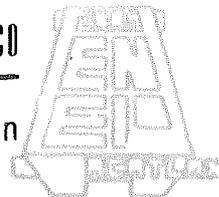




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán

INGENIERIA CIVIL



Tratamiento para Cimentaciones de Presas

T E S I S

Que para obtener el título de :

I N G E N I E R O C I V I L

p r e s e n t a n :

GONZALO CONTRERAS VILLEGAS

JULIO GUADALUPE TELLEZ ACEVEDO

MARCELINO SANCHEZ TORICES

M-0028612



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:

JOSE A. CONTRERAS MARTINEZ.

SIMONA VILLEGAS PEREZ.

A QUIENES LES AGRADEZCO
SU INCALCULABLE AYUDA.

MIS HERMANOS:

CARLOS, ALFREDO, ESTELA, LOURDES
Y SUSANA,

POR SU GRAN APOYO.

MI ESPOSA:

MA. CONCEPCION ELIZALDE G.

POR SU CARINO, AMOR Y SU GRAN AYUDA.

DEDICO ESTE TRABAJO A MIS PADRES
CON PROFUNDO AMOR Y RESPETO, EN
AGRADECIMIENTO AL APOYO MORAL --
QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO.

A MIS HERMANOS:

JOSE,
JUAN ANTONIO Y PATRICIA,
TERESA Y SALVADOR

Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DIRECTAMENTE HAN CONTRIBUIDO A MI INTEGRACION HUMANA Y PROFESIONAL.

A MIS PADRES

REYES Y SOFIA

POR SU CARIÑO Y DESINTERESADA AYUDA.

A MI ESPOSA

POR SU COMPRENSIÓN Y AMOR

A MIS HERMANOS

ALFREDO, TERESA, BETO, MARIA
BENJAMIN, PANCHO, TRINI Y --
FELIX.

POR SU ALEGRIA ANIMADORA.

AGRADEZCO A INGENIERIA Y
PROCESAMIENTO ELECTRONICO
S. A. EL APOYO BRINDADO.

RECONOCIMIENTO

AL M. EN I. GABRIEL MORENO PECERO

POR LA MAGNIFICA DIRECCIÓN Y AYUDA
QUE NOS BRINDO PARA LA REALIZACIÓN
DE ESTE TRABAJO.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS
QUE NOS BRINDARON SU DESIN
TERESADA COLABORACION Y -
AYUDA.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN-UNAM"
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA Y ACTUARIA.



CAI-C-028-80.

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

SEÑORES:

GONZALO CONTRERAS VILLEGAS,
JULIO GUADALUPE TELLEZ ACEVEDO,
MARCELINO SANCHEZ TORICES,
Alumnos de la carrera de
Ingeniero Civil,
P r e s e n t e .

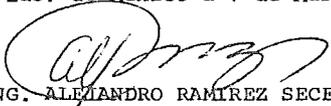
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 17 de enero de 1980, me complace notificarles que esta Coordinación tuvo a bien asignarles el siguiente tema de Tesis: "TRATAMIENTO PARA CIMENTACIONES DE PRESAS", el cual se desarrollará como sigue;

- I. Introducción
- II. Criterios de selección para el sitio de una cortina.
- III. Estudios geotécnicos para una presa.
- IV. Comportamiento mecánico del terreno de apoyo de una cortina.
- V. Tratamientos de cimentación.
- VI. Conclusiones.

Asimismo fué designado como director de tesis el Señor Ing. GABRIEL MORENO PECERO, profesor de esta escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlán Edo. de México a 7 de Marzo de 1980.


ING. ALEJANDRO RAMIREZ SECAÑA
Coordinador del Programa
de Ingeniería y Actuaría



ENEP - ACATLAN
COORDINACION DE
INGENIERIA Y ACTUARIA

TRATAMIENTO PARA CIMENTACIONES DE PRESAS

I N D I C E

<u>CAPITULO I</u>	PAG.
INTRODUCCION	2
 <u>CAPITULO II</u>	
<u>CRITERIOS DE SELECCION PARA EL SITIO DE UNA CORTINA.</u>	20
Visitas de Inspección	23
Estudios Técnicos Preliminares	25
 <u>CAPITULO III</u>	
<u>ESTUDIOS GEOTECNICOS PARA UNA PRESA</u>	28
Estudio Topográfico	29
Estudio Geológico	31
Estudio de Mecánica de Suelos y Rocas	41

M-0028612

<u>CAPITULO IV</u>	PAG.
<u>COMPORTAMIENTO MECANICO DEL TERRENO DE APOYO DE UNA CORTINA.</u>	66
Teorías	67
Instrumentación	69
Presa Netzahualcoyotl	89
Presa Hidroeléctrica Chicoasén	95

<u>CAPITULO V</u>	
<u>TRATAMIENTOS DE CIMENTACION</u>	106
Trincheras	107
Dentellones de Concreto	114
Delantales impermeables	117
Pantallas rígidas de Concreto	123
Pantalla Flexible o de Lodos	126
Pantallas Profundas de Inyección	130

<u>CAPITULO VI</u>	
<u>CONCLUSIONES</u>	136
<u>BIBLIOGRAFIA GENERAL</u>	142

CAPITULO I

CAPITULO I

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

El creciente aumento de la población, unido tanto a los problemas derivados del mismo, así como el desarrollo de México, - - hacen surgir la necesidad de crear obras de infraestructura para satisfacer las demandas del país, principalmente de alimentos y energéticos.

