos normales y los cortantes.

La expresión de la Ley de Coulomb es la siguiente:

$$T = N \tan. \phi + C$$

en donde:

T = esfuerzo cortante que resiste el suelo cuando se le sujeta el esfuerzo N.

N = esfuerzo normal aplicado al suelo.

$\phi$  = ángulo de fricción interna.

C = cohesión

La prueba de compresión triaxial, permite obtener los valores del ángulo de fricción interna y de la cohesión.

La expresión anterior fija una relación lineal entre los esfuerzos tangenciales y normales; sin embargo, esta relación obtenida experimentalmente no siempre es lineal, por lo que para poder aplicar la fórmula, se adapta a la curva experimental obtenida, la recta que más se aproxima a ella, y de esta se obtienen los valores de  $\phi$  y  $C$ .

Los valores de  $\phi$  y  $C$ , varían de acuerdo con la técnica que se siga el desarrollo de la prueba de compresión triaxial, por lo cual es necesario fijar el tipo de prueba que se utiliza en cada caso.

Las pruebas triaxiales se pueden dividir en tres tipos:

Consolidadas lentas, consolidadas rápidas y rápidas sin consolidar.

Las consolidadas lentas son aquellas que se efectúan, permitiendo que para cada incremento de carga, la probeta tenga tiempo de adaptarse, es decir, dando tiempo para que el agua de la probeta fluya libremente hacia el exterior de la masa de suelo para cada carga. La carga se modifica hasta que el flujo del agua de la probeta ha cesado. Estas pruebas se hacen con el propósito de investigación, para conocer la resistencia real que tienen los granos sólidos del material, la forma en que se comporta el mismo cuando se permite un flujo completo del agua de sus vacíos, sus características de consolidación, etc.

Las pruebas consolidadas rápidas son aquellas que se efectúan en muestras que han sido sujetas a una presión uniforme durante el tiempo necesario para permitir el flujo total del agua que dicha carga es capaz de expulsar, aplicándole posteriormente una carga axial a contenido de humedad constante (drenaje cerrado) que se incrementa hasta la ruptura de la muestra.

Las pruebas rápidas no consolidadas proporcionan los valores de  $\phi$  y  $C$  más conservadores, por que no se permite que el agua que ocupa los vacíos de la probeta, fluya hacia el exterior de la masa de suelo en ningún momento de la prueba.

### Consolidación.

Todos los suelos se deforman cuando se someten a una carga. Existen tipos de suelos cuyas deformaciones son de tal magnitud y están de tal modo ligadas al tiempo, que es necesario conocer la ley que rige sus deformaciones si se quiere usar con fines estructurales.

La ley de consolidación que se aplica en la prueba se refiere a materiales saturados.

Un suelo saturado sometido a una carga soporta el esfuerzo producido por ella en la forma siguiente:

En el primer instante toda la carga la toma el agua que ocupa los vacíos del suelo, pero al fluir ésta hacia el exterior de la masa de suelo, debido a la presión a que está sujeta, parte de la carga se empieza a transmitir a los sólidos; la transmisión de la carga continúa en esta forma hasta que cesa la expulsión del agua; en estas condiciones los sólidos soportan la casi totalidad de la carga. Por consiguiente la deformación del suelo depende de dos causas; una debida a la expulsión del agua y la otra a la deformación y acomodo de las partículas sólidas. La deformación debida a la expulsión del agua, se denomina consolidación primaria, la debida a los sólidos consolidación secundaria.

La consolidación primaria es la que se ha estudiado con más detenimiento, no así la secundaria, cuyo estudio se encuentra en estado embrionario.

La prueba de consolidación tiene por objeto determinar las características de consolidación primaria, de ella se puede conocer el asentamiento total que bajo una carga sufrirá el suelo y el asentamiento que se tendrá en un tiempo cualquiera.

#### IV.- ANALISIS DE RESULTADOS.

Los resultados de un estudio de laboratorio como el que se describió en el capítulo anterior, deben interpretarse y correlacionarse correctamente para que sean de utilidad a los proyectistas y a los encargados del control de la calidad de los materiales durante la construcción.

Con fines de proyecto, los resultados deben analizarse para encontrar los tipos de suelo existentes y las propiedades representativas de ellos para utilizarlas en el diseño de la sección.

Los suelos en general pueden clasificarse, atendiendo exclusivamente a su granulometría, como areno-limos, areno-arcillosos, limo-arenosos, etc., según sea la preponderancia de los tipos básicos de tamaños de las partículas que entran en su composición granulométrica.

La clasificación granulométrica es conveniente, porque la prueba en que se basa es una de las primeras en efectuarse, dando en esta forma una idea del comportamiento de los materiales en el resto de las pruebas. Comunmente se observa una buena correlación entre la clasificación granulométrica y el resultado del resto de las pruebas para cada tipo de material, pero en ocasiones, una ó mas de las características no armoniza con la clasificación establecida. En estos casos, se adopta como criterio para definir el tipo de material, los resultados de las pruebas de esfuerzo cortante, puesto que en último análisis es primordialmente esta característica la que indica la calidad del material desde el punto de vista de la estabilidad de la estructura que se proyecta.

Este criterio solo es válido, si el material cumple con los requisitos básicos de permeabilidad adecuada y trabajabilidad.

En el caso especial de los materiales impermeables disponibles para la construcción del corazón impermeable de la cortina de la presa " Miguel Hidalgo, se encontraron dos tipos principales de suelo; los materiales

llamados de frontera y los que se denominan limosos.

En las gráficas adjuntas, los resultados de las pruebas de granulometría, proctor y esfuerzo cortante --- ( prueba rápida ) que se indican en el cuadro de resumen de características, se presentan gráficamente con el objeto de visualizar de una manera sencilla, las diferencias físicas y mecánicas de los materiales impermeables disponibles, clasificados por grupos de acuerdo con los valores de las características mencionadas.

En las curvas granulométricas de los materiales clasificados como materiales de frontera entre arena y limo se observó que estos materiales no son uniformes, por lo que no presentan el peligro de una falla por fluidificación. Los porcentos de arena y limo son casi iguales y las variaciones de los porcentos de grava, arena, limo y arcilla entre pozo y pozo son insignificantes como queda indicada por las rectas que representan los valores medios de los porcentajes anotados. La similitud de los materiales se vuelve a manifestar en los valores de  $\gamma$  y  $\omega$  y --- también en los de  $\phi$  y C, aunque en estos últimos ya se notan pequeñas diferencias. Tomando en cuenta la semejanza de estos materiales se puede adoptar, sin grave error, el promedio aritmético de sus propiedades como representativo del conjunto. Las líneas horizontales representan dichos valores, que son los siguientes:

Granulometría: 0 % de grava; 44 % de arena; 45 % de limo y 11 % de arcilla.

Compactación proctor:  $\gamma = 1791 \text{ kg/m}^3$ ;  $\omega = 16.2 \%$

Esfuerzo cortante ( prueba rápida ) :  $\phi = 7^\circ$ ; C = 3.7 Ton/m<sup>2</sup>

Estos materiales representan un volumen total de 635 000 m<sup>3</sup>

En las gráficas de los materiales clasificados como limosos por ser el porcentaje de limo el que predomina, se puede observar, que los valores de las características en este caso, si presentan una fuerte desviación con respecto al promedio. Esta circunstancia obliga a adoptar el criterio de la media pesada para definir los

# PERCA MIGUEL HIDALGO, SIN.

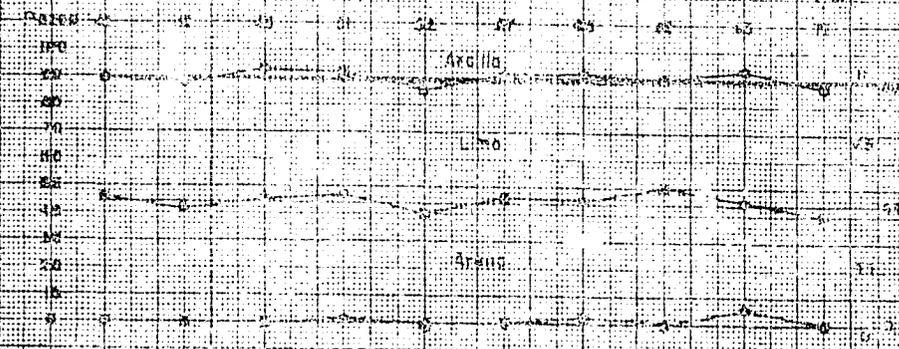
REPORTE DE TRABAJO ANTE MI R. Y E. C.

VOLUMEN 033,000 m<sup>3</sup>

## SEMANOMETRIA

R-1

R-2



## TEMPERATURA



## DESEMPEÑO CONTINUA

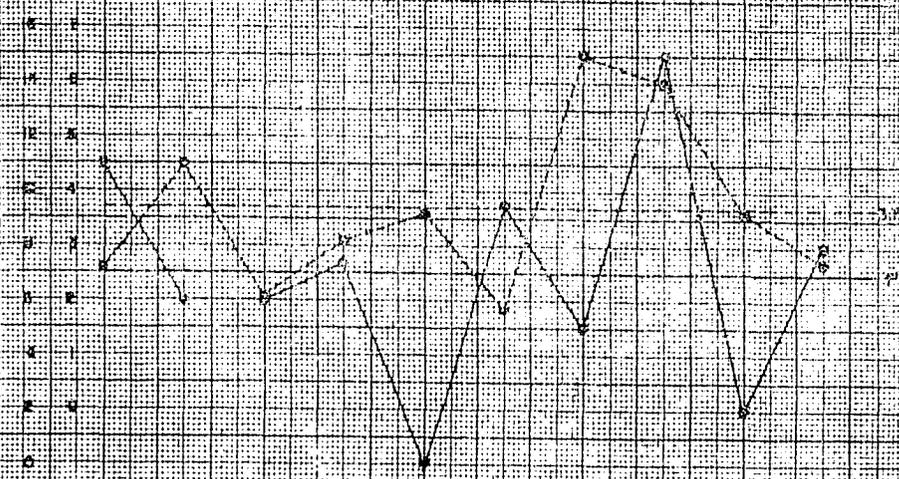


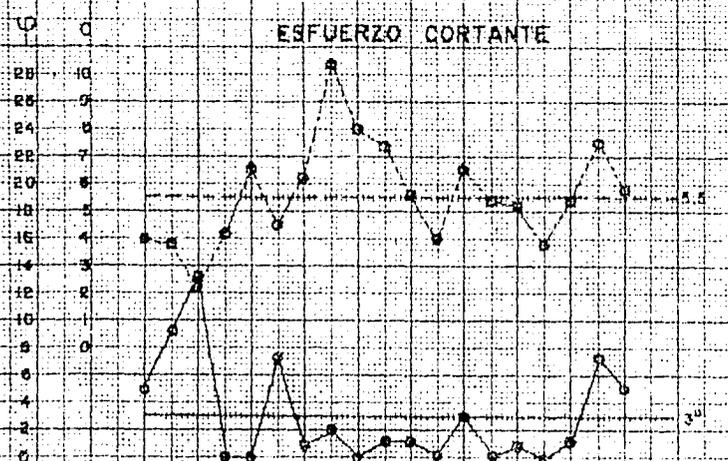
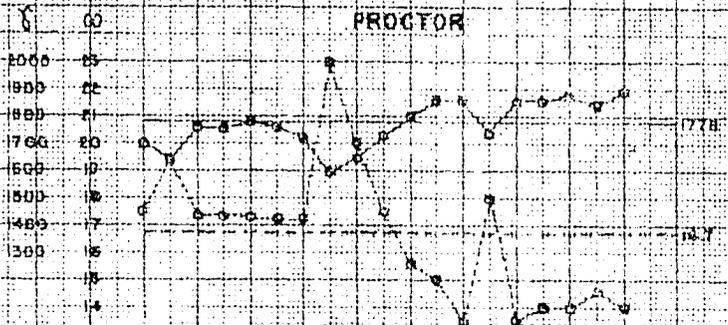
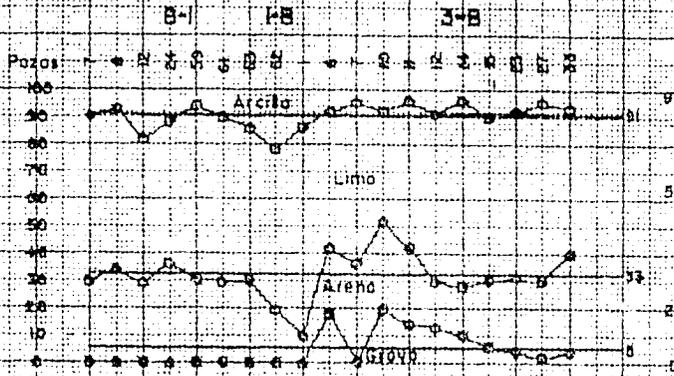
Grafico 1

# PRESA MIGUEL HIDALGO, SIN.

Materiales limosos

Volumen: 1200,000 m<sup>3</sup>

## GRANULOMETRÍA



Grafica 2

valores representativos de las características dibujadas ; también es conveniente determinar los promedios aritméticos, para compararlos con los de la media pesada. Dichos promedios se anotan en las horizontales que los representan y son los siguientes:

Granulometría: 5 % de grava, 28 % de arena, 58 % de limo y 9 % de arcilla.

Compactación proctor:  $\rho = 1778 \text{ kg/m}^3$  ;  $\omega = 16.7 \%$

Esfuerzo cortante ( prueba rápida ) :  $\phi = 3^\circ$  ;  $C = 5.5 \text{ Ton/m}^2$

Estos materiales representan un volumen aproximado de  $1\ 205\ 000 \text{ m}^3$  que resulta ser el mayor para un solo tipo de material.

Los dos tipos de suelo anteriores son los mas abundantes y por lo tanto los que regirán el diseño de la cortina.

## V.- CONTROL DE LOS MATERIALES DURANTE LA CONSTRUCCION.

Durante la construcción de la obra se llevará un control de los materiales de la zona impermeable por medio de la comparación de los resultados obtenidos en el laboratorio durante la etapa de estudio, con los obtenidos en el terraplén con las pruebas de control. Las características de los materiales obtenidas de las pruebas de control deben ser semejantes o iguales a las señaladas en el capítulo de análisis de resultados.

Una vez clasificados los materiales como se indicó en el capítulo IV, se procede a vaciar en una sola gráfica todas las curvas granulométricas, curvas proctor y envolventes de Mohr de las pruebas rápidas de los materiales de un mismo tipo con el objeto de observar de conjunto el comportamiento de los materiales en relación con las pruebas correspondientes. Estos resúmenes de curvas se pueden tomar como guía durante el control de los materiales para definir la clase de material que está de acuerdo con las características que se determinaron en el estudio y se tomaron en cuenta en el proyecto.

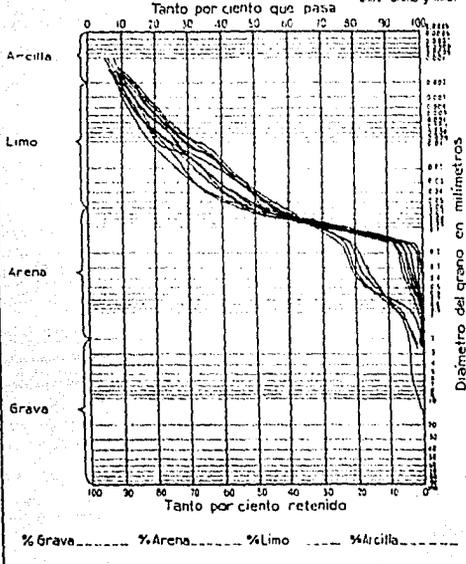
Cada tipo de material tendrá distinto comportamiento para las distintas características físicas estudiadas, por lo que las curvas correspondientes se agrupan por tipo de suelo. En las gráficas adjuntas se muestran las curvas granulométricas de los materiales de frontera y limosos, así como las de la prueba proctor de compactación y las envolventes de Mohr de las pruebas rápidas y rápidas consolidadas de los mismos materiales.

### Utilidad de las gráficas.

Las gráficas de granulometría sirven para seleccionar los materiales que se utilizarán en el corazón impermeable de la presa; para esto es indispensable que el

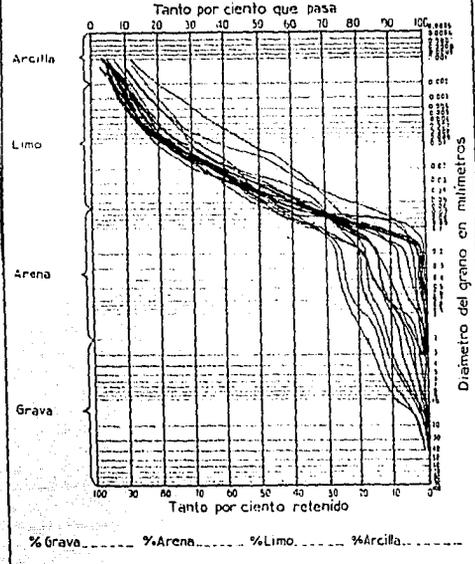
### ANALISIS GRANULOMETRICO

Proyecto Pres. Miguel Hidalgo... Sa. Pozo 4, 42, 45, 51, 51.4, 62, 62.6, 72, 81  
 Operador B.I. y J.B. Bancos B.I. y J.B.  
 Fecha Marzo/53 Clasificación Materia de Suelo  
entre arena y lina.