Dos de los sectores que destacan en la solución de estas demandas son el Agropecuario y el Industrial, este último en lo que se refiere a energía eléctrica; y su desarrollo se ve afectado en diferentes formas.

Para lograr el desarrollo del sector Agropecuario se deben vencer múltiples aspectos negativos de carácter social y físico.

Son muchos los aspectos de índole social que conviene hacer resaltar y obviamente las soluciones adecuadas que al respecto se tomen causarán efectos en la buena marcha del sector Agropecuario. En primer término, se tiene la distribución inconveniente de los habitantes dentro del territorio, ya que por una parte se presenta una gran densidad de población en las zonas centrales del país, (Valle de México, Tlaxcala, Toluca y Puebla), y por otra se conserva baja densidad de población en las

regiones tropicales del sureste del país y las costas del sur, así mismo en las zonas áridas del norte y noreste. (ref. 1)

En segundo término se tiene el incremento acelerado de la población urbana que priva de mano de obra al medio rural, acumulando en las ciudades elementos que, en muchas ocasiones -- no producen utilidad económica. Por otra parte, los relativamente bajos precios de garantía a algunos productos agropecuarios, la especulación y el acaparamiento de las cosechas y ganado por poderosos comerciantes; la falta de crédito gubernamental oportuno y de bajos intereses, para todos los ejidatarios, la ausencia de un sistema de transporte y vías de comunicación que lleguen a todos los rumbos del país; se unen al bajo nivel de vida de la población rural, y a su escaso poder de consumo, determinando la lenta mecanización de las labores -- del campo. (Ref. 2)

Los problemas de carácter físico tienen su origen en la topografía, el clima y la constitución de las formaciones naturales (suelo y rocas).

Con relación a la topografía del país, puede afirmarse que, -- restringe mucho las superficies dedicadas al trabajo agrícola. Según Tamayo, solamente el 36% del área total del territorio nacional tiene una pendiente menor del 10%, lo cual hace posible teóricamente su cultivo; y el resto, o sea, prácticamente dos terceras partes no es propicio para él, a menos que se --

lleven a cabo obras de acondicionamiento de las laderas montañosas, de tal manera que pueda ejecutarse el trabajo agrícola (Ref. 2). Por otro lado, en las planicies tropicales sobre todo en Tabasco y el sureste de Veracruz, cuenca baja del Papaloapan, valles del Pánuco, del Lerma, del Bravo y de otros grandes ríos, existe el inminente peligro de sufrir inundaciones en los años más lluviosos, de no ponerse en práctica planes de control de aguas en los cursos altos y bajos de los ríos. Lo que representa también una restricción al cultivo de esas áreas.

La influencia de los factores climáticos es muchas veces negativa para el desarrollo de la República, que se encuentra situada en la faja de grandes desiertos y de vegetación tropical, presentando lluvias con las siguientes características:

- a) El régimen de lluvias se caracteriza por precipitaciones de tipo tempestuoso muchas de ellas generadas por ciclones que se producen periódicamente.
- b) Las lluvias se concentran en dos períodos: el primero es el más importante y va de julio a octubre (lluvias normales, convectivas y ciclónicas); el segundo es de menor interés o sea el invernal de nortes (diciembre - febrero). El

resto del año casi todo el país sufre sequía - más o menos completa, excepto los territorios situados en lo alto de las sierras, donde llueve casi todo el año, aunque acentuándose las - precipitaciones pluviales en las épocas habi-- tuales de lluvia. (Ref. 1)

Por las razones anotadas, los mayores porcentajes de lluvias se presentan principalmente en áreas de la República que no ocupan su mayor parte, sino que se concentran en porciones del trópico de Veracruz, Tabasco, norte, este y suroeste de Chiapas, -- sur de la península de Yucantán, Huastecas, Morelos y algunas regiones de la costa del Pacífico (Nayarit, vertiente exterior de la Sierra Madre del Sur y partes de la planicie costera de Guerrero y Oaxaca), además de las cumbres de los principales - sistemas montañosos.

Al mismo tiempo, enormes extensiones del norte, noroeste , no - reste, centro y sur, sufren sequía absoluta y relativa, como -- sucede en Tlaxcala, valles centrales de Oaxaca, centro de Sinaloa, Zacatecas, valle de Méxicali y la mayor parte de Baja California.

Todos estos factores estimulan el fenómeno de la erosión de la tierra, ocasionada también indirectamente por factores sociales

y económicos. Sus efectos se advierten en una alta proporción en todos los estados del norte y centro de la República, además de Veracruz, Guerrero, Chiapas y Morelos. La distribución geográfica de los suelos en el territorio nacional obstaculiza -- igualmente las actividades agrícolas pues la existencia de tierras desérticas reduce grandemente las posibilidades de explotación en todo el norte y noroeste del país, lo mismo que la alta proporción de zonas montañosas con pendiente excesiva, en donde los suelos no pueden ser convenientemente utilizados. (Ref. 1).

Construir obras de riego para aprovechar mayores superficies -- que beneficien al agro mexicano, ha sido uno de los problemas -- que más ha preocupado a los gobiernos de la República, desde -- 1925 cuando se creó la Comisión Nacional de Irrigación. La necesidad de obras de riego es evidente, pues ya se dijo que donde el clima es seco por falta de suficientes precipitaciones pluviales, no se utilizan grandes extensiones de tierra para el cultivo; también es necesario construir obras de riego en diversas -- comarcas del centro y sur de la República a fin de tener dotación en las épocas de sequía y complementar la necesaria en las zonas del trópico en las épocas de estiaje.