### ANALISIS GRANULOMETRICO

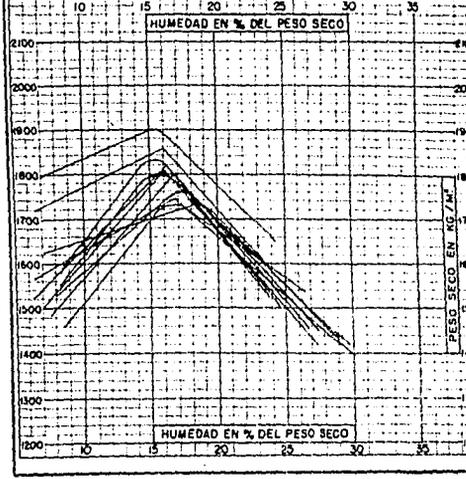
Proyecto Pres. Miguel Hidalgo... Sa. Pozo 1, 12, 24, 33, 41, 63, 62, 113, 110, 114  
 Operador B.I. y J.B. Bancos B.I. y J.B.  
 Fecha Marzo/53 Clasificación Limosas



### ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR

Obra Pres. Miguel Hidalgo... Sa. Préstamos B.I. y J.B. Pozo  
 Muestra integral  Muestra parcial  Elev. 5m  
 Operador B.I. y J.B. Fecha Abril de 53

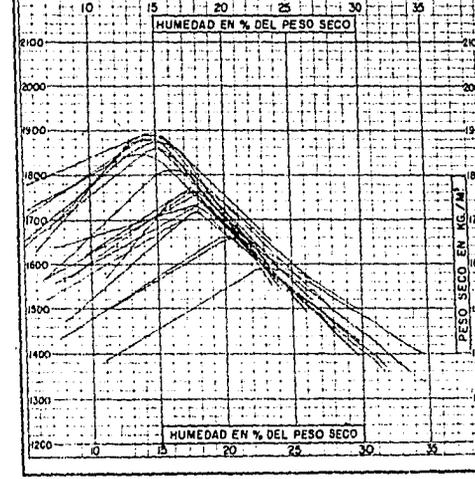
ANALISIS GRANULOMETRICO CLASIFICACION MIT. NOTAS  
 Material que pasa la malla N° 4  
 Arena... Limpio... Arcilla... Densidad de solidos...  
 Compactación... 20... golpes por capa  
 Capas... 3  
 Peso del martillo... 2.250 kg.  
 Altura de caída... 45 cm.



### ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR

Obra Pres. Miguel Hidalgo... Sa. Préstamos B.I. y J.B. Pozo  
 Muestra integral  Muestra parcial  Elev. 5m  
 Operador B.I. y J.B. Fecha Abril de 1953

ANALISIS GRANULOMETRICO CLASIFICACION MIT. NOTAS  
 Material que pasa la malla N° 4  
 Arena... Limpio... Arcilla... Densidad de solidos...  
 Compactación... 20... golpes por capa  
 Capas... 3  
 Peso del martillo... 2.250 kg.  
 Altura de caída... 45 cm.





laboratorio de campo complete el estudio de los préstamos por medio de pruebas índice, haciendo nuevos muestreos en los sitios convenientes, para estar en condiciones de conocer detalladamente las áreas y espesores de cada tipo de material cuyas características se ajustan a las que sirvieron de base para el diseño o que se aprobaron para utilizarse de acuerdo con el estudio previo efectuado en el laboratorio.

De las gráficas de compactación se obtienen además del peso volumétrico que se usará en los cálculos de estabilidad, el peso volumétrico óptimo que sirve como base para el control de la compactación y la humedad óptima que indica cual debe ser la humedad con la que el equipo de compactación de mayor rendimiento; además hay que comprobar haciendo las pruebas con el material ya colocado por medio de "calas" en el terraplén que indicarán si los métodos constructivos especificados son correctos o hay que hacer algunas modificaciones para lograr que las características del material en las terracerías correspondan a las obtenidas en el laboratorio. Con los resultados de las pruebas efectuadas con los materiales de las "calas", es necesario construir gráficas semejantes a las que se presentan en los anexos anteriores, para ir definiendo a medida que avanza la construcción de la estructura, el tipo de material que ha entrado a formar parte de ella.

## VI.- DISEÑO DE LA CORTINA - ANALISIS DE ESTABILIDAD.

### Diseño de la Cortina.

El diseño de una cortina de tierra desde el punto de vista de materiales de construcción, está basado en las propiedades de los mismos.

Al considerar las características que deben tomarse en cuenta en el diseño de la sección de la cortina, es necesario llegar a definir aquéllas que sean representativas de los materiales en conjunto, o de la mayor parte de ellos. En el presente caso como ya se dijo, se ha considerado únicamente a los materiales de frontera y a los limosos, que son los grupos que representan los volúmenes más considerables de un tipo de material.

Para llegar a definir dichas características, existen tres criterios diferentes:

1.- El de la "media aritmética", que es aplicable cuando la profundidad del banco es uniforme, o las características de los diferentes pozos son enteramente similares.

2.- El de la "media pesada", que considera que las características de cada pozo en particular, pesan en relación directa del volumen de material que razonable puede considerarse bajo su influencia. Se conoce la profundidad de cada pozo, pero no su área de influencia; por lo tanto, es necesario dividir arbitrariamente a los préstamos en zonas de influencia correspondientes a cada pozo, que se trazan procurando seguir la forma más lógica posible. Una vez divididos así los préstamos, se consideran los volúmenes correspondientes a cada pozo y se calculan las características mecánicas correspondientes, dividiendo a la suma de productos de cada valor por cada volumen entre el volumen total de la zona o del banco. Este criterio

resulta aplicable cuando los préstamos tienen diferencias de profundidad, o bien, cuando a pesar de que se trate de un mismo tipo de material haya diferencias apreciables en las características correspondientes a cada uno de los pozos.

Cualquiera de estos dos criterios puede aplicarse en el caso de que el estudio hecho de los materiales nos permita conocerlos perfectamente y cuando durante la construcción se va a efectuar un control muy riguroso de la calidad del producto.

3.- Cuando se tienen pocos conocimientos de los materiales, o poca confianza en la manera de efectuar el control de la construcción, es aconsejable, para estar del lado de la seguridad, adoptar los valores mínimos que resulten de las pruebas de laboratorio.

En el caso de los materiales de la Presa "Miguel Hidalgo", puede considerarse que el criterio de la media aritmética es apropiado al aplicarlo a los materiales de frontera y que el criterio de la media pesada es el correcto cuando se trata de los materiales limosos como se muestra en el cuadro adjunto. Además, también se juzga necesario tomar en cuenta los valores mínimos para considerar los en los análisis de estabilidad.

De acuerdo con lo anterior, las características que deben considerarse en el diseño de acuerdo con el tipo de material y los criterios señalados son las siguientes:

Materiales de frontera: ( media aritmética)

$$S_s = 2.674; \quad \omega = 16.2 \% ; \quad C = 3.7 \text{ Ton/ m}^2$$

$$\gamma = 1791 \text{ kg./ m}^3 \quad ( 95 \% \text{ de la Proctor } ) ; \phi = 7^\circ$$

Materiales limosos - Banco 1. (Media pesada )

$$S_s = 2.668; \quad \omega = 17.6 \% ; \quad C = 4.4 \text{ Ton/ m}^2$$

$$\gamma = 1732 \text{ kg/ m}^3 \quad ( 95 \% \text{ de la Proctor } ) ; \phi = 5.3^\circ$$

**CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DE LOS MATERIALES APLICANDO EL CRITERIO DE LA MEDIA PESADA**

| BANCO                   | POZO      | PROF<br>m. | AREA<br>m <sup>2</sup> | VOLUMEN<br>m <sup>3</sup> | DENSIDAD<br>Ss. | PESO<br>γ<br>Kg/m <sup>3</sup> | HUMEDAD<br>ω | ANGULO<br>DE<br>FRICCION<br>φ | COHESION<br>C<br>Ton/m <sup>2</sup> | VOL.-Ss   | VOL.-γ        | VOL.-ω        | VOL.-φ     | VOL.-C    |           |
|-------------------------|-----------|------------|------------------------|---------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------|---------------|------------|-----------|-----------|
| 1                       | 7         | 6.00       | 48 700                 | 262 200                   | 2.650           | 1.715                          | 17.6         | 5°                            | 4                                   | 694 830   | 449 673 000   | 4 614 720     | 1 311 000  | 1 048 800 |           |
|                         | 8         | 3.80       | 17 100                 | 54 980                    | 2.660           | 1.655                          | 19.6         | 9                             | 3.8                                 | 172 847   | 107 541 900   | 1 273 608     | 584 820    | 246 924   |           |
|                         | 12        | 5.00       | 23 000                 | 115 600                   | 2.671           | 1.160                          | 17.5         | 13                            | 2.2                                 | 307 165   | 202 400 000   | 2 012 500     | 1 495 000  | 253 000   |           |
|                         | 24        | 2.30       | 12 700                 | 29 210                    | 2.690           | 1.765                          | 17.5         | 0                             | 1.2                                 | 76 515    | 51 555 650    | 511 175       | 0          | 122 682   |           |
|                         | 39        | 5.00       | 21 400                 | 107 000                   | 2.691           | 1.715                          | 17.3         | 0                             | 6.5                                 | 287 931   | 189 925 000   | 1 851 100     | 0          | 695 500   |           |
|                         | 61        | 4.50       | 14 300                 | 64 150                    | 2.654           | 1.762                          | 17.3         | 7.5                           | 4.4                                 | 170 785   | 113 384 700   | 1 113 255     | 482 625    | 283 140   |           |
|                         | 63        | 3.50       | 32 600                 | 114 800                   | 2.693           | 1.790                          | 17.3         | 1                             | 6.2                                 | 309 156   | 197 456 000   | 1 966 040     | 114 800    | 711 760   |           |
|                         | Suma      |            |                        | 165 000                   | 751 540         |                                |              |                               |                                     |           | 2 021 795     | 1 311 936 750 | 13 332 704 | 3 988 245 | 3 361 806 |
|                         | Promedios |            |                        |                           |                 | 2.666                          | 1.732        | 17.6                          | 5.3°                                | 4.4       |               |               |            |           |           |
|                         | 3-B       | 1          | 5.00                   | 14 400                    | 72 000          | 2.288                          | 1.655        | 20.0                          | 0                                   | 8         | 200 736       | 119 232 000   | 1 540 000  | 0         | 576 000   |
| 12                      |           | 3.85       | 10 000                 | 38 500                    | 2.732           | 1.740                          | 18.0         | 0                             | 5.3                                 | 105 182   | 66 990 000    | 693 000       | 0          | 240 500   |           |
| 7                       |           | 2.40       | 8 800                  | 21 120                    | 2.769           | 1.810                          | 15.8         | 1                             | 5.6                                 | 58 481    | 38 237 200    | 333 696       | 21 120     | 118 272   |           |
| 11                      |           | 5.20       | 11 100                 | 57 720                    | 2.739           | 1.850                          | 15.5         | 2                             | 6.6                                 | 158 095   | 106 782 000   | 779 220       | 171 160    | 380 952   |           |
| 6                       |           | 4.90       | 6 900                  | 33 810                    | 2.717           | 1.735                          | 17.5         | 1                             | 7.4                                 | 91 861    | 58 460 350    | 591 675       | 33 810     | 250 194   |           |
| 10                      |           | 4.00       | 6 400                  | 25 600                    | 2.744           | 1.870                          | 15.0         | 0                             | 3.1                                 | 70 246    | 47 872 000    | 384 000       | 0          | 104 900   |           |
| 14                      |           | 5.00       | 8 100                  | 40 500                    | 2.755           | 1.873                          | 13.5         | 0                             | 3.2                                 | 111 496   | 75 856 500    | 516 750       | 0          | 170 100   |           |
| 15                      |           | 3.30       | 6 800                  | 22 440                    | 2.748           | 1.875                          | 14.0         | 0                             | 3.7                                 | 61 665    | 42 075 000    | 336 600       | 0          | 83 028    |           |
| 32                      |           | 3.00       | 108 000                | 32 400                    | 2.754           | 1.905                          | 13.0         | 1.5                           | 5.6                                 | 88 257    | 61 722 000    | 421 200       | 48 600     | 181 440   |           |
| 23                      |           | 5.40       | 5 300                  | 28 620                    | 2.721           | 1.888                          | 14.0         | 1                             | 5.4                                 | 78 276    | 51 034 560    | 400 680       | 28 620     | 154 548   |           |
| 27                      |           | 5.00       | 5 100                  | 25 500                    | 2.748           | 1.855                          | 14.5         | 7.5                           | 6.5                                 | 70 071    | 47 302 500    | 369 750       | 191 250    | 174 750   |           |
| 32                      |           | 5.00       | 9 900                  | 49 500                    | 2.767           | 1.893                          | 14.0         | 5                             | 5.8                                 | 136 966   | 93 703 500    | 693 000       | 247 500    | 287 100   |           |
| Suma                    |           |            | 103 600                | 447 710                   |                 |                                |              |                               |                                     | 1 226 437 | 812 457 610   | 6 989 571     | 741 060    | 2 721 764 |           |
| Promedios               |           |            |                        |                           | 2.739           | 1.815                          | 15.6         | 1.66°                         | 6.1                                 |           |               |               |            |           |           |
| Total (Bco 1 f Bco 2-3) |           |            |                        |                           |                 |                                |              |                               |                                     | 3 247 732 | 2 124 393 860 | 20 322 275    | 4 732 305  | 6 083 590 |           |
| Promedios               |           |            |                        |                           |                 |                                |              |                               |                                     | 2.695     | 1.763         | 16.9          | 3.93°      | 5.05      |           |

Materiales limosos - Banco 3. ( Media pesada )

$$S_s = 2.739; \quad \omega = 15.6 \% ; \quad C = 6.1 \text{ Ton/m}^2$$

$$\gamma = 1815 \text{ kg/m}^3 \quad ( 95 \% \text{ de la Proctor } ) ; \quad \phi = 1.66^\circ$$

Características más desfavorables:

$$S_s = 2.668 ; \quad \omega = 17.6 \% ; \quad C = 4 \text{ Ton/m}^2$$

$$\gamma = 1732 \text{ kg/m}^3 ; \quad \phi = 0^\circ$$

Lo anterior se refiere únicamente a los materiales que constituyen el corazón impermeable de la sección. Sin embargo los terraplenes están constituidos en gran parte por materiales pétreos, cuyas características, que no se obtienen en el laboratorio, se suponen basándose en experiencias previas. En el presente caso, en la mayoría de los análisis de estabilidad efectuados, se supusieron para los materiales pétreos las siguientes características:

$$\gamma = 1600 \text{ kg/m}^3 ; \quad \phi = 45^\circ ; \quad c = 0$$

Para el ángulo de fricción interna fueron considerados más tarde en los análisis de estabilidad además del valor de  $45^\circ$ , los valores de  $40^\circ$  y  $35^\circ$ .

La elección de la sección de la cortina depende además de las propiedades de los materiales, de la cantidad disponible de los mismos.

En caso de haber restricción del material para la zona impermeable, la estabilidad de la sección estará gobernada por los materiales pétreos. En caso contrario, los materiales pétreos llenarían solamente una función de revestimiento, y el talud exterior estaría determinado por el del corazón impermeable.

En caso de haber material suficiente tanto para el corazón como para la zona de transición y el enrocamiento, se buscará la sección más económica.

En algunos casos se incluye una zona de transición de material de rezaga de enrocamiento entre el corazón y el enrocamiento en caso de ser aceptable por razones de funcionamiento y económicas.

En el plano No 4, se indican las superficies de falla analizadas para las dos condiciones críticas de trabajo, de la alternativa de la sección máxima de la cortina para la elevación 142.00 que aparentemente será la que se adopte; en dicha figura aparecen las propiedades mecánicas de los materiales y también los factores de seguridad correspondientes. La sección es estable siendo también la más económica.

En el plano No 5, se muestra la posición del círculo más desfavorable, así como sus factores de seguridad y las propiedades mecánicas de los materiales con los cuales fue analizado.

En el plano No 6, se muestran para la misma sección las redes de flujo correspondientes a la condición crítica en ambos taludes; vaciado rápido en el talud aguas arriba y presa llena en el talud aguas abajo.

En el plano No 7, se muestra la misma sección pero estudiada por efecto de temblor considerando una relación de aceleraciones:

$$\frac{a}{g} = 0.1$$

### Análisis de estabilidad.

En el presente estudio el método usado para analizar las condiciones de esfuerzo en el interior de la presa es el método sueco.

Para la resolución de la estabilidad de taludes por este método se ha partido de las siguientes suposiciones:

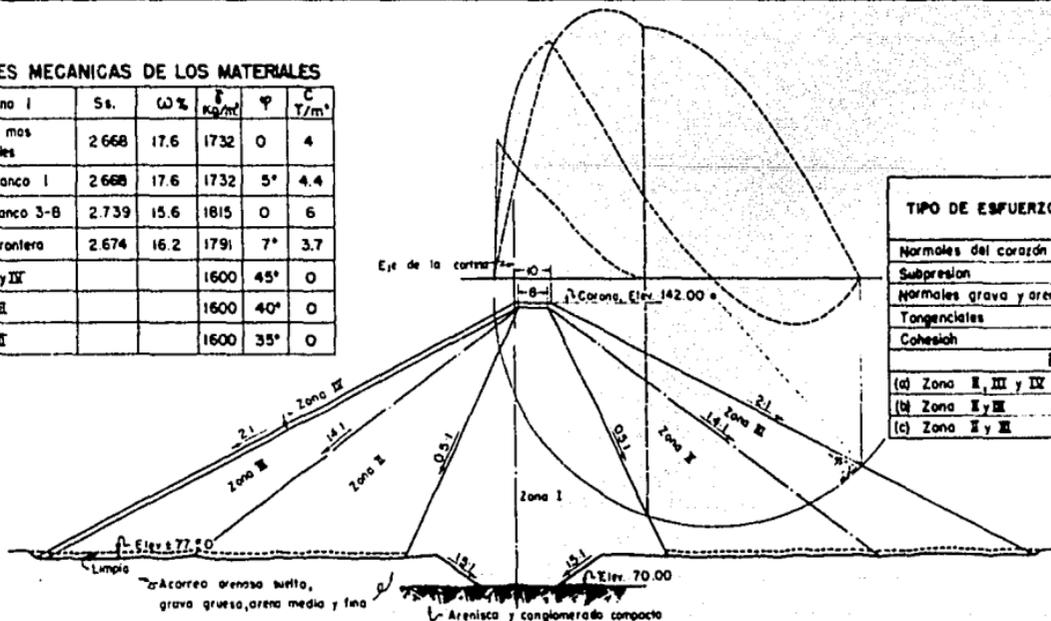
a).- Que la rotura se verifica según una superficie deslizante en toda la cual se han sobrepado las condiciones de equilibrio estático.

b).- Que la superficie de falla es la que dentro



PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MATERIALES

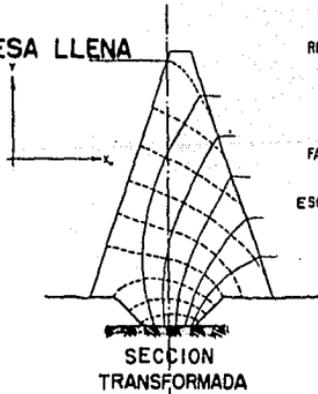
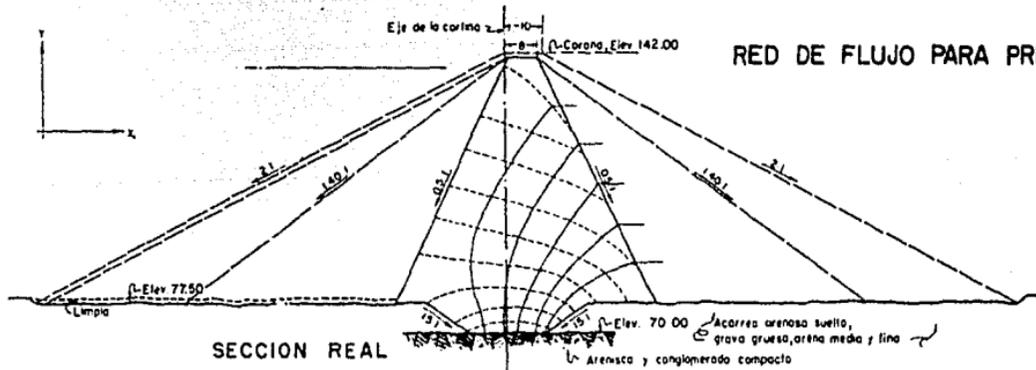
| Material                         | Zona I            | Ss.   | ω%   | ρ Kg/m <sup>3</sup> | φ   | C T/m <sup>2</sup> |
|----------------------------------|-------------------|-------|------|---------------------|-----|--------------------|
| A) Condiciones mas desfavorables |                   | 2 668 | 17.6 | 1732                | 0   | 4                  |
| B) Limasos                       | Banco I           | 2 668 | 17.6 | 1732                | 5°  | 4.4                |
|                                  | Banco 3-B         | 2 739 | 15.6 | 1815                | 0   | 6                  |
| C) Material de frontera          |                   | 2 674 | 16.2 | 1791                | 7°  | 3.7                |
| a)                               | Zona II, III y IV |       |      | 1600                | 45° | 0                  |
| b)                               | Zona II y III     |       |      | 1600                | 40° | 0                  |
| c)                               | Zona II y III     |       |      | 1600                | 35° | 0                  |



| TIPO DE ESFUERZO       | AREA DEL PLAN-METRO | MATERIALES PARA EL CORAZON |         |           |        |
|------------------------|---------------------|----------------------------|---------|-----------|--------|
|                        |                     | A                          | Banco I | Banco 3-B | C      |
| Normales del corazon   |                     | 2042.3                     | 2042.3  | 2111.1    | 1855.8 |
| Subpresion             | 0.00093             | 595.2                      | 595.2   | 595.2     | 595.2  |
| Normales grava y arena | 0.0036              | 2304.0                     | 2304.0  | 2304.0    | 2304.0 |
| Tangenciales           |                     | 1513.5                     | 1513.5  | 1564.5    | 1375.3 |
| Cohesion               |                     | 244.0                      | 268.4   | 366.0     | 225.7  |
| FACTORES DE SEGURIDAD  |                     |                            |         |           |        |
| (a) Zona II, III y IV  |                     | 1.68                       | 1.78    | 1.71      | 1.95   |
| (b) Zona II y III      |                     | 1.44                       | 1.54    | 1.47      | 1.68   |
| (c) Zona II y III      |                     | 1.23                       | 1.33    | 1.26      | 1.45   |

PLANO N° 5

PRESA MIGUEL HIDALGO  
 CUENCA DEL RIO FUERTE, EL FUERTE, SM.  
 CALCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES  
 CIRCULO CRITICO

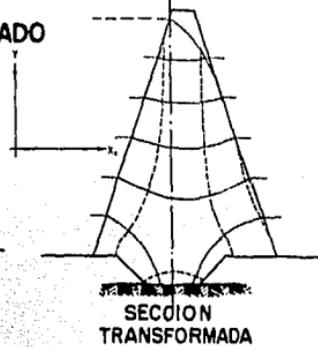
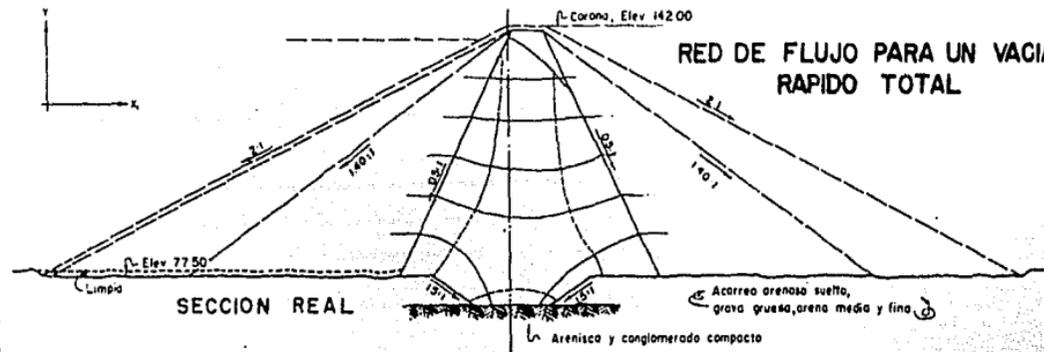


RELACION DE PERMEABILIDADES  
 $\frac{K_2}{K_1} = \frac{1}{2}$

FACTOR DE TRANSFORMACION = 0.7071

ESCALA DE TRANSFORMACION  $\frac{x_2}{x_1} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

ESCALA 1:800



PLANO N° 6

PRESA "MIGUEL HIDALGO"

CUENCA DEL RIO FUERTE, EL FUERTE, SIN.

REDES DE FLUJO



de la cortina corresponde a un cilindro de revolución de eje horizontal, efectuándose el deslizamiento del material que se encuentra sobre la superficie de falla como si fuese una masa sólida que girara alrededor del eje del cilindro, produciéndose simultáneamente iguales desplazamientos en todos los puntos de la superficie de deslizamiento.

c).- Que en todos y cada uno de los puntos de la superficie de falla obra una carga, que corresponde al peso total de la columna vertical que comprende los diversos materiales de la sección que queden incluidos desde su base en la superficie de falla hasta su remate en el talud exterior.

d).- Que al analizar el deslizamiento en un tramo de cortina de longitud unitaria no obran otras fuerzas pasivas que no sean las localizadas en la superficie de falla, y que las fuerzas activas son: el peso de los materiales incluidos en la zona deslizante, la subpresión, y en su caso la carga de aceleración debida a temblor.

Antes de iniciar el estudio de la cortina desde el punto de vista de la estabilidad, se delinearán el orden a seguir del procedimiento en el diseño y en el análisis, de dos casos que se consideran críticos:

- 1.- Funcionamiento inicial.
- 2.- Funcionamiento final.

Primer caso.- El funcionamiento inicial se considera cuando se supone que al terminar la construcción de una cortina, el material de la zona impermeable, ha permanecido en el estado de densidad que se logró durante su compactación, pero que ya se ha saturado, y que la estructura se ve sujeta a fuerzas exteriores tan rápidas, que no permiten que se disipen los excesos de presión hidrostática que generan. Estas condiciones quedan representadas por la prueba de laboratorio llamada triaxial rápida.

Para este caso el procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1.- Suponer para la sección máxima de la cortina una sección dada en tierra.
- 2.- Suponer aguas arriba y aguas abajo, un talud superior al correspondiente dado en tierra - ( de la sección anterior) para el enrocamiento.
- 3.- Homogeneizar la sección ( si se quiere)
- 4.- Cálculo de la estabilidad de los taludes.
  - a).- Trazo de la superficie de falla.
  - b).- Trazo de la curva de esfuerzo normal.
  - c).- Trazo de la curva de esfuerzo tangencial.
  - d).- Medición del área comprendida entre la horizontal y las curvas de los esfuerzos normales y tangenciales.
  - e).- Obtención de los esfuerzos normales y tangenciales.
  - f).- Obtención de la longitud de la superficie de falla ( solo en la zona impermeable de la cortina ).
  - g).- Determinación del factor de seguridad.

Segundo caso.- El funcionamiento final se considera cuando se supone que la estructura no se ve sujeta a un juego de fuerzas exteriores capaces de producir una condición de falla a contenido de humedad constante, hasta que tuvo tiempo de consolidarse bajo su propio peso. Además en este caso, debido a que los distintos puntos de la zona impermeables de la estructura se han consolidado bajo

diferentes presiones, las fuerzas exteriores ya tienen influencia en la resistencia al esfuerzo cortante del material, y es indispensable considerar el efecto del agua en movimiento como fuerza exterior. Estas condiciones quedan representadas por la prueba de laboratorio llamada triaxial rápida consolidada.

Para tomar en cuenta el efecto del agua en movimiento, se construyen las redes de flujo para dos condiciones que se consideran críticas para los taludes aguas arriba y aguas abajo respectivamente.

Estos dos casos son:

- A.- Depósito vacío, presa saturada descenso rápido.
- B.- Depósito lleno, presa saturada.

Sin embargo, en la parte del efecto del agua se hace una simplificación, que consiste en considerar que actúa normalmente a la superficie de falla y en realidad, la acción del agua es una fuerza dirigida que puede ir a favor o en contra de la estabilidad del talud en los distintos puntos de una superficie de falla.

Los pasos a seguir para este segundo caso son los siguientes:

- A.- Depósito vacío:
  - 1.- Suponer para la sección máxima de la cortina una sección dada en tierra.
  - 2.- Suponer aguas arriba y aguas abajo, un talud superior al correspondiente dado en tierra (de la sección anterior), para el enrocamiento.
  - 3.- Trazar la sección transformada correspondiente a la sección dada en tierra.
  - 4.- Trazo de la línea de saturación en la sección transformada y fijación de las fronteras.

- 5.- Trazo de la red de flujo para un vaciado rápido total, en la sección transformada.
- 6.- Distorsión de la red de flujo de la sección transformada a la sección real.
- 7.- Homogeneizar la sección. (si se quiere )
- 8.- Cálculo de la estabilidad del talud aguas -- arriba.
  - a).- Trazo de la superficie de falla.
  - b).- Trazo de la curva de esfuerzo normal.
  - c).- Trazo de la curva de esfuerzo tangencial.
  - d).- Trazo de la curva del diagrama de sub-- presión.
  - e).- Medición del área comprendida entre la horizontal y las curvas de los esfuerzos normales, tangenciales y subpresión.
  - f).- Obtención de los esfuerzos normales, tan-- genciales y subpresión.
  - g).- Obtención de la longitud de la superfi -- cie de falla ( sólo en la zona impermea -- ble de la cortina ).
  - h).- Determinación del factor de seguridad -- del talud aguas arriba.
- B.- Depósito lleno:
  - 9.- Trazo para la misma sección transformada de tierra, de la red de flujo para presa llena.
  - 10.- Distorsión de la red de flujo de la sección transformada a la sección real.

- 11.- Homogeneizar la sección. ( Si se quiere ).
- 12.- Cálculo de la estabilidad del talud aguas abajo.
  - a).- Trazo de la superficie de falla.
  - b).- Trazo de la curva de esfuerzo normal.
  - c).- Trazo de la curva de esfuerzo tangencial.
  - d).- Trazo del diagrama de subpresión.
  - e).- Medición del área comprendida entre la horizontal y las curvas de esfuerzos normales, tangenciales y subpresión.
  - f).- Obtención de los esfuerzos normales, tangenciales y subpresión.
  - g).- Obtención de la longitud de la superficie de falla ( sólo en la zona impermeable de la cortina ).
  - h).- Determinación del factor de seguridad aguas abajo.

Si una vez desarrollado todo el proceso anterior, el factor de seguridad hallado no es aceptable, se supondrá otra sección y se repetirá el cálculo.

Es necesario suponer varias secciones hasta que se obtenga un factor de seguridad aceptable, y en cada una de ellas, el proceso para obtener el factor de seguridad se repite varias veces, en ambos taludes variando la superficie de falla, determinando así la posición del círculo crítico o sea el factor de seguridad mínimo admisible.

### Descripción del método.

Considérese una sección supuesta por analizar, - Fig. 1, en la que ya se ha trazado el círculo de falla, - que representa la zona de deslizamiento sobre la cual se supone que va a deslizar la cuña que limita dicho círculo. En seguida se eligen los puntos más sobresalientes ( banquetas quiebres, etc.) del talud exterior bajando por --- ellos unas verticales que dividen la cuña en varias partes, sobre estas verticales se considera una columna de ancho  $dx$  y de profundidad unitaria ( normal al plano del papel).

Midiendo la altura  $h$  de dicha columna comprendida entre el círculo de falla y el talud exterior y multiplicando esta altura por el peso volumétrico del material y por el ancho de la faja considerada, se obtiene el peso de la columna de ese material: Este valor será:

$$dw = \gamma h dx$$

siendo  $\gamma$  el peso volumétrico del material.

El valor obtenido del producto  $\gamma h$  se llevará a - continuación sobre la prolongación de las verticales a -- partir del círculo de falla, representado por una fuerza, la cual se descompone en sus dos componentes, una tangente al círculo y otra normal a ésta. La componente tangente al círculo es la fuerza que tiende a provocar el deslizamiento de la cuña y la componente normal junto con la - cohesión del material serán las que se opongan a este deslizamiento.