Hasta 1925, las primitivas obras de riego se habían llevado a cabo en determinadas regiones del país, concentrándose en el norte

y en el centro de la República. (ref. 1)

A partir de 1926 comienza la hasta hoy ininterrumpida labor de proyecto y construcción de presas y canales.

Las obras emprendidas por el gobierno nacional, para beneficiar al sector agropecuario, son muy importantes para el desarrollo del país e inclusive las contruidas en las fronteras tienen -- influencia en México y en los países vecinos. Algunas de las -- presas del norte y noroeste del país que resultan especialmente importantes son:

ALVARO OBREGON y LA ANGOSTURA sobre el río Yaqui; MI--
GEL HIDALGO sobre el río Fuerte; presa MORELOS (que se
construyó derivando el curso del río Colorado cerca de
la frontera de Baja California y Arizona; la BOQUILLA
sobre el Conchos en la proximidad de Ciudad Camargo; -
la del AZUCAR (río San Juan) y la del MANTE en el esta
do de Tamaulipas; la presa FALCON en el bajo curso del
río Bravo; SANALONA en Culiacán, y la llamada DON MAR-
TIN en el oriente de Coahuila. (Ref. 3)

Lograr satisfacer la demanda de energía eléctrica es otro de los renglones que rigen el ritmo del progreso económico de México.

Esta necesidad es debida tanto al creciente aumento en el consumo por parte de empresas industriales, como a la expansión de las ciudades y el paulatino mejoramiento de los niveles de vida de diversos sectores de la población.

Es patente que todavía dista mucho de estar abastecido convenientemente el país en materia de luz y fuerza, pues sólo --- aproximadamente el 50% de la población mexicana se beneficia con estos servicios. (Ref. 1)

En los últimos años se han construido plantas y sistemas hidroeléctricos de gran importancia que son también de interés mundial. Sobresalen de los últimos las obras de la presa - - NETZAHUALCOYOTL (Chiapas); la de INFIERNILLO (Guerrero y Mi--choacán) y las de MEZATEPEC (Puebla). Ultimamente se han instalado las turbinas de las presas de la AMISTAD (Coahuila) y la VILLITA (Michoacán y Guerrero) Existen grandes plantas en Temazcal (curso del Tonto y Papaloapan), sobre el río Fuerte y el Yaqui, y en Malpaso del sistema Grijalva.

Otras necesidades que satisfacen las presas, aparte de las ya señaladas, son las siguientes.

- Dotar de agua potable a poblaciones o centros industriales.

- Regularizar el flujo de una corriente que provoca inundaciones a predios o poblados.

De lo señalado se deduce que una presa es uno de los elementos importantes de la infraestructura de un país y cumple una función social, porque va a satisfacer varias necesidades de la población. Esto unido a las grandes inversiones que requieren las presas para su elaboración y el riesgo que involucra su falla hacen que este tipo de obras se diseñen, construyan y operen de la mejor manera posible, aplicando los mejores conocimientos técnicos actuales, basados en la experiencia y el sentido común; para lograr esta eficiencia quizá una de las mejores tácticas que le convenga al ingeniero civil es estudiar las fallas que han ocurrido en estructuras similares con el fin de que no vuelvan a presentarse, con este propósito los autores de este escrito consideran conveniente comentar acerca de ellas. Las principales fallas que pueden presentarse en las cortinas son:

- a) Falla por insuficiencia del vertedor.
- b) Falla por tubificación.
- c) Falla por agrietamiento.
- d) Falla por deslizamiento de taludes.
- e) Falla por licuación.
- f) Falla por volteo.

- g) Falla por deslizamiento (en una presa de tipo rígido)

A continuación se describen brevemente en que consiste cada una de ellas.

a) FALLA POR INSUFICIENCIA DEL VERTEDOR.- Esta se presenta cuando la cortina es de tierra o de materiales graduados, y es debida, en términos generales a la deficiente estimación del gasto correspondiente que debe desalojar el vertedor de excesencias. En ocasiones esto se debe a la falta de la información hidrológica necesaria, tales como datos de precipitación pluvial, escurrimiento de las corrientes, así como a la selección no adecuada del período de retorno en que vuelva a presentarse la avenida máxima.

La consecuencia es que al tenerse una mayor avenida que la prevista, el vertedor no la desaloja en el tiempo calculado y el agua se vierte sobre la cortina, de tierra o de materiales graduados, erosionándola y dañando el talud de aguas abajo, con posibilidades de producirse la falla total de la cortina. - -
(Ref. 4)

b) FALLA POR TUBIFICACION.- Es debida a una erosión interna, originada por una fuerza de filtración del agua, ya sea en la cimentación o en el cuerpo de la cortina; siendo este último -

caso el menos frecuente.

La tubificación a través de la cimentación generalmente comienza en el lado de aguas abajo, junto a la cortina; y la erosión progresa hacia aguas arriba, labrando un conducto. Una vez que este conducto ha llegado al lado de aguas arriba la erosión puede avanzar rápidamente y provocar la falla de la cortina. (Ref. 5)

c) FALLA POR AGRIETAMIENTO.- Este tipo de falla es debida a asentamientos diferenciales, los cuales pueden causar grietas, tanto paralelas como perpendiculares al eje longitudinal de la cortina.

Las grietas más peligrosas son las que corren transversalmente al eje de la cortina, pues crean una zona de concentración del flujo de agua; son producidas generalmente por asentamientos diferenciales entre la zona central de la cortina y las zonas de la cortina próxima a las laderas de la boquilla. La condición más peligrosa para este agrietamiento es que el terreno en donde va a descansar la cortina sea compresible. Por otra parte, las grietas longitudinales suelen ocurrir, cuando los taludes de la presa se asientan más que su corazón de material impermeable. (Ref. 6)

d) FALLA POR DESLIZAMIENTO DE TALUDES.- La falla por deslizamiento de taludes, suele tener las tres variantes siguientes:

- 1.d) Fallas durante la construcción.
- 2.d) Fallas durante la operación.
- 3.d) Fallas después de un vaciado rápido.

1.d). FALLAS DURANTE LA CONSTRUCCION.- Estas fallas se han presentado, sobre todo en las presas cimentadas en arcillas blandas, con gran parte de la superficie de falla, a través de ese material pueden ser rápidas o lentas, según que el material de cimentación sea homogéneo o presente estratificaciones que favorezcan al movimiento. --
(Ref. 6)

2.d) FALLAS DURANTE LA OPERACION.- Estas fallas que han ocurrido durante el período de operación de las presas de tierra, han sido sobre todo de dos tipos: profundas, con superficie de falla invadiendo generalmente terrenos arcillosos en la cimentación y, superficiales, afectando sólo pequeños volúmenes del talud. Las fallas profundas suelen ocurrir a presa llena, y están relacionadas, con las presiones neutrales que se --

producen por la presencia del agua en la cortina y el terreno de cimentación.

En ocasiones, después de un periodo de lluvias intensas, se han presentado las llamadas fallas superficiales en los taludes de las cortinas afectando espesores relativamente importantes. Han ocurrido frecuentemente en presas, donde las capas gruesas de piedra acomodada o grava, en el talud de aguas abajo almacenan agua después de la lluvia, que puede contribuir a saturar dicho talud. (Ref. 6).

- 3.d) FALLAS DESPUES DE UN VACIADO RAPIDO.- Todas las fallas de importancia reportadas por deslizamientos de talud aguas arriba, han ocurrido como consecuencia de un vaciado rápido. Las fallas de talud aguas arriba no han causado el colapso de la presa o pérdida del almacenamiento; pero frecuentemente han ocasionado situaciones de peligro al taponar conductos, galerías, etc. (Ref. 6).

e) FALLAS POR LICUACION.- Es debida a la repentina disminución de la resistencia de los materiales que forman la cortina, que ocurre normalmente en las arenas sueltas o limos; cuando estos se encuentran saturados.

Estas fallas se desarrollan principalmente en el talud aguas arriba, y también en terrenos cimentaciones constituidas por este tipo de suelos. (Ref. 5)

f) FALLA POR VOLTEO.- Es la que se presenta cuando las fuerzas actuantes, en una presa del tipo rígido, tales como: la fuerza hidrostática del agua, la subpresión, el sismo, etc.,- son mayores que las fuerzas resistentes, una de ellas compuesta por el peso propio de la estructura.

g) FALLA POR DESLIZAMIENTO.- (En una cortina de gravedad). - Es aquella que puede presentarse cuando la resultante de las fuerzas verticales actuantes en una cortina del tipo rígido afectada por un coeficiente de fricción que existe entre la cortina y el terreno de apoyo, es menor que la resultante de las fuerzas horizontales resistentes que actúan sobre la cortina.

Del análisis de las fallas más comunes que pueden presentarse en una cortina de cualquier tipo, se deduce la gran importancia que tienen los materiales del terreno de apoyo de ella; - y para corroborarlo se tienen las observaciones de Maurice -- Lugeon señaladas al respecto en 1933 y que dicen textualmente;

"...La historia de la vida de las presas ha mostrado que aque

llas que han fallado ocasionando las más de las veces horribles catástrofes, no han fallado precisamente por error de -- cálculo de la estructura o porque se hayan utilizado materiales de mala calidad, sino más bien por insuficiencia de la -- cimentación sobre materiales malos, más o menos saturados de agua, la que ejercía una subpresión perniciosa; todo por el -- desconocimiento de la constitución geológica e hidrogeológica de la cimentación...."

Por lo tanto, el ingeniero debe conocer las propiedades mecánicas de los materiales que constituyen a la cimentación así como sus posibles variaciones en función de los diversos factores que las afectan, para estar en condiciones de predecir el comportamiento de la presa a través del tiempo. Una buena información relativa a las características del sitio es, también, un complemento indispensable.

Se deberá tener presente que las condiciones futuras de carga, presión y saturación a que se verá sujeta la cimentación y el vaso de una presa, serán condiciones nuevas y por tanto el -- comportamiento futuro de la cimentación y de la estructura -- que se superponga no es del todo predecible, sobre todo en lo que respecta al tiempo. Esta condición hace necesario inte-- grar en el diseño un completo sistema de observación y veri-- ficación de las hipótesis de trabajo.

Los problemas que se presentan en la cimentación de una presa se han reducido aplicando siempre métodos analíticos y experimentales para su tratamiento; más, no obstante los adelantos logrados en ambas tecnologías, con ninguno de los dos se han llegado a soluciones definitivas. Esto se debe a que ambos métodos utilizan datos que representan las propiedades mecánicas de los materiales (suelo y roca) y las leyes que definen el comportamiento en función de las diversas sollicitaciones y el tiempo, los que obviamente son sólo aproximaciones de la realidad.

El tratamiento de la cimentación consiste en mejorar sus condiciones en lo referente a su permeabilidad, resistencia a los esfuerzos cortantes o a su compresibilidad.

Los problemas más frecuentes que se presentan en las cimentaciones constituidas por roca, son debidas a familias de fisuras, fracturas, juntas, planos de estratificación que ofrecen vías de escape de agua por lo que es necesario taponarlas.