El valor de estas componentes es:

$$\text{la normal: } n = \gamma h \cos \theta \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{la tangencial: } t = \gamma h \sin \theta \quad \dots\dots(2)$$

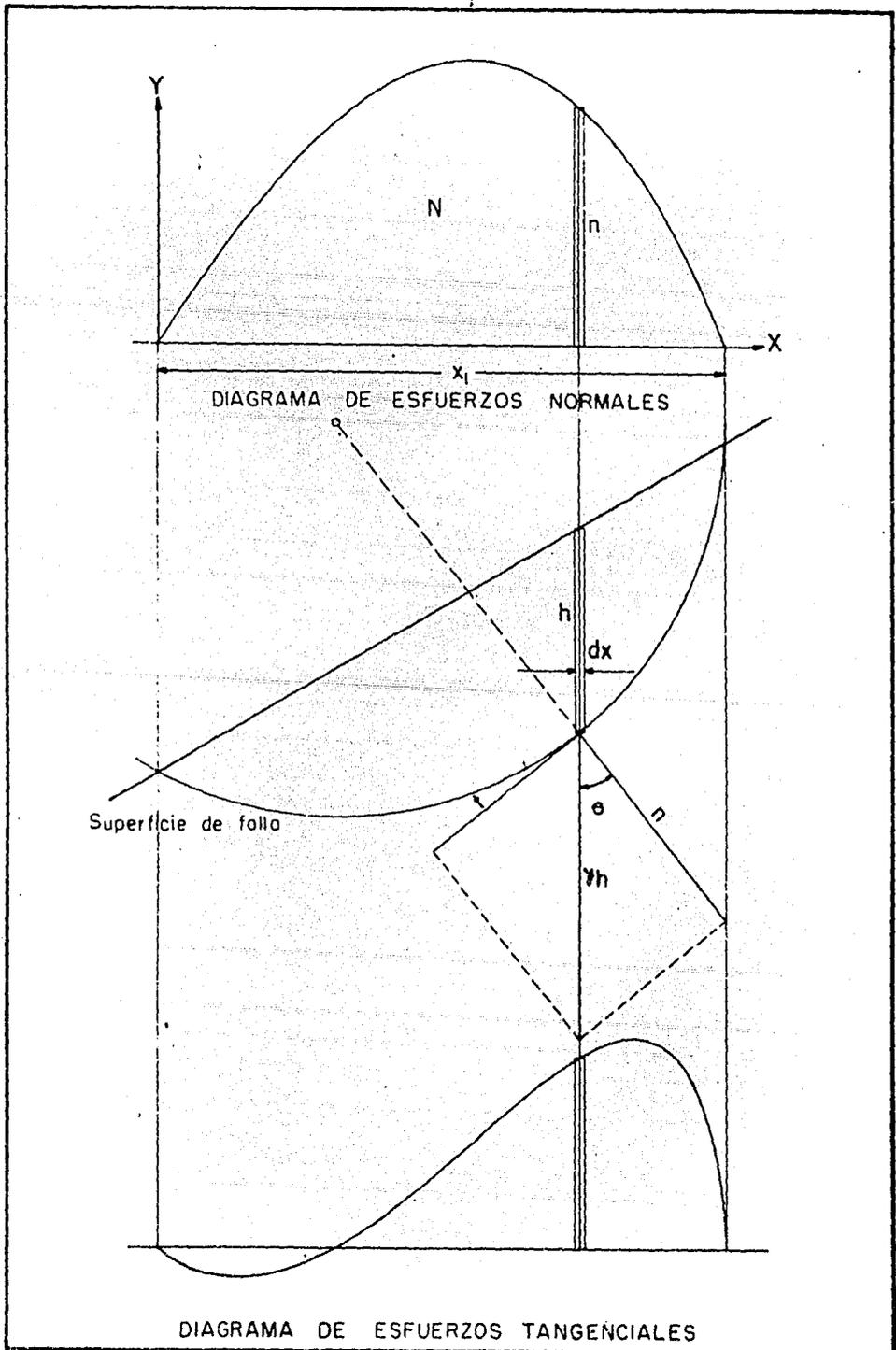


FIG. N° 1

siendo  $\theta$  el ángulo formado por la componente normal con la vertical.

Los valores de las componentes normales se trazarán a partir de una horizontal que servirá de base al diagrama así trazado y que representa el valor del esfuerzo normal.

El valor de este esfuerzo será :

Multiplicando los dos miembros de la ecuación (1) por  $dx$  se tiene:

$$n \, dx = \gamma h \, dx \cos \theta$$

haciendo  $n \, dx = dN$

$$dN = \gamma h \, dx \cos \theta$$

integrando:

$$N = \int_0^{x_1} \gamma h \cos \theta \, dx$$

o sea:

$$N = \int_0^{x_1} n \, dx$$

siendo:  $\gamma h \, dx = dW$

se tendrá :

$$N = \int_0^{x_1} dW \cos \theta$$

Gráficamente por medio del planímetro se determina el área del diagrama trazado, la que multiplicada por el producto de las escalas nos da el valor del esfuerzo normal que es:

$$N = A_N E_L E_F$$

En donde:

$A_N$  = area del diagrama de esfuerzos normales

$E_L$  = escala de líneas

$E_F$  = escala de fuerzas

Del mismo modo los valores de las componentes tangenciales se trazarán con su signo según sea el sentido en que actúen a partir de la base del diagrama. Este diagrama representará el valor del esfuerzo tangencial.

El valor de este otro esfuerzo será :

Multiplicando los dos miembros de la ecuación (2) por  $dx$ , se tiene:

$$t \, dx = \gamma h \, \text{sen } \Theta \, dx$$

haciendo:  $t \, dx = dT$

$$dT = \gamma h \, \text{sen } \Theta \, dx$$

integrando:

$$T = \int_0^{x_1} \gamma h \, \text{sen } \Theta \, dx$$

o sea:

$$T = \int_0^{x_1} t \, dx$$

siendo:  $\gamma h \, dx = dw$

se tendrá :

$$T = \int_0^{x_1} dw \, \text{sen } \Theta$$

Gráficamente por medio del planímetro se determina el área del diagrama trazado, la que multiplicada por el producto de las escalas nos da el valor del esfuer

zo tangencial que es:

$$T = A_T E_L E_F$$

En donde:

$A_T$  = area del diagrama de esfuerzos tangenciales

$E_L$  = escala de líneas

$E_F$  = escala de fuerzas

En la Fig. 2, se tiene el caso más general o sea cuando se tienen dos materiales distintos, uno para el corazón impermeable y otro para el material estabilizador.

A semejanza del caso anterior el valor del peso de la columna diferencial en la zona donde se tienen los dos materiales es:

$$dw = \gamma_1 h_1 dx + \gamma_2 h_2 dx = dw_1 + dw_2$$

correspondiendo los índices 1 y 2 a los dos materiales componentes, permeable e impermeable respectivamente y  $\gamma_1, \gamma_2$  los pesos volumétricos de esos materiales.

Siendo los valores de las componentes normales tanto del enrocamiento como del material impermeable:

$$n_1 = \gamma_1 h_1 \cos \theta; \quad n_2 = \gamma_2 h_2 \cos \theta$$

En la zona permeable en contacto con la superficie de falla se tiene:

$$n_1 dx = \gamma_1 h_1 dx \cos \theta$$

haciendo :  $n_1 dx = dN_1$

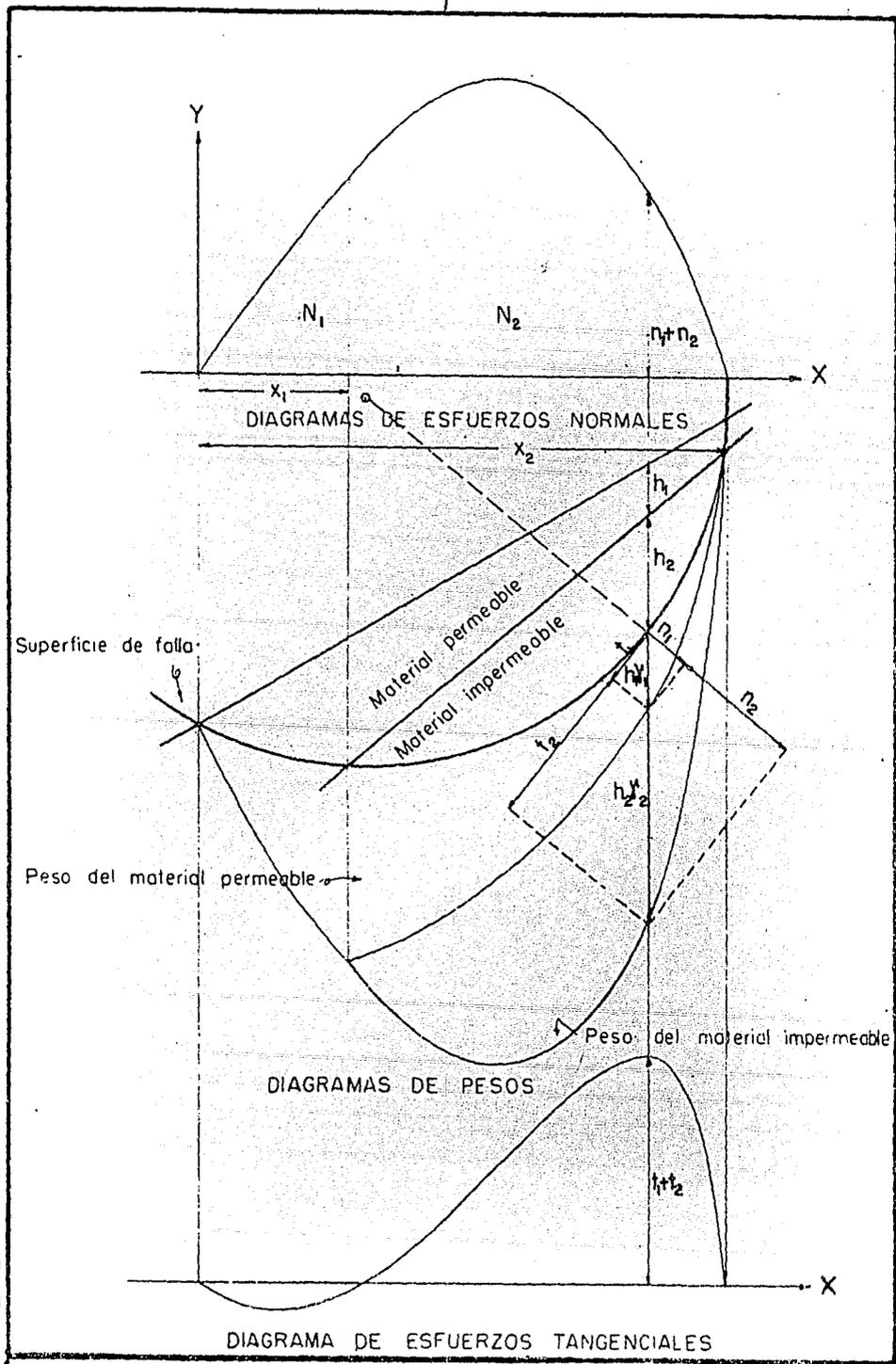


FIG. N° 2

$$dN_1 = \delta_1 h_1 dx \cos \theta$$

integrando:  $N_1 = \int_0^{x_1} \delta_1 h_1 dx \cos \theta$

o sea:

$$N_1 = \int_0^{x_1} n_1 dx$$

siendo:  $\delta_1 h_1 dx = dw_1$

se tendrá:  $N_1 = \int_0^{x_1} dw_1 \cos \theta$

En la zona del corazón se tiene:

$$(n_1 + n_2) dx = (\delta_1 h_1 \cos \theta + \delta_2 h_2 \cos \theta) dx$$

haciendo:  $(n_1 + n_2) dx = dN_2$

$$dN_2 = (\delta_1 h_1 \cos \theta + \delta_2 h_2 \cos \theta) dx$$

integrando  $N_2 = \int_{x_1}^{x_2} (\delta_1 h_1 \cos \theta + \delta_2 h_2 \cos \theta) dx$

o sea:

$$N_2 = \int_{x_1}^{x_2} (n_1 + n_2) dx$$

siendo:  $\delta_1 h_1 dx = dw_1$  ;  $\delta_2 h_2 dx = dw_2$

Se tendrá :

$$N_2 = \int_{x_1}^{x_2} (dw_1 + dw_2) \cos \theta$$

Por tanto, en el diagrama de esfuerzos normales habrá que distinguir; el área que corresponde a los esfuerzos producidos en la zona que abarca el círculo de falla en el material permeable y el área que corresponde a los esfuerzos producidos en la zona del corazón impermeable.

El valor total del esfuerzo normal será:

$$N = N_1 + N_2$$

Los valores de las componentes tangenciales para este caso son:

$$t_1 = \gamma_1 h_1 \text{ sen } \theta ; \quad t_2 = \gamma_2 h_2 \text{ sen } \theta$$

de la misma manera:

$$(t_1 + t_2) dx = (\gamma_1 h_1 \text{ sen } \theta + \gamma_2 h_2 \text{ sen } \theta) dx$$

haciendo  $(t_1 + t_2) dx = dT$

$$dT = (\gamma_1 h_1 \text{ sen } \theta + \gamma_2 h_2 \text{ sen } \theta) dx$$

integrando:

$$T = \int_0^{x_2} (\gamma_1 h_1 \text{ sen } \theta + \gamma_2 h_2 \text{ sen } \theta) dx$$

o sea:

$$T = \int_0^{x_2} (t_1 + t_2) dx$$

siendo:

$$\gamma_1 h_1 dx = dw_1 ; \quad \gamma_2 h_2 dx = dw_2$$

se tendrá:

$$T = \int_0^{x_2} (dw_1 + dw_2) \text{ sen } \theta$$

#### Efecto de la presión hidrostática:

La subpresión es una fuerza que obra sobre la superficie de falla en sentido opuesto a las componentes normales del peso de los materiales; por esto se hace necesario cuantificar su valor.

Es necesario para determinar el valor de la subpresión, hacer el trazo de la red de flujo.

El trazo de la red de flujo solo es aplicable al co-razón impermeable de la cortina, puesto que está basado -

en la suposición de que el escurrimiento del agua es laminar por lo que sigue la ley de Darcy, no ocurriendo lo mismo en el enrocamiento, en donde se considera ese movimiento como turbulento.

Sobre la sección conocida, es necesario determinar las fronteras de la zona impermeable, definiendo en primer término la línea de saturación que es una superficie de presión hidrostática nula. La frontera aguas arriba es el talud del material impermeable, siendo ésta una equipotencial, en donde tiene el valor de la carga total. Si se considera impermeable la base de la cortina, en cada punto de ella la velocidad de una partícula de agua es paralela a la misma base por lo que ésta será una línea de corriente.

La línea de saturación es una sección de parábola modificada en su forma al arrancar desde el punto de intersección del nivel de aguas máximas con el talud del corazón impermeable, y al descargar en el talud aguas abajo del mismo corazón.

La línea de saturación se puede trazar gráficamente por el método de la parábola de Koseny.

El trazo de la línea de saturación en el caso de descarga libre en el paramento aguas abajo de la sección, debe sujetarse a las reglas que siguen:

- a).- La elevación del punto de intersección de cualquier equipotencial con la línea de saturación, debe representar siempre la carga de altura a lo largo de dicha equipotencial.
- b).- La pendiente de la línea de saturación en el punto de entrada del agua en el corazón, debe formar un ángulo recto con el talud del corazón.
- c).- En el punto de descarga, según Casagrande, la línea de saturación es tangente al talud aguas abajo del corazón, sin embargo

experimentalmente no se ha observado.

El trazo de la línea de saturación debe hacerse en la sección transformada, que corresponde a una reducción de la sección real en razón de la correspondencia de los coeficientes de permeabilidad en el sentido vertical y horizontal.

En el caso de que los coeficientes de permeabilidad sean iguales en ambos sentidos, la sección transformada será la misma que la real. Fig. 3

En el caso de que sean diferentes; en razón de los coeficientes que generalmente varían entre  $1/2$  y  $1/4$ , se reduce la sección en su dimensión horizontal, en razón de la siguiente consideración:

$$\frac{K}{K} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

para el caso en que la relación sea  $1/2$ ; para el caso que sea  $1/4$ , la relación será  $1/\sqrt{4}$ ; de donde la transformación aritmética se convierte para el primer caso, en una reducción en función del valor 0.7071 y en el segundo, según el valor 0.5. Estos valores se adoptan tomando en cuenta la calidad del material del corazón impermeable, pues si es arenoso el material, se adoptará la relación 0.5 y si es arcilloso, la relación será 0.7071.

Esta reducción se efectúa, a fin de convertir gráficamente un material anisótropo, en otro isótropo, o sea que se convierte la sección real en la transformada para la que sí son válidas la ley de Darcy, y la ecuación de La Place, para escurrimiento laminar.