Filtraciones a través de la cimentación pueden presentarse también, cuando esta constituida por depósitos aluviales de alta permeabilidad y en ocasiones resulta conveniente emprender trabajos para impermeabilizar estos materiales con el fin de reducir o eliminar las filtraciones a través de ellos.

Cuando la cimentación esta formada por depósitos blandos o de alta compresibilidad, que no pueden ser eliminados por excavación tratándose de grandes volúmenes, puede resultar conveniente mejorar sus propiedades mecánicas sometiéndolos a procesos acelerados de consolidación.

REFERENCIAS

CAPITULO I

- 1.- GEOGRAFIA ECONOMICA DE MEXICO
Angel Bassols Batalla
Editora LIMUSA

- 2.- GEOGRAFIA GENERAL DE MEXICO - Tomo II
Jorge L. Tamayo.
Instituto.
México, D.F. 1962

- 3.- PRESAS CONSTRUIDAS EN MEXICO
Publicación de S.R.H.
México, D.F. 1972.

- 4.- PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
PRESAS DE TIERRA.
Enrique Tamez González.
S.R.H., México, D.F., 1972.

- 5.- CONTRIBUCIONES DE LA MECANICA DE SUELOS AL DISEÑO
Y CONSTRUCCION DE PRESAS DE TIERRA.
S.R.H., México, D.F., 1961.

- 6.- MECANICA DE SUELOS, - Tomo II
Eulalio Juárez Badillo.
Rico Rodríguez.
México, D.F. 1976.

CAPITULO II

CAPITULO II

CRITERIOS DE SELECCION PARA EL SITIO DE UNA CORTINA.

La importancia y los beneficios que proporcionan las presas (como se mencionó en el primer Capítulo), así como el hecho de la gran inversión económica que requieren y el riesgo que involucra la falla de ellas, hacen que este tipo de obras se diseñen y se construyan con un factor de seguridad conservador, porque en el caso de que fallara una estructura de tal magnitud causaría pérdidas humanas y materiales que menguarían el desarrollo de la nación.

Uno de los primeros pasos que se dan para que este tipo de obras es realizar un estudio muy cuidadoso para seleccionar el sitio donde se desplantará la cortina.

El estudio mencionado está influenciado por:

- a) Los propósitos de desarrollo de los recursos hidráulicos.
- b) La conveniencia física de los sitios disponibles para lograr esos propósitos, sin riesgos y en forma económica.
- c) La planeación del desarrollo integral de la región.

Las presas deben cumplir con los objetivos relevantes del desarrollo regional de los recursos hidráulicos, ya que cada propósito requiere de ciertas características de la obra, diferentes a las de otro y ello consecuentemente influirá en la selección del sitio donde se desplantará la cortina, que es el objetivo de este trabajo.

Los propósitos de desarrollo de los recursos hidráulicos pueden ser:

- a.1.- Almacenamiento y control de agua para riego, para uso doméstico y para uso industrial.
- a.2.- Generación de energía hidroeléctrica.
- a.3.- Almacenamiento para control de avenidas.
- a.4.- Incremento de tirante hidráulico para navegación.

La conveniencia física de los sitios disponibles para lograr los propósitos señalados, está influenciada por los siguientes factores, más relevantes:

- b.1.- Existencia de otros sitios alternativos.
- b.2.- Ubicación del sitio respecto a la zona beneficiada.
- b.3.- Disponibilidad de materiales de construcción.

- b.4.- Facilidad de acceso al sitio.
- b.5.- Condiciones de impermeabilidad de la cimentación y el vaso.
- b.6.- Cuantificación de afectaciones originadas por la creación del vaso.
- b.7.- Efectos adversos ocasionados aguas abajo -- por el embalse aguas arriba.

El análisis de cada uno de los factores mencionados, en cada uno de los sitios alternativos, conducirá necesariamente a la selección de uno de ellos como el más adecuado.

En cuanto a la planeación del desarrollo integral de la región es conveniente señalar que las presas que se proyecten en la actualidad deben constituir unidades integrales de programas diseñados a satisfacer en forma práctica y económica todos -- los objetivos del desarrollo regional de los recursos hidráulicos, pero en ningún momento, la satisfacción de necesidades -- inmediatas deberán de realizarse a expensas o en forma comprometedora del desarrollo futuro, es decir, que cuando se requiera aceptar proyectos o programas de desarrollo futuro que -- habrán de satisfacer objetivos parciales, en vez de las metas integrales de una planificación regional, las presas se deberán situar con especial cuidado para evitar entorpecer las -- oportunidades futuras de desarrollo de la región.

A continuación se mencionarán las actividades necesarias para determinar la selección del sitio de una cortina.

- I) Visitas de inspección.
- II) Estudios preliminares técnicos.

VISITAS DE INSPECCION.

Las visitas de inspección, surgen de la necesidad de localizar sitios apropiados que permitan alcanzar el desarrollo de los recursos hidráulicos obedeciendo a un plan regional.

Si se considera el número de sitios que se requieran estudiar en forma preliminar, así como la limitación de los recursos económicos del Gobierno Federal, se hace indispensable que en cada sitio se efectúe un análisis preliminar que muestre la factibilidad técnica y económica de manera rápida y expedita, permitiendo, obtener una visión de conjunto lo más realista posible del proyecto suponiéndolo construido y operando.

El objetivo de una visita de inspección consiste en detectar los recursos físicos del sitio de la obra y sus características socioeconómicas, recorriendo tanto la zona de proyectos como su zona de influencia, a efecto de recabar información que permita determinar su factibilidad. Esta información está constituida por:

- a) Antecedentes.- Consisten esencialmente en el nombre del sitio, Municipio, tipo de presa - planeada.
- b) Vías de acceso al sitio de la obra.- Se incluyen el tipo y longitud de caminos de acceso existentes al lugar de la obra y de éste, al de la boquilla propuesta.
- c) Aspectos socioeconómicos.- Siendo a nivel -- regional, se describen las actividades del - tipo económico, los servicios públicos existentes y las observaciones del nivel de vida de la zona, si es a nivel nacional esto será secundario, ya que los objetivos que se pretenden serán de beneficio para la región y - para el país.
- d) Fuente de abastecimiento.- De ésta se reco-- pilan los aspectos físicos de la cuenca de - aprovechamiento, de la boquilla y del vaso.
- e) Datos de gabinete para la presa.- Nombre de la corriente tributaria, cuenca y subcuenca; área aproximada; avenida máxima probable; es-- currimientos.
- f) Observaciones y recomendaciones acerca del - sitio.- Se mencionarán las necesidades de los estudios convenientes, según las conclusio--

nes obtenidas con la visita de inspección.

Es conveniente subrayar la importancia que tiene el informe de una visita de inspección puesto que, un diagnóstico equivocado puede traer como consecuencia el que se inviertan recursos en la preparación de un proyecto que, al ser evaluado técnica, económica y socialmente en la etapa final de su revisión, tenga que ser rechazado, trayendo entre otras graves consecuencias, además de las inversiones realizadas, las alteraciones a los programas constructivos que quiten oportunidad a otros proyectos que se tienen en la república, por tanto, el ingeniero que realice una visita de inspección preliminar, deberá tener conciencia, preparación y experiencia tal, que le permita formular un diagnóstico de la factibilidad de la obra.

ESTUDIOS TECNICOS PRELIMINARES.

El objeto de llevar a cabo este tipo de estudios, es el de reunir la información indispensable que ayude a la formulación de un anteproyecto y el de evitar gastos innecesarios que representen la ejecución de los estudios definitivos en aquellos aprovechamientos que pueden ser desechados en los estudios técnicos preliminares o con la visita de inspección.

Los estudios preliminares técnicos para una presa son:

Hidrológicos.

Topográficos: para cuenca, vaso y boquilla.

Geológicos: para vaso y boquilla.

Existen otros estudios también técnicos pero que, para diferenciarlos de los anteriores se han denominado simplemente - estudios socio-económicos y que constituyen otra información muy valiosa que conciliada con los estudios de ingeniería -- permiten detectar la factibilidad socio-económica y técnica del proyecto.

CAPITULO III

CAPITULO III

ESTUDIOS GEOTECNICOS PARA UNA PRESA.

Para el proyecto de una presa es de vital importancia la realización del estudio geotécnico, el cual tiene como principal objetivo el conocer todas las características que existen en la boquilla y el vaso.

Las características más importantes son:

- a) La orografía.
- b) Las formaciones geológicas.
- c) El comportamiento del terreno de apoyo de la cortina en cuanto a esfuerzo-deformación, a su relación y a su variación con el tiempo.
- d) Niveles piezométricos en el vaso y en la boquilla.

En términos generales, el estudio geotécnico contempla:

- a) Estudios topográficos.
- b) Estudios geológicos.
- c) Estudios de mecánica de suelos y rocas.

ESTUDIO TOPOGRAFICO.

El estudio topográfico de la región es importante, ya que por medio de él se pueden ubicar y diseñar las diferentes obras - componentes de la presa, además es uno de los elementos que - permite determinar la curva de elevaciones-capacidades y elevaciones-áreas de tal modo que se puede conocer el embalse y - el area inundada a cualquier elevación.

Es por esto que, el ingeniero que proyecte las diferentes estructuras de la presa deberá obtener la información topográfica mediante métodos confiables que proporcionen una mayor - seguridad, ya que al tener errores en la topografía, se causarían cambios en el proyecto con un incremento en la inversión, por lo tanto, se deberá conocer el terrero para suplir con criterio las deficiencias que puedan afectar a las estructuras de la presa.

El levantamiento topográfico que se efectúa en el embalse, es generalmente por medio de fotogrametría y/o levantamientos terrestres, apoyándose con poligonales en el vaso propuesto y configurándolo con tránsito, nivel y plancheta.

La combinación de estos métodos, presenta algunas ventajas - como:

- a) El avance rápido del trabajo.
- b) El menor costo del levantamiento.
- c) El dibujo directo de los planos, en el campo -- (Plancheta).
- d) Descubrir fácil e inmediatamente los errores -- con líneas de comprobación.

En zonas extensas los levantamientos se realizan con fotografías aéreas (fotogrametría), permitiendo realizar la planimetría y altimetría, simultáneamente de la zona en estudio, en una forma económica y rápida, tiene la ventaja de tener una precisión uniforme de toda la extensión del plano. En algunos casos se combinan estos levantamientos con perfiles obtenidos mediante radar o lasser, debido a que sus mediciones -- son muy precisas.

Los levantamientos aéreos donde se tienen zonas boscosas, normalmente están afectados por errores importantes en cuanto a la capacidad del vaso. Este error proviene generalmente de -- las correcciones que se hacen a estos levantamientos, atendiendo a la altura media de la vegetación en la superficie -- estudiada.

Cabe recalcar, que para diseñar las diferentes estructuras de una presa, es necesario contar con la topografía detallada --

del sitio o boquilla en un tramo que no sólo abarque la cortina, obra de toma, vertedor y el vaso, sino también los caminos de construcción, ataguías, túneles de desvío, etc.

Se necesitarán curvas de nivel a cada metro para diseñar las citadas estructuras, dicho plano sirve también como referencia para estimar cantidades de excavación y de relleno al ejecutarse el proyecto. Es fundamental que éstos levantamientos se ligen a una triangulación y se establezca una cuadrícula de apoyo para determinar la posición de los puntos de cada estructura, esos puntos deben tener la designación y sus tres coordenadas inscritas en una placa, a fin de facilitar las labores y evitar errores.

ESTUDIO GEOLOGICO.

Los suelos y los macizos rocosos que forman la cimentación y empotramiento de las diferentes estructuras de la presa, son sistemas cuya resistencia, deformabilidad y permeabilidad, están gobernadas generalmente por las características geológicas, estructurales, definidas por superficies de debilidad como fallas y familias de fisuras, fracturas, juntas y planos de estratificación.

Para que la cortina trabaje satisfactoriamente, se deberán -

controlar los esfuerzos que se induzcan a los materiales de apoyo de la cortina y consecuentemente los efectos resultantes en deformación y flujo de agua.

La Geología y la Ingeniería Civil son dos disciplinas que participan en estrecha colaboración para saber el posible comportamiento de los materiales de apoyo al modificar sus condiciones naturales a la hora de construir la cortina.

Importancia de los Estudios Geológicos.

Después de identificar un sitio por sus condiciones topográficas favorables para ubicar la cortina, se procede a definir la factibilidad técnica del proyecto mediante el levantamiento geológico regional y detallado del sitio. Estos estudios pueden ser fotogeológicos, secciones geológicas obtenidas del estudio de muestras de perforaciones y galerías, y prospección geofísica.

Con estos levantamientos geológicos se puede identificar las formaciones, localizar fallas, sistemas de fracturamiento, observar el intemperismo de las rocas y la carsticidad en su caso, con el fin de aportar todas aquellas características que interesan al proyectista de la obra hidráulica.

El alcance del Estudio Geológico.

En general se deberá contar con información que nos proporcione una idea clara de las formaciones y evolución de las montañas que circundan al sitio, la erosión del relieve y formación de la boquilla, la sismicidad de la región y las condiciones geohidrológicas regionales; así como la disponibilidad de materiales de construcción.

Con lo anterior, se pretende conocer y comprender las estructuras geológicas de la región para poder interpretar los detalles del sitio.

Planeación del Estudio Geológico.

El Ingeniero Civil y el Geólogo se deberán coordinar para obtener una buena planeación de estudios geológicos, ya que el ingeniero establece los requerimientos de la información y el geólogo es el responsable de planear y organizar la investigación del sitio e identificar los problemas y los riesgos geológicos que se presentan en el lugar.

La información de carácter ingenieril en las etapas de factibilidad, pueden agruparse en los conceptos siguientes (K Nill J. L. 1954).

- a) Determinación de la resistencia, deformabilidad, permeabilidad y estabilidad química de los materiales que constituyen la cimentación y empotramiento en forma cuantitativa, teniendo especial cuidado en conocer su variación con el tiempo.
- b) Localización del nivel freático y la distribución de las presiones de agua.
- c) Existencia y localización de los materiales apropiados para la construcción.
- d) Identificación de los riesgos geológicos específicos del sitio.

La experiencia indica que la obtención de la geología del sitio y la evaluación de ésta, no es tarea fácil y no siempre se logra mediante la ejecución directa de una serie de acciones pre establecidas.

Por lo tanto, para poder emitir detalles se deberán realizar -- las exploraciones que permitan reducir el grado de incertidumbre para poder definir una "Envolvente de incertidumbre geológica" que sea compatible con la economía del proyecto.

La planeación de los estudios geológicos puede considerarse -- desde dos puntos de vista:

- 1.- De acuerdo a las alternativas de anteproyecto de la estructura, de tal forma que los resultados proporcionen información sobre la factibilidad geológica de alguna alternativa en particular.
- 2.- De tal manera que pueda obtenerse una completa información de las condiciones del terreno, para lograr una mejor adaptación de los aspectos específicos de la ingeniería de la obra.

La información que se necesita de las condiciones del terreno puede agruparse como sigue:

- a) La clasificación de los tipos de roca y su distribución relativa, que conduzca a la interpretación de la estructura de la zona en estudio.
- b) Las propiedades físicas de las rocas incluyendo su estado de alteración o intemperismo y su resistencia a este fenómeno.
- c) La descripción detallada de la estructura del suelo.
- d) Las condiciones del agua subterránea.
- e) El estado natural de esfuerzos.

EXPLORACION

La exploración geológica se puede llevar a cabo mediante los siguientes métodos:

- 1.- Métodos directos superficiales.
- 2.- Métodos indirectos geofísicos.
- 3.- Perforaciones.
- 4.- Excavación de galerías.

Métodos Directos Superficiales.

Son aquellos que permiten conocer la siguiente información del área en estudio.

- Los diversos tipos de roca existente.
- Las relaciones que existen entre los tipos de roca y la estructura geológica.
- La localización de plegamientos y fallas.
- La distribución de los depósitos de suelo.
- La alteración e intemperismo.

Por medio de esta información se podrá proponer las diferentes alternativas de localización de eje de la cortina y servirá de base para la planeación de las diferentes etapas de exploración.