La red de flujo debe determinarse tanto para presa llena como para un vaciado rápido, aplicándose el primer caso al talud aguas abajo y en el segundo para el talud aguas arriba de la sección para los cuales serán los

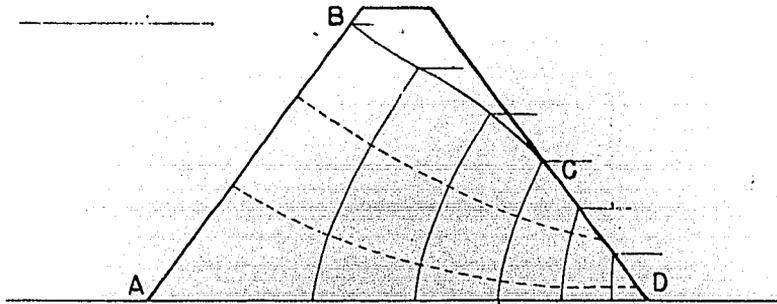


fig. (a)

RED DE FLUJO PRESA LLENA

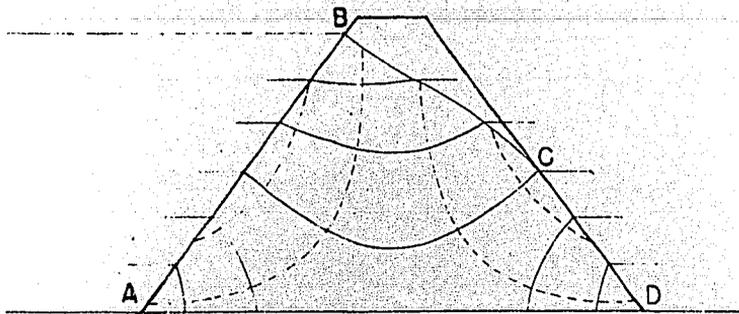


fig.(b)

RED DE FLUJO PARA UN VACIADO RAPIDO TOTAL

casos más desfavorables. Fig. 4

El trazo de la red de flujo se puede hacer mediante alguno de los métodos siguientes:

- 1.- Experimentalmente.
- 2.- Gráficamente.
- 3.- Analíticamente.

Experimentalmente la red de flujo se puede determinar por medio de modelos de filtración o modelos eléctricos basados en la analogía eléctrica. Si se trata de cortinas homogéneas con cimentación impermeable, mediante la experimentación de modelos basados en la analogía de la membrana.

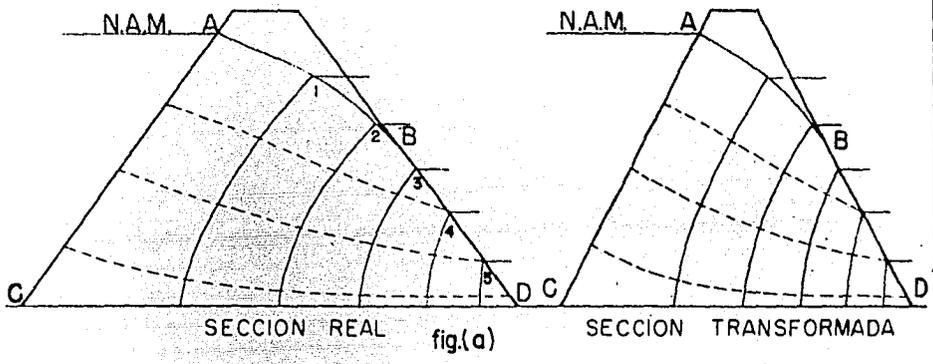
Gráficamente por medio de la red de flujo de Forcheheimer que está deducida de la ecuación diferencial de Laplace; esta red de flujo simplifica extraordinariamente el trazo, puesto que la relación entre los lados de los rectángulos entre un par de líneas de corrientes y equipotenciales es constante y vale la unidad. Por consiguiente la red de flujo en un material homogéneo, estará formada por cuadrados cuyos lados estarán formados por dos familias de curvas que se cortarán an ángulo recto.

El procedimiento es el siguiente:

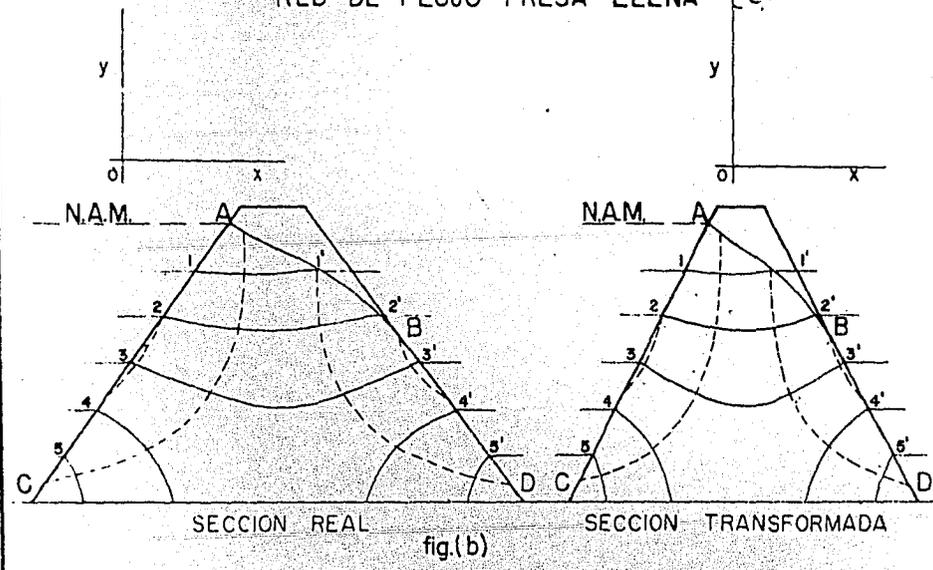
Para el caso de presa llena:

En la sección transformada, una vez conocidas las características de los materiales y la línea de saturación, se dividirá la carga de agua total, en un número igual y arbitrario de partes.

Estas divisiones serán ubicadas sobre las fronteras A, B y D, Fig. 4 a, determinando los puntos ( 1, 2, 3, 4 y 5 ), desde los cuales se trazarán las equipotencia



RED DE FLUJO PRESA LLENA



RED DE FLUJO PARA UN VACIADO RAPIDO TOTAL

les, que deberán tener como condición cortar a AB y CD en ángulo recto.

La salida de BD será condicionada al trazo definitivo por ser esta frontera una línea de equipresión.

El número de líneas de corriente y su ubicación de arranque sobre la frontera AC será arbitrario, pero forma ángulo recto con la misma y con las equipotenciales, formando cuadrados entre sí condiciones que deberán observarse en el trazo de la red de flujo.

La línea de corriente más baja, deja fracciones de cuadrados que deberán guardar la misma relación entre sus dos dimensiones medias.

Obtenido el trazo descrito de la red de flujo se distorsiona la posición de los puntos de las equipotenciales y así tendremos entonces el trazo de la red de flujo en la sección real.

Para el caso de vaciado rápido:

Como en el caso anterior, tanto el trazo de la línea de saturación, como el distorsionamiento, se hacen de la misma manera. Las fronteras de la zona impermeable estarán también definidas por los taludes aguas arriba y aguas abajo del material impermeable que en este caso serán líneas de equipresión y por la base de la cortina que es línea de corriente.

La frontera AC se dividirá en un número igual de partes que se ubicarán sobre las dos líneas de equipresión determinándose los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 y 1', 2', 3', 4', y 5' ; Fig 4b.

Las equipotenciales y líneas de corriente, por tratarse del caso de vaciado rápido estarán preferentemente dirigidas normalmente al caso anterior.

Para el trazo se deberán satisfacer las condi

ciones establecidas de cortarse entre sí estas líneas en ángulo recto, y formar cuadrados.

El sistema de trazos es relativamente arbitrario, debiendo quedar en la parte central e inferior de la sección una figura irregular.

Una vez trazada la red de flujo se distorsionará a la sección real como en el caso anterior.

Con la red de flujo así obtenida se determinará el valor de la subpresión primero para el caso de presa llena analizando el talud aguas abajo y luego para el caso de un vaciado rápido analizando el talud aguas arriba, Fig. 5.

En la sección considerada, las equipotenciales y el círculo de falla ya trazados, se interceptarán en puntos para los que existe un valor de carga de agua, correspondiente a las respectivas caídas de potencial, que se determinan gráficamente haciendo que las verticales levantadas por estos puntos, se corten con las horizontales que arrancan desde las iguales caídas de potencial. Pero como en este caso no interesa el valor de la carga de agua, sino el de la presión hidrostática en el círculo de falla; se determina este esfuerzo que es normal al círculo, y componente de la altura representativa de la carga de agua; para obtener su valor, se trazarán radiales a partir del centro del círculo que pasando por cada uno de los puntos de intersección del círculo con las equipotenciales, serán limitadas por las prolongaciones de las horizontales que marcan las caídas de potencial.

Los valores de estos segmentos se llevarán a partir de una horizontal y en esta forma, trazar el diagrama que representa el valor de la subpresión sobre el círculo de falla.

En la superficie de falla se tendrá que el va-

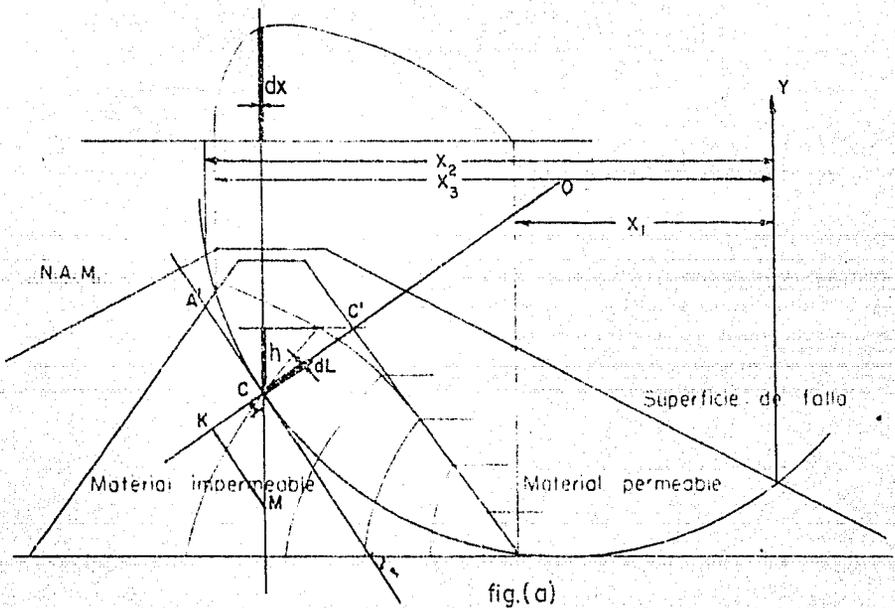


fig.(a)

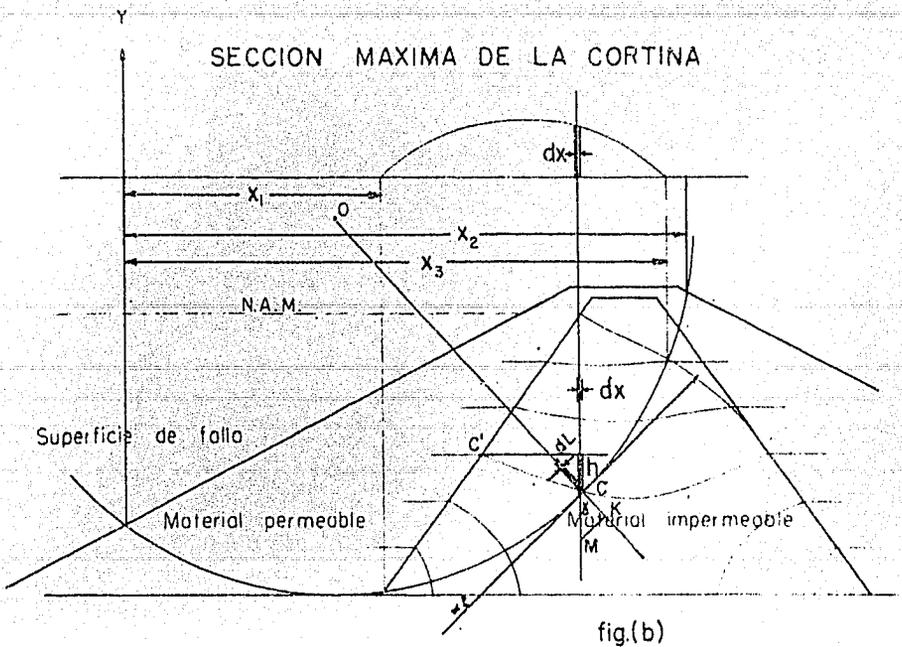


fig.(b)

lor de la subpresión que obra sobre un segmento  $dL$  de la misma vale:

$$ds = \gamma \omega h dL$$

haciendo  $\gamma \omega h = p$

$$ds = p dL$$

por otra parte.  $dL = \frac{dx}{\cos \alpha}$  (Fig. 4)

sustituyendo este valor en la ecuación anterior se tiene:

$$ds = p \frac{dx}{\cos \alpha}$$

haciendo  $\frac{p}{\cos \alpha} = p'$

$$ds = p' dx$$

y el valor total de la subpresión será :

$$S = \int_{x_1}^{x_2} p' dx$$

Gráficamente por medio del planímetro se determina el área del diagrama trazado y entonces el valor de la subpresión será:

$$S = A_S E_L E_F$$

en donde:

$S$  = Valor de la subpresión

$A_S$  = área del diagrama de subpresión

$E_L$  = escala de líneas

$E_F$  = escala de fuerzas

Por ser la subpresión una fuerza que obra sobre la superficie de falla en sentido opuesto a las componentes normales del peso de los materiales; el valor de aquella deberá ser restado del valor del esfuerzo normal correspondiente a la zona del corazón impermeable, por lo cual el valor resultante de los esfuerzos normales en esta zona resulta:

$$N_2 - S = \int_{x_1}^{x_2} (n_1 + n_2) dx - \int_{x_1}^{x_3} p' dx$$

Como la cohesión es otra de las fuerzas que se oponen al deslizamiento de la cuña, faltará sólo medir la longitud del arco de círculo comprendida en la zona del material cohesivo y multiplicarla por el valor de la cohesión del material, obteniéndose la fuerza total por cohesión a lo largo de toda esa zona.

La fuerza por cohesión en un segmento  $dL$  del círculo de falla en la zona del material cohesivo será:

$$dF_c = c dL_2$$

por lo que el esfuerzo total será:

$$\text{integrando: } F_c = c \int_{x_1}^{x_3} dL_2$$

$$F_c = c L_2$$

Los esfuerzos normales originan otros esfuerzos de fricción cuyo valor es:

$$F_1 = N_1 \tan \varphi_1$$

$$F_2 = (N_2 - S) \tan \varphi_2$$

donde  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$  son los ángulos de fricción interna de los materiales permeable e impermeable respectivamente.

Entonces de acuerdo con la fórmula de Coulomb, -

el total de esfuerzos pasivos o resistentes vale:

$$F_R = F_1 + F_2 + F_C$$

Finalmente como el valor del factor de seguridad está dado por la relación entre la suma de las fuerzas que se oponen al deslizamiento y las que lo favorecen, el factor de seguridad  $F_s$  estará expresado por:

$$F_s = \frac{F_R}{T}$$

$$F_s = \frac{N_1 \tan \phi_1 + (N_2 - S) \tan \phi_2 + C L_2}{T}$$

El factor de seguridad es aceptable cuando arroja un valor igual o semejante a 1.5, estimando para la obtención de este valor, los datos correspondientes a la cohesión y ángulo de fricción interna del material correspondientes a las condiciones de trabajo consideradas.

#### Efecto del Temblor.

Las estructuras de tierra se construyen con frecuencia en zonas sísmicas por lo que hay que tener en cuenta el efecto del temblor.

El efecto del temblor se considera actuando normalmente al eje de la cortina de la presa y para el caso de presa llena que constituye el caso más desfavorable.

Para el efecto de temblor se considera que la relación de las aceleraciones del temblor a la de la gravedad es de 0.1; por lo que el valor del esfuerzo que produce el temblor en una zona determinada es igual a 0.1 del peso del material de dicha zona y aplicado en su centro de gravedad.

En la sección analizada y que ha sido estable se procede a este estudio.

El orden a seguir es el siguiente:

- 1.- Trazo de la sección estable.
- 2.- Trazo de la sección transformada correspondiente a la dada en tierra.
- 3.- Trazo de la línea de saturación en la sección transformada y fijación de las fronteras.
- 4.- Trazo de la red de flujo para presa llena en la sección transformada.
- 5.- Distorsión de la red de flujo de la sección transformada a la sección real.
- 6.- Cálculo de la estabilidad de los taludes.
  - a).- Trazo de la superficie de falla ( círculo crítico).
  - b).- Trazo de la curva de esfuerzo normal.
  - c).- Trazo de la curva de esfuerzo de subpresión.
  - d).- Trazo de la curva de esfuerzo tangencial.
  - e).- Trazo de la curva de corrección por temblor de los tangenciales.
  - f).- Medición del área comprendida entre la horizontal y las curvas de los esfuerzos normales, tangenciales, subpresión y de corrección de los tangenciales.
  - g).- Obtención de los esfuerzos normales tangenciales, subpresión y de la corrección al esfuerzo tangencial.

h).- Obtención de la longitud de la superficie de falla ( sólo en la zona impermeable).

i).- Determinación del factor de seguridad.

Para el caso de tenerse un solo material , Fig. 6, por el centro de gravedad de la faja considerada se trazará una fuerza horizontal igual a 0.1 del valor del producto  $\gamma h$  . Esta fuerza será trasladada paralelamente sobre la vertical hasta el punto donde ésta encuentra al círculo de falla produciendo un momento cuyo valor será:

$$M = 0.1 Wd$$

siendo  $W$  el peso de una faja unitaria  $= \gamma h$ , y  $d$  el brazo de palanca del par.

Componiendo dicha fuerza con la que representa el peso  $\gamma h$  de la faja de ancho unitario de material, se obtiene una resultante, la cual se descompondrá a su vez en dos componentes, una tangente al círculo y otra normal a éste.

Con estas componentes normales y tangenciales se trazarán los diagramas de esfuerzos respectivos como en los casos anteriores.

Por otra parte, teniendo en cuenta que los efectos de las fuerzas se deben considerar actuando sobre el círculo de falla, se tendrá una fuerza actuando tangente al círculo de tal manera que produzca con respecto al centro del mismo un momento de igual magnitud y del mismo sentido al momento  $M$  y cuyo valor será:

$$FR = 0.1 Wd$$

siendo  $F$  la fuerza tangente al círculo de falla y  $R$  el radio del mismo.

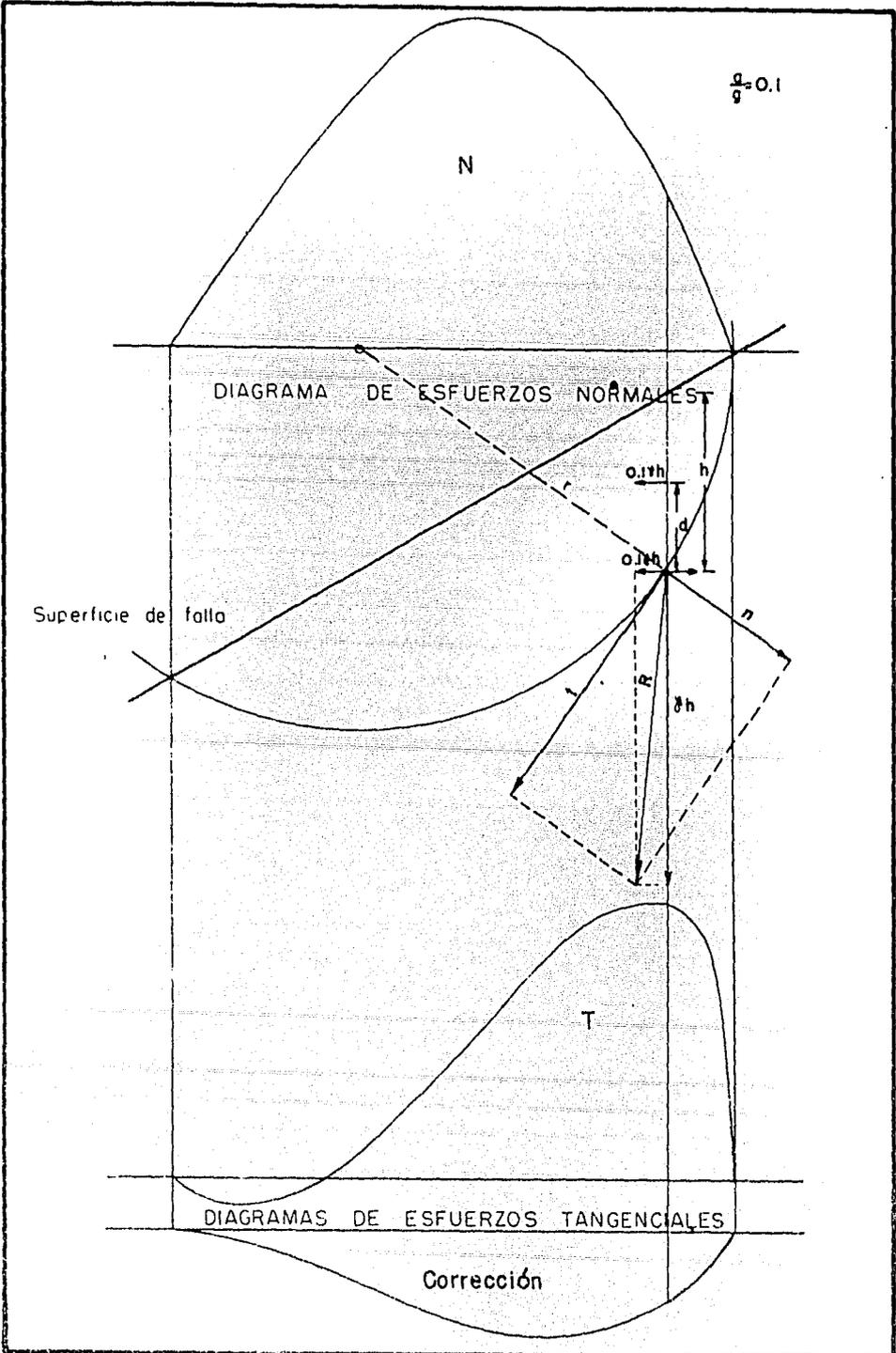


FIG. N° 6

El valor de la fuerza F será:

$$F = \frac{0.1 Wd}{R}$$

Valor con el cual, conocido en cada uno de los puntos, se determina el diagrama que corresponde a la corrección de los tangenciales.

De la misma manera se determinarán por medio del planímetro los valores de las áreas de cada diagrama, las cuales multiplicadas por el producto de las escalas darán los valores de cada uno de los esfuerzos.

Para el caso en que se tienen dos materiales distintos, el procedimiento a seguir se puede hacer en dos formas:

1.- Convirtiendo el volumen total de la sección, en otro más reducido, suponiendo la conversión del material de enrocamiento en otro equivalente al de la zona impermeable, sirviéndose para ello de la relación de alturas y pesos volumétricos expresados en la siguiente igualdad:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \therefore h_1 = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} h_2$$

correspondiendo los índices 1 y 2 a cada uno de los materiales.

2.- Considerando los dos materiales, Fig. 7, en donde por el centro de gravedad de la faja considerada para cada uno de ellos se trazará la fuerza horizontal equivalente a 0.1 del valor  $\gamma h$  correspondiente a cada material.

De estas fuerzas se hallará su resultante que se

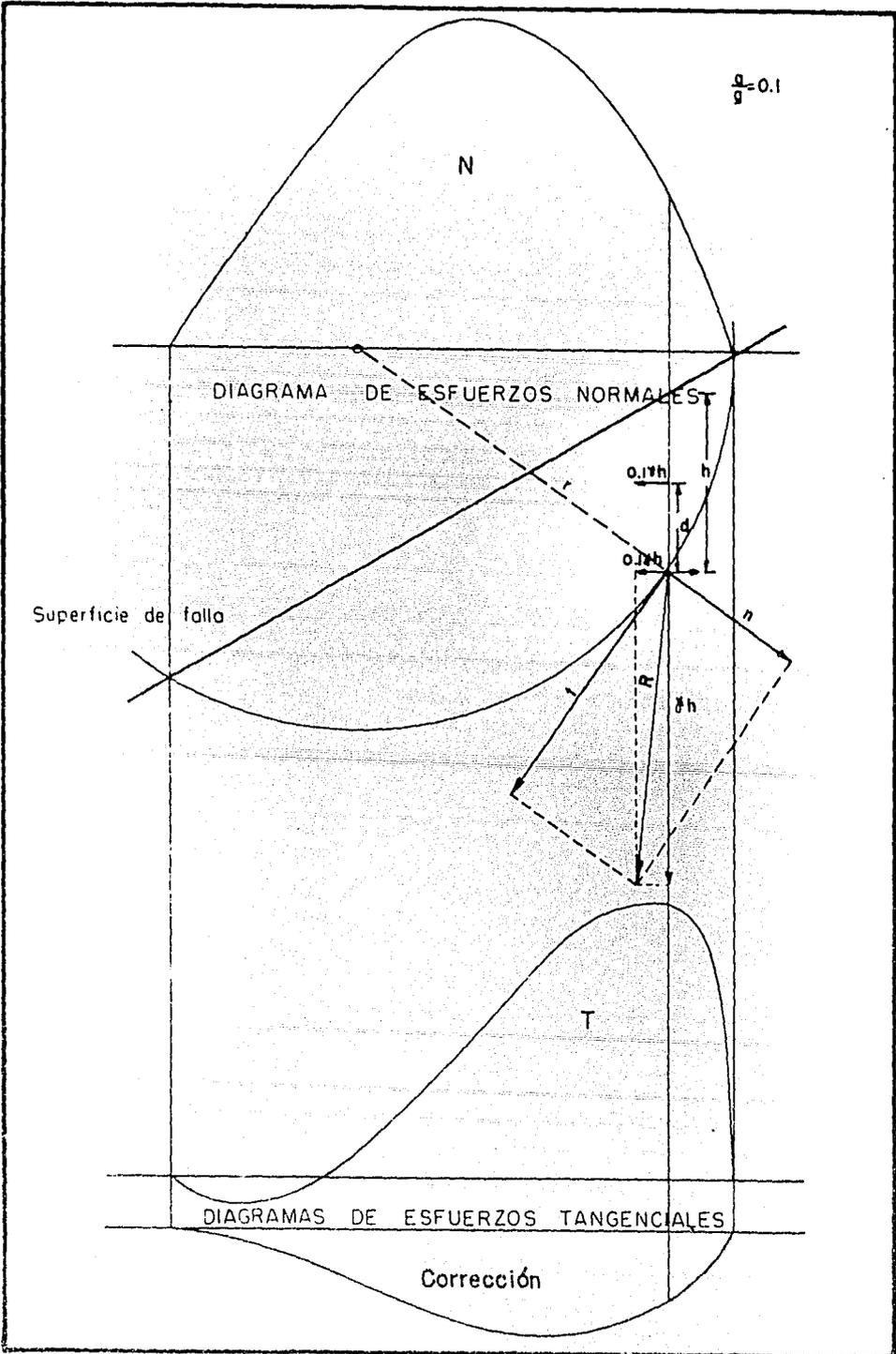


FIG. N° 7

rá trasladada paralelamente sobre la vertical hasta el punto donde ésta encuentra al círculo de falla.

La composición de fuerzas y el trazo de los diagramas se hará en la misma forma que para el caso de tenerse un solo material.

Finalmente el factor de seguridad se obtiene en la misma forma que en el caso en que no se consideró el efecto de temblor, con la única diferencia que en el denominador para el caso presente se tendrá un valor dado por la diferencia entre el esfuerzo tangencial y el correspondiente al diagrama de corrección  $T_c$ ; de manera que la fórmula quedará:

$$F_s = \frac{N_1 \tan \varphi_1 + (N_2 - S) \tan \varphi_2 + CL_2}{T - T_c}$$

Cuando se considera el efecto de temblor, se ha estimado como aceptable un factor de seguridad igual o semejante a 1.3 .

## VII.- PROGRAMA DE TRABAJO Y COSTOS.

El programa de trabajo en la construcción de una obra es de gran utilidad pues por medio de él se aprecian y regulan las etapas principales de la misma. Durante la construcción es una guía indispensable para la normalización de los detalles y conservación de los costos unitarios. El programa de trabajo junto con las cédulas de equipo y personal, muestra el control del avance de las obras así como el costo de las mismas.

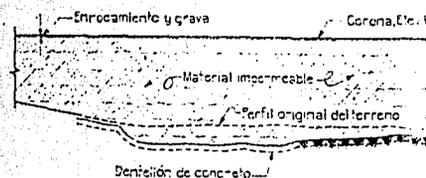
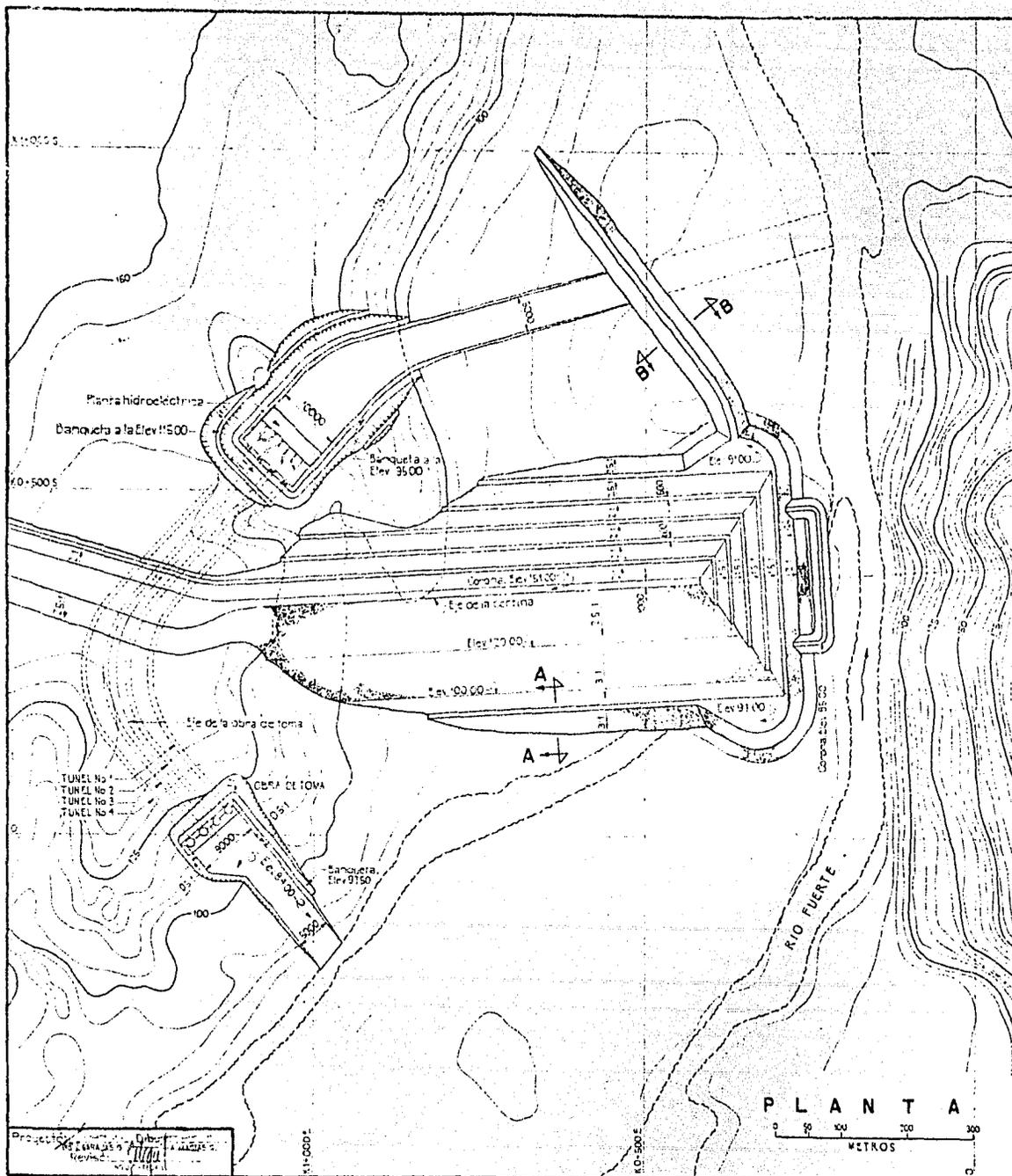
Para poder trazar un programa detallado es necesario conocer los volúmenes de cada una de las partes que intervienen en el proyecto así como el suponer o determinar por comparaciones los datos que en los estudios no fué posible conocer.

La construcción de la cortina se ha dividido en dos etapas; en la primera se construirá la cortina hasta el tajo que se dejará para la desviación del río durante la construcción y en la segunda se hará el cierre del tajo.

La desviación del río se hará sobre su mismo cauce por el tajo formado por la ladera derecha y el cuerpo mismo de la cortina. Dicho tajo tendrá en su base una anchura de 110 m. - Plano No. 8.

La primera etapa se hará durante los primeros años de la construcción y en cualquier época del año si las lluvias permiten la colocación del material impermeable; para el permeable no habrá inconveniente. Además para aislar de la corriente de estiaje y reducir las filtraciones en tiempos de avenidas se construirán ataguías.