Los métodos directos superficiales se llevan a cabo por medio de la fotogrametría, fotointerpretación y el mapeo o levantamiento topográfico geológico terrestre.

La fotointerpretación permite identificar los grandes rasgos estructurales, utilizando fotografías de satélite, que cubran áreas de 35,000 Km². en una sola fotografía. La identificación y delimitación de los diferentes tipos de roca y detalles menores, se logra normalmente en pares estereoscópicos de fotografías.

El mapeo o levantamiento topográfico geológico terrestre, es el método que consiste en el levantamiento de campo mediante brigadas que van vaciando sobre los planos topográficos, todos los detalles geológicos de contactos, juntas, fracturas, fallas, etc.

Este levantamiento permite la verificación de campo de la interpretación fotogeológica de la boquilla y del vaso, obteniendo las posibles fallas no encontradas en las fotografías aéreas.

Métodos Indirectos Geofísicos.

La información que pueden proporcionar estos métodos es la siguiente.

- Estratigrafía.
- Configuración del nivel freático.
- Variación de las características de la roca correlacionadas con la velocidad de transmisión de ondas o de corrientes eléctricas.

Los métodos geofísicos más usuales en ingeniería de presas, son aquellas técnicas que se basan en la sismicidad y en la resistividad eléctrica. Existen otros métodos que son magnéticos y gravimétricos que casi no han sido usados debido a lo errático de su información y a la difícil interpretación de sus resultados.

Perforación.

La perforación, es una actividad necesaria en todo programa de exploración ya que por medio de las muestras que se obtienen, se pueden conocer las características del material perforado mediante una serie de pruebas de laboratorio, pruebas en el interior de la perforación y observación directa de las muestras.

La selección de los sitios para las perforaciones y la profundidad de éstas estarán determinadas por la interpretación de geología a la que se haya llegado con los métodos directos

superficiales, que normalmente se realizan en las primeras etapas del estudio.

Los principales criterios para la planeación del programa de perforaciones pueden agruparse como sigue:

- Control por geología.
- Control por los requerimientos de ingeniería.
- Control por cuadrícula o ejes.

Control por Geología

Las perforaciones se sitúan con el principal objetivo de definir con el mayor detalle posible, la geología del sitio y del vaso, después de obtener la probable geología de la zona en estudio se hará la mejor adaptación del proyecto , haciendo después perforaciones complementarias para satisfacer las exigencia del proyecto.

Control por los Requerimientos de Ingeniería.

El programa de perforaciones se ejecuta apoyándose en los ante proyectos de la presa, ejecutándose las perforaciones por ejemplo a lo largo del eje de la cortina, del eje del vertedor, túneles, etc.

Control por Cuadrícula o Ejes.

Este sistema presenta la ventaja de que se obtiene información con la cual pueden fácilmente interpretarse secciones y elaborar modelos en tres dimensiones de la geología del sitio.

Gran parte del éxito de la exploración se debe a la calidad -- de la obtención de la muestra, así como de la experiencia con -- que el geólogo vaya modificando el programa a medida que acu-- mula información y va confirmando la interpretación original -- que se haya hecho de la zona en estudio.

Excavación de Galerías.

Este tipo de exploración se realiza con el propósito de:

- Hacer una inspección visual de las características de la información y juzgar la profundidad -- en que se ve afectada por el intemperismo.
- Efectuar mediciones del espaciamiento y orientación de los planos de falla, fracturamiento y -- estratificación.
- Obtener muestras inalteradas.
- Realizar pruebas de campo.
- Se utilizarán como galerías de inspección y drenaje, una vez realizada la construcción del ---

proyecto.

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS.

El estudio de Mecánica de Suelos y Rocas es factor que auxilia al ingeniero civil para cuantificar las características del modelo geológico, y esto se logra mediante mediciones, pruebas de campo y de laboratorio.

Generalmente el estudio de Mecánica de Suelos y Rocas se realiza en la boquilla y en algunas ocasiones se extiende hacia las laderas del vaso; pero cabe hacer la aclaración de que con este estudio no se obtienen resultados muy precisos, debido a las hipótesis que se utilizan y que únicamente se asemejan a la realidad.

Por lo tanto, el ingeniero deberá conformarse con "aproximaciones"; y podrán ser suficientes para llegar a planteamientos de soluciones adecuadas para los problemas que tenga que resolver.

Se deberá tener presente que las condiciones de carga, presión y saturación a que se verá sujeta la cimentación (y el vaso) de una presa, serán condiciones nuevas y por lo tanto el comportamiento futuro de la cimentación y de la estructura

que se le suponga no es del todo predecible, sobre todo en lo que respecta al tiempo.

Los principales problemas que se encuentran en la cimentación de presas son:

- a) Los esfuerzos en la cimentación, las deformaciones asociadas a los mismos y su relación con el tiempo.
- b) Las filtraciones y las subpresiones.

Para poder dar soluciones adecuadas a los problemas anteriores el ingeniero debera conocer las características tanto de suelos como de rocas de:

- I Resistencia a la compresión.
- II Resistencia al cortante en grietas, juntas, - planos de estratificación o de falla.
- III Deformabilidad.
- IV Permeabilidad
- V Características estructurales.

Resistencia a la Compresión

La prueba de compresión simple (sin presión de confinamiento), proporciona un índice de cuantificación de la resistencia de -

la matriz rocosa que constituye a un macizo rocoso. Al respecto se han presentado en varias publicaciones una serie de objeciones sobre la poca utilidad que tienen los resultados de esta prueba, sobre todo por su gran dispersión, más sin embargo