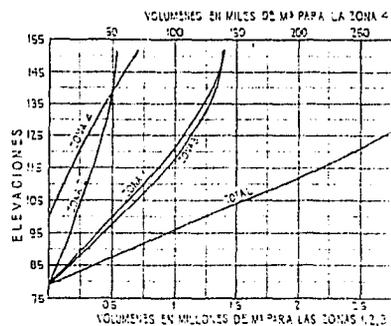
La segunda etapa o sea el cierre del tajo se hará en el último año en la época de estiaje, debiéndose llegar a una altura de seguridad, antes de las primeras crecientes, para cuando los túneles ya estarán excavados y



### CORTE



### SECCION DE LA ATAGÜA

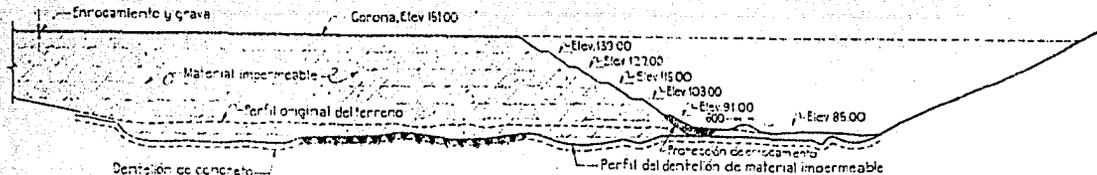
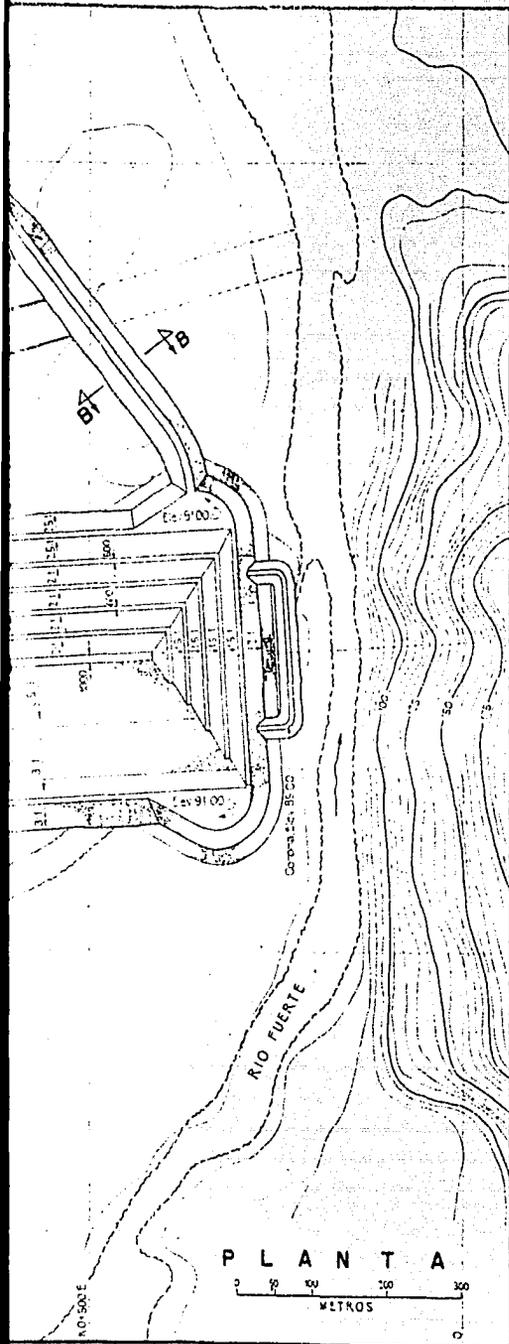


- Zona No 1 - Material impermeable producto de los bancos de...  
 Zona No 2 - Material grava y arena producto de la excavación...  
 Zona No 3 - Material producto de las excavaciones...  
 Zona No 4 - Enrocamiento producto de los bancos de préstamo.

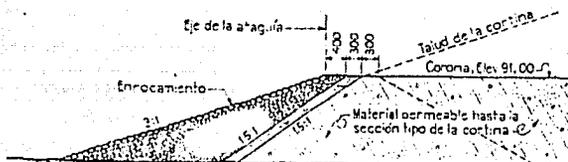
### CURVAS DE VOLUMENES PARA EL CIERRE DEL TAJO

### CANTIDADES ESTIMADAS CONCEPTO

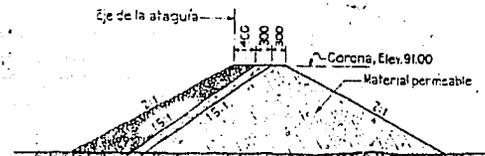
|   |       |
|---|-------|
| Excavación en los tajos de la obra de toma                | ..... |
| Remoción de la atagüa de la etapa                         | ..... |
| Material impermeable en la zona 1 y cortina de la cortina | ..... |
| Material en la zona 2 de la cortina                       | ..... |
| Material en la zona 3 de la cortina                       | ..... |
| Enrocamiento en la zona 4 de la cortina                   | ..... |
| Excavación para los dentellones de las atagüas            | ..... |
| Material impermeable en la zona 1 de las atagüas          | ..... |
| Material en la zona 1 de la atagüa                        | ..... |
| Enrocamiento en la zona 4 de la atagüa                    | ..... |



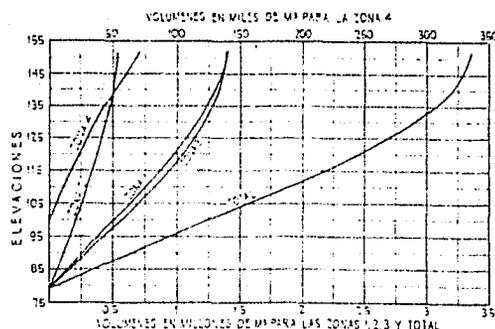
CORTE POR EL EJE DE LA CORTINA



SECCION DE LA ATAGUIA A-A

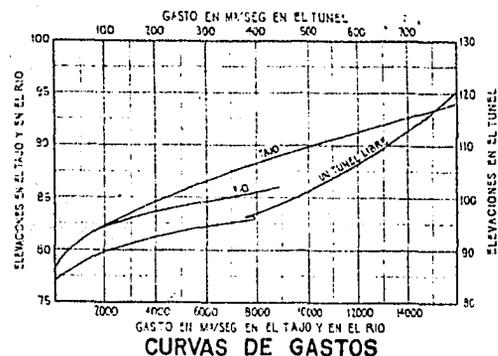


SECCION DE LA ATAGUIA B-B



- Zona No 1- Material impermeable producto de los bancos de préstamo  
 Zona No 2- Water al grava y arena producto de la excavación, en común, en el costado y dentado de material impermeable de la cortina y diques y bancos de préstamo  
 Zona No 3- Material producto de las excavaciones en talud, vertedor y túneles y de bancos de préstamo  
 Zona No 4- Enrocamiento producto de los bancos de préstamo

CURVAS DE VOLUMENES  
PARA EL CIERRE DEL TAUO



NOTAS:

Locaciones en centímetros, estaciones y elevaciones en metros. Los datos referentes a gastos del tauo, río y túnel, que aparecen en este plano, solo se dan como guía para los trabajos, sin que esta Comisión se haga responsable de su exactitud. Se limpiarán y escarificarán las superficies del material permeable antes de continuar con el relleno. Para detalles de la protección, véase plano N° 2194-C-217

CANTIDADES ESTIMADAS

| CONCEPTO  | UNIDAD | CANTIDAD |
|---|--------|----------|
| Excavación en los tajos de la obra de toma                | m³     | 1146000  |
| Remoción de la ataguia de la ataguia                      | m³     | 180000   |
| Material impermeable en la zona 1 y dentado de la cortina | m³     | 1678000  |
| Material en la zona 2 de la cortina                       | m³     | 537000   |
| Material en la zona 3 de la cortina                       | m³     | 13784000 |
| Enrocamiento en la zona 4 de la cortina                   | m³     | 72000    |
| Excavación para los dentados de las ataguas               | m³     | 68000    |
| Material impermeable en la zona 1 de las ataguas          | m³     | 44400    |
| Material en la zona 2 de la ataguia                       | m³     | 231000   |
| Enrocamiento en la zona 4 de la ataguia                   | m³     | 110000   |

PRESA "MIGUEL HIDALGO"

Cuenca del Río Fuerte - El Fuerte, Sin.

DESVIACION - MARGEN DERECHA

revestidos al mismo tiempo que se iniciará el almacenamiento; debiéndose terminar tanto el cierre como el vertedor antes de las siguientes avenidas.

El vertedor quedará alojado en la terraza de la margen izquierda de la cortina el cual tendrá las siguientes características:

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| Capacidad   | 14 700 m <sup>3</sup> /seg. |
| Long. cresta  | 400 m.                      |
| Elev. cresta  | 132                         |
| Carga sobre la cresta   | 6.94 m.                     |
| Nivel aguas máximo  | 138.94                      |
| Gasto máx. en la toma<br>( con 2 túneles de 7 m $\varnothing$ ) | 360 m <sup>3</sup> /seg.    |

Para poder aprovechar una corriente hidráulica por medio de su cierre con una cortina es necesario conocer el hidrógrafo de la corriente, es decir su régimen de avenidas en el mayor período de tiempo posible, como mínimo 3 ó 4 ciclos de escurrimiento.

Los ciclos se componen generalmente de 4 ó más años para la mayoría de los ríos. Analizando varios ciclos, entre las avenidas máximas se encuentra una que es mayor a todas ellas, a la cual se le llama avenida máxima extraordinaria, la cual es necesario conocer así como el período en que se presenta.

Del hidrógrafo de la corriente se deducirá el período de sequía así como el de avenidas y el valor del gasto máximo.

Por lo que se refiere al tiempo que durará la --

construcción de una obra este dependerá de los factores - siguientes:

- 1.- Valor del gasto máximo extraordinario y período en que se presenta.
- 2.- Hidrógrafos de la corriente para varios ciclos.
- 3.- Volumen de terracerías, túneles, vertedor y obra de toma.
- 4.- Cantidad de equipo disponible.
- 5.- Fondos suficientes.

Para la construcción de la presa " Miguel Hidalgo " se ha fijado un tiempo de 4 años. Durante el primer año las obras se iniciarán con las obras auxiliares como son, la instalación del campamento que comprende oficinas, habitaciones, talleres, bodega y polvorín; construcción de los caminos necesarios para facilitar el transporte de materiales; líneas telefónicas, plantas de luz indispensables para el campamento y buena parte de los trabajos.

Al mismo tiempo se empezará por determinar las trazas tanto de la cortina como del dentellón; así como el desmonte. Después de esto en la época de estiaje observada en los hidrógrafos de la corriente que para el caso del Río Fuerte se observa en los meses de marzo a junio, se iniciará la limpia en el lecho del río para lo cual se establecerán ataguías protectoras de la zona de trabajo durante la excavación de los mantos de acarreo arenoso suelto para lo cual harán las excavaciones en el cauce del río para la trinchera del dentellón de las ataguías y construcción de las mismas con el objeto de aislar del escorrente del estiaje, además de un tajo de desviación sobre la parte restante del cauce del río, para desviar la corriente; después de lo cual se hará la perforación e inyección

superficial y profunda de la cimentación y se iniciará la excavación en el cauce del río para el dentellón de material impermeable de la cortina.

Tanto la inyección superficial como profunda en el lecho del río se harán a medida que se vaya descubriendo la roca.

En la obra de toma se iniciarán las excavaciones de los canales de acceso y de salida del tajo que alojará los conductos circulares.

Al llegar las primeras avenidas no será posible trabajar en el lecho del río, por lo que se seguirán los trabajos de excavación en la obra de toma y vertedor. Durante la época de lluvias como se tiene poco rendimiento en el trabajo del material impermeable se colocará con intensidad el material permeable.

En el segundo año durante la época de estiaje se continuarán las excavaciones en el cauce del río para el dentellón de material impermeable y se comenzará la aplicación de una capa protectora de concreto en la superficie de cimentación, así como el relleno de material impermeable de la excavación hecha, iniciándose además el terraplén de la cortina; también se empezará la excavación en roca en los tajos de entrada y salida de la toma.

En la época de avenidas de este segundo año se terminará la excavación común en los tajos de entrada y salida de la toma y se seguirá la excavación en roca en los mismos tajos; además se iniciará la excavación en los túneles de la toma. En la época de lluvias se seguirá la colocación del material permeable.

Durante este año se hará gran parte del colado de los dentellones de concreto de la cortina.

Para mediados del tercer año se terminará la

excavación en roca en los tajos de entrada y salida de la toma así como la excavación en los túneles de la misma y el colocado de los dentellones de concreto de la cortina.

En la época de estiaje se terminará la excavación común en el cauce del río para el dentellón de material de la cortina así como la aplicación de la capa protectora de concreto en la superficie de cimentación; además se hará la colocación del enrocamiento en las ataguías y también la colocación de muerdos de concreto en el tajo de desviación.

En la época de avenidas se hará la excavación común en la terraza de la margen izquierda para el dentellón de material impermeable de la cortina así como la excavación común en el tramo revestido del vertedor al mismo tiempo que la excavación en roca.

Durante este año se hará la excavación para las lumbreras y zonas de compuertas de la toma y se elevarán las terracerías; además para fines del mismo se harán los revestimientos de los tajos de entrada y salida de la toma y de los túneles, así como también el revestimiento de las lumbreras y zonas de compuertas de la toma.

Para principios del último año se deberá tener terminada por completo la obra de toma para que en la época de estiaje de este mismo año se haga el cierre del tajo de desviación y poder derivar las aguas por los túneles de la toma, debiéndose meter material del nivel del cauce hasta una altura de seguridad antes de llegar las primeras avenidas.

También a principios de este año se harán los revestimientos del cimacio y los muros del vertedor, así como las estructuras de las rejillas de la toma y tapones centrales en la misma; además se terminará la colocación del material permeable e impermeable en la cortina fuera

del tajo de desviación.

Durante este último año se harán todas las obras faltantes como son la excavación común en el tramo no revestido del vertedor, colocación del enrocamiento en el talud aguas arriba de la cortina fuera del tajo de desviación y plantilla y dentellones del canal de descarga del vertedor.

Por último para fines del mismo se terminará la colocación del material permeable e impermeable y enrocamiento en el tajo de desviación y en los diques así como el revestimiento del canal de descarga del vertedor.

Con estos últimos trabajos quedará prácticamente terminada la cortina para el funcionamiento de la presa.

Después se harán las obras anexas como son la construcción de barandales y guarniciones así como la instalación de la planta hidroeléctrica.

En el resumen adjunto se muestra el avance de los trabajos y el costo de los mismos en cada uno de los años durante la construcción.

| CONCEPTO.  | COSTO<br>POR M. <sup>3</sup> | PRIMER AÑO            |           | SEGUNDO AÑO           |           | TERCER AÑO            |           |
|--|------------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|  |                              | Cant. M. <sup>3</sup> | Costo \$. | Cant. M. <sup>3</sup> | Costo \$. | Cant. M. <sup>3</sup> | Costo \$. |
| <u>EXCAVACIONES</u> :Mat. común, grava y arena. Excavación común en el cauce del río para la trinchera del dentellón de las ataguías.                        | \$ 4.80                      | 52,600                | 252,480   |                       |           |                       |           |
| Remoción de las ataguías aprovechando el material en la cortina.....   | \$ 3.80                      |                       |           |                       |           |                       |           |
| Excavación común en el cauce del río para el dentellón de material impermeable en la cortina.....  | \$ 5.50                      | 60,000                | 330,000   | 190,000               | 1,045,000 | 40,000                | 220,000   |
| Excavación común en la terraza de la margen izquierda de Est. 0+000 a Est. 2 + 150 para el dentellón de material impermeable de la cortina.....              | \$ 7.90                      |                       |           |                       |           | 123,000               | 971,700   |
| Excavación en banco de préstamo de material de acarreo del río ( grava y arena) y transporte a las zonas permeables de la cortina .....                      | \$ 6.10                      |                       |           | 20,000                | 122,000   | 1,280,000             | 7,808,000 |
| Excavación en banco de préstamo de material de acarreo del río ( grava y arena) y transporte a las zonas permeables de los diques .....                      | \$ 7.15                      |                       |           |                       |           |                       |           |
| Excavación común en el tramo revestido del vertedor.....   | \$ 7.90                      |                       |           |                       |           | 150,000               | 1,185,000 |
| Excavación común en el tramo no revestido del vertedor.....  | \$ 7.90                      |                       |           |                       |           |                       |           |
| Excavación común en los tajos de entrada y salida de la toma.  | \$ 7.00                      | 130,000               | 910,000   | 50,000                | 350,000   |                       |           |
| <u>EXCAVACION DE ROCA PARA ZONA PERMEABLE.</u>   |                              |                       |           |                       |           |                       |           |
| Excavación común para la limpieza de la cimentación de la cortina en la ladera derecha del río en el tramo comprendido entre estación 3 + 020 y 3 + 200..... | \$ 7.90                      |                       |           |                       |           |                       |           |
| Excavación en roca en el tramo revestido del vertedor.....   | \$ 11.25                     |                       |           |                       |           | 150,000               | 5,062,500 |

| PRIMER AÑO           |          | SEGUNDO AÑO          |           | TERCER AÑO           |            | CUARTO AÑO           |           | CANTIDAD TOTAL.          | COSTO TOTAL  |
|----------------------|----------|----------------------|-----------|----------------------|------------|----------------------|-----------|--------------------------|--------------|
| Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$ | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$. | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$ . | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$  |                          |              |
| 52,600               | 252,480  |                      |           |                      |            |                      |           | 52,600 M <sup>3</sup>    | \$ 252,480   |
|                      |          |                      |           |                      |            | 40,000               | 152,000   | 40,000 M <sup>3</sup>    | \$ 152,000   |
| 60,000               | 330,000  | 190,000              | 9,045,000 | 40,000               | 220,000    |                      |           | 290,000 M <sup>3</sup>   | \$ 1,595,000 |
|                      |          |                      |           | 123,000              | 971,700    |                      |           | 123,000 M <sup>3</sup>   | \$ 971,700   |
|                      |          | 20,000               | 122,000   | 1,280,000            | 7,808,000  | 700,000              | 4,270,000 | 2,000,000 M <sup>3</sup> | \$12,200,000 |
|                      |          |                      |           |                      |            | 46,000               | 328,900   | 46,000 M <sup>3</sup>    | \$ 328,900   |
|                      |          |                      |           | 150,000              | 1,185,000  | 50,000               | 395,000   | 200,000 M <sup>3</sup>   | \$ 1,580,000 |
|                      |          |                      |           |                      |            | 550,000              | 4,345,000 | 550,000 M <sup>3</sup>   | \$ 4,345,000 |
| 130,000              | 910,000  | 50,000               | 350,000   |                      |            |                      |           | 180,000 M <sup>3</sup>   | \$ 1,260,000 |
|                      |          |                      |           |                      |            | 80,000               | 632,000   | 80,000 M <sup>3</sup>    | \$ 632,000   |
|                      |          |                      |           | 140,000              | 5,062,500  | 150,000              | 1,087,500 | 600,000 M <sup>3</sup>   | \$ 6,750,000 |

| CONCEPTO  | COSTO<br>POR M <sup>3</sup> | PRIMER AÑO           |           | SEGUNDO AÑO          |           | TERCER AÑO           |           |
|---|-----------------------------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|
|   |                             | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$. | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$  | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$  |
| Excavación en roca en el tramo no revestido del vertedor.....   | \$ 11.00                    |                      |           |                      |           |                      |           |
| Excavación en roca en los tajos de entrada y salida de la toma.....   | \$ 10.50                    | 200,000              | 2,100,000 | 550,000              | 5,775,000 | 595,000              | 6,240,000 |
| Excavación en cualquier clase de material en los túneles de la toma.....  | \$ 88.50                    |                      |           | 10,400               | 920,400   | 64,200               | 5,660,000 |
| Excavación en cualquier clase de material para las lumbreras y zonas de compuertas de la toma....                           | \$ 88.50                    |                      |           |                      |           | 4,200                | 370,000   |
| <b>COLOCACION DE MATERIAL PERMEABLE.</b>  |                             |                      |           |                      |           |                      |           |
| Colocación del producto de excavaciones del material común en el terraplén de las ataguías....                              | \$ 1.20                     | 150,000              | 180,000   |                      |           |                      |           |
| Material permeable en el cortina fuera del tajo de desviación....   | \$ 1.20                     |                      |           | 1,080,000            | 1,296,000 | 2,475,000            | 2,970,000 |
| Material permeable en los diques.   | \$ 1.40                     |                      |           |                      |           |                      |           |
| Material permeable en la cortina en el tajo de desviación.....  | \$ 1.50                     |                      |           |                      |           |                      |           |
| Grava en la corona de la cortina y diques.....  | \$ 8.00                     |                      |           |                      |           |                      |           |
| <b>PRESTAMO DE IMPERMEABLE.</b>   |                             |                      |           |                      |           |                      |           |
| Excavación en cualquier clase de material en banco de préstamo No. 1 de material impermeable y transporte a la cortina..... | \$ 5.33                     |                      |           | 600,000              | 3,198,000 | 750,000              | 3,990,000 |
| Excavación en cualquier clase de material en banco de préstamo No. 3 de material impermeable y transporte a la cortina..... | \$ 6.80                     |                      |           | 100,000              | 680,000   | 300,000              | 2,040,000 |
| Excavación en cualquier clase de material en banco de préstamo y transporte a los diques.....                               | \$ 4.30                     |                      |           |                      |           |                      |           |
| <b>COLOCACIONES DE IMPERMEABLE.</b>   |                             |                      |           |                      |           |                      |           |
| Material impermeable en el dente de la cortina en el cauce del río, de Est. 2+500 a 2+020.....                              | \$ 1.65                     |                      |           | 250,000              | 412,500   | 40,000               | 660,000   |

| PRIMER AÑO |                      | SEGUNDO AÑO |                      | TERCER AÑO |                      | CUARTO AÑO |                          | CANTIDAD TOTAL           | COSTO TOTAL  |
|------------|----------------------|-------------|----------------------|------------|----------------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------|
| Costo \$.  | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$    | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$   | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$   |                          |                          |              |
|            |                      |             |                      |            |                      | 100,000    | 1,100,000                | 100,000 M <sup>3</sup>   | \$1,100,000  |
| 2,100,000  | 550,000              | 5,775,000   | 595,000              | 6,247,500  |                      |            |                          | 1,345,000 M <sup>3</sup> | \$14,122,500 |
|            | 10,400               | 920,400     | 64,200               | 5,681,700  |                      |            |                          | 74,600 M <sup>3</sup>    | \$ 6,602,100 |
|            |                      |             | 4,200                | 371,700    |                      |            |                          | 4,200 M <sup>3</sup>     | \$ 371,700   |
| 180,000    |                      |             |                      |            |                      |            |                          | 150,000 M <sup>3</sup>   | \$ 180,000   |
|            | 1,080,000            | 1,296,000   | 2,475,000            | 2,970,000  | 515,000              | 618,000    | 4,070,000 M <sup>3</sup> | \$4,884,000              |              |
|            |                      |             |                      |            | 46,000               | 64,400     | 46,000 M <sup>3</sup>    | \$ 64,400                |              |
|            |                      |             |                      |            | 1,300,000            | 1,950,000  | 1,300,000 M <sup>3</sup> | \$1,950,000              |              |
|            |                      |             |                      |            | 10,000               | 80,000     | 10,000 M <sup>3</sup>    | \$ 80,000                |              |
|            | 600,000              | 3,198,000   | 750,000              | 3,997,500  |                      |            |                          | 1,350,000 M <sup>3</sup> | \$7,195,500  |
|            | 100,000              | 180,000     | 300,000              | 2,040,000  | 900,000              | 1,120,000  | 1,300,000 M <sup>3</sup> | \$8,840,000              |              |
|            |                      |             |                      |            | 35,000               | 150,500    | 35,000 M <sup>3</sup>    | \$ 150,500               |              |
|            | 250,000              | 412,500     | 40,000               | 64,000     |                      |            |                          | 250,000 M <sup>3</sup>   | \$ 478,500   |



|    | PRIMER AÑO           |          | SEGUNDO AÑO          |          | TERCER AÑO           |           | CUARTO AÑO           |           | CANTIDAD TOTAL           | COSTO TOTAL  |
|----|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|--------------------------|--------------|
|    | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$ | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$ | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$  | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$  |                          |              |
| 65 |                      |          |                      |          | 123,000              | 202,950   |                      |           | 123,000 M <sup>3</sup>   | \$ 202,950   |
| 55 |                      |          | 340,000              | 527,000  | 885,000              | 1,371,750 | 135,000              | 209,250   | 1,360,000 M <sup>3</sup> | \$ 2,108,000 |
| 65 |                      |          |                      |          |                      |           | 28,000               | 46,200    | 28,000 M <sup>3</sup>    | \$ 46,200    |
| 65 |                      |          |                      |          |                      |           | 445,000              | 734,250   | 445,000 M <sup>3</sup>   | \$ 734,250   |
| 00 |                      |          |                      |          | 40,000               | 480,000   | 180,000              | 2,160,000 | 220,000 M <sup>3</sup>   | \$ 2,640,000 |
| 75 | 4,000                | 4,600    |                      |          | 46,000               | 52,900    |                      |           | 50,000 M <sup>3</sup>    | \$ 57,500    |
| 25 |                      |          |                      |          |                      |           | 160,000              | 216,000   | 160,000 M <sup>3</sup>   | \$ 216,000   |
| 50 |                      |          |                      |          |                      |           | 49,000               | 73,500    | 49,000 M <sup>3</sup>    | \$ 73,500    |
| 50 |                      |          |                      |          |                      |           | 10,000               | 15,000    | 10,000 M <sup>3</sup>    | \$ 15,000    |
| 00 |                      |          | 2,000                | 270,000  | 1,000                | 135,000   |                      |           | 3,000 M <sup>3</sup>     | \$ 405,000   |
| 00 |                      |          | 1,700                | 255,000  | 700                  | 105,000   |                      |           | 2,400 M <sup>3</sup>     | \$ 360,000   |
| 00 |                      |          | 245                  | 29,400   | 255                  | 30,600    |                      |           | 500 M <sup>3</sup>       | \$ 60,000    |
| 00 |                      |          |                      |          |                      |           | 29,000               | 3,045,000 | 29,000 M <sup>3</sup>    | \$ 3,045,000 |

| CONCEPTO.  | COSTO<br>POR. M <sup>3</sup> | PRIMER AÑO           |           | SEGUNDO AÑO          |            | TERCER AÑO           |            | CU<br>Cant. M <sup>3</sup> |
|--|------------------------------|----------------------|-----------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------------|
|  |                              | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$  | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$   | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$   |                            |
| Concreto simple en los muros del vertedor.....   | \$165.00                     |                      |           |                      |            |                      |            | 20,000                     |
| Concreto reforzado en los revestimientos de la plantilla y en los dentellones del canal de descarga del vertedor, incluyendo el deflector..... | \$139.00                     |                      |           |                      |            |                      |            | 33,000                     |
| Concreto reforzado en los revestimientos de los taludes del canal de descarga del vertedor.....  | \$205.00                     |                      |           |                      |            |                      |            | 3,000                      |
| Concreto reforzado en los revestimientos de los tajos de entrada y salida de la toma.  | \$214.00                     |                      |           |                      |            | 2,000                | 428,000    | 20                         |
| Concreto simple en los revestimientos de los túneles de la toma.....   | \$175.00                     |                      |           |                      |            | 22,400               | 3,920,000  |                            |
| Concreto reforzado en los revestimientos de los túneles de la toma.....  | \$200.00                     |                      |           |                      |            | 2,000                | 400,000    | 400                        |
| Concreto reforzado en los extremos de salida de los túneles .....  | \$225.00                     |                      |           |                      |            | 500                  | 112,500    | 450                        |
| Concreto reforzado en las estructuras de las rejillas de la toma.....  | \$400.00                     |                      |           |                      |            |                      |            | 300                        |
| Concreto en las estructuras de entrada de la toma.....   | \$300.00                     |                      |           |                      |            | 700                  | 210,000    | 750                        |
| Concreto en los tapones centrales de la toma .....   | \$200.00                     |                      |           |                      |            |                      |            | 1,200                      |
| Concreto en los revestimientos de las lumbreras y zonas de compuertas de la toma...  | \$175.00                     |                      |           |                      |            | 1,300                | 227,500    | 1,000                      |
| Concreto simple para muertos en el tajo de desviación...   | \$140.00                     |                      |           |                      |            | 1,800                | 252,000    |                            |
| <u>TOTALES</u>   |                              |                      | 3,777,080 |                      | 14,880,300 |                      | 14,510,800 |                            |

| PRIMER AÑO     |           | SEGUNDO AÑO          |           | TERCER AÑO           |            | CUARTO AÑO           |            | CANTIDAD TOTAL.       | COSTO TOTAL.  |
|----------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|------------|----------------------|------------|-----------------------|---------------|
| M <sup>3</sup> | Costo \$  | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$  | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$   | Cant. M <sup>3</sup> | Costo \$   |                       |               |
|                |           |                      |           |                      |            | 20,000               | 330,000    | 20,000 M <sup>3</sup> | \$ 330,000    |
|                |           |                      |           |                      |            | 33,000               | 4,587,000  | 33,000 M <sup>3</sup> | \$ 4,587,000  |
|                |           |                      |           |                      |            | 3,000                | 615,000    | 3,000 M <sup>3</sup>  | \$ 615,000    |
|                |           |                      |           | 2,000                | 428,000    | 200                  | 42,800     | 2,200 M <sup>3</sup>  | \$ 470,800    |
|                |           |                      |           | 22,400               | 3,920,000  |                      |            | 22,400 M <sup>3</sup> | \$ 3,920,000  |
|                |           |                      |           | 2,000                | 400,000    | 400                  | 80,000     | 2,400 M <sup>3</sup>  | \$ 480,000    |
|                |           |                      |           | 500                  | 112,500    | 450                  | 101,250    | 950 M <sup>3</sup>    | \$ 213,750    |
|                |           |                      |           |                      |            | 300                  | 120,000    | 300 M <sup>3</sup>    | \$ 120,000    |
|                |           |                      |           | 700                  | 210,000    | 750                  | 225,000    | 1,450 M <sup>3</sup>  | \$ 435,000    |
|                |           |                      |           |                      |            | 1,200                | 240,000    | 1,200 M <sup>3</sup>  | \$ 240,000    |
|                |           |                      |           | 1,300                | 227,500    | 1,000                | 175,000    | 2,300 M <sup>3</sup>  | \$ 402,500    |
|                |           |                      |           | 1,800                | 252,000    |                      |            | 1,800 M <sup>3</sup>  | \$ 252,000    |
|                | 3,777,080 |                      | 14,880 3. |                      | 14,519,800 |                      | 34,908,550 |                       | \$ 98,115,130 |

### VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El proyecto y construcción de una estructura de tierra deben cumplir ciertos requisitos que dependen del comportamiento y propiedades de los suelos.

Los siguientes factores contribuyen a dar una idea de dichos conceptos y son:

- 1o.- La experiencia
- 2o.- La información que brinda el laboratorio
- 3o.- La teoría

Estas tres fuentes de conocimiento se complementan entre si.

Los suelos presentan especial dificultad para su estudio debido a su naturaleza. Ningún material presenta una diversidad tan grande de características como la tierra. Generalmente la tierra debe emplearse tal como se encuentra en un sitio determinado y pocas veces se presenta la oportunidad de poder seleccionar el suelo que se va a utilizar.

En el estudio de un suelo debe reconocerse que pocos son los análisis que arrojan datos que sean de una gran exactitud y la mayor parte de ellos dan datos que son en el mejor de los casos estimaciones burdas.

En los resultados de las pruebas de laboratorio la escala juega un papel muy importante pues muchas veces es imposible reproducir en el laboratorio los efectos que se logran en la naturaleza y también que muchas de las hipótesis que se hacen con respecto a las pruebas no son estrictamente ciertas; además muchas veces no se puede tener un conocimiento exacto de las condiciones existentes en un caso determinado pues aún exploraciones cuidadosas pueden señalar un factor que puede ser determinante.

Por estas razones el estudio de cada caso especial debe hacerse siguiendo un programa de laboratorio adecuado, pues las pruebas de rutina no son suficientes muchas veces para poder juzgar un problema.

De los estudios en el laboratorio se determinan

propiedades físicas de un suelo y su comportamiento bajo -- diferentes condiciones que se supone se presentarán en alguna época de la vida de la estructura de la que va a formar parte.

Dichas propiedades sirven para el diseño de la estructura por medios de métodos racionales, de los cuales el más usado para conocer las condiciones de esfuerzo en el interior de una estructura de tierra, es el método -- sueco descubierto por K. E. Petterson y perfeccionado por otros investigadores. Dicho método es, según estudios y observaciones hechas en la práctica, el que más se acerca a las condiciones de falla que se presentan en dichas estructuras.

En resumen debe señalarse que para lograr un diseño equilibrado y económico de una estructura del tipo de la que se ha estudiado, debe disponerse de las tres fuentes de conocimiento señaladas, representadas, la primera -- por personal experimentado en esta clase de trabajos; la segunda por un laboratorio bien manejado y la tercera por un método de cálculo que se apegue lo más posible a la realidad. Estos tres factores deben estar ligados entre sí de tal manera que se obtenga el mejor fruto posible; sin embargo, es necesario que se siga estudiando el problema tema de la presente tesis, pues todavía hay ciertas incertidumbres y se presentan algunos fracasos que no tienen explicación satisfactoria. Además ~~para~~ estudiando el comportamiento de la estructura se hace necesaria la instalación de piezómetros y la observación de los asentamientos en la misma.

Es de recomendarse que en construcciones futuras se haga todo lo posible para conocer el funcionamiento real de ellas, para que las enseñanzas que se obtengan, se apliquen a los métodos de diseño y se logre perfeccionar -- los cada día más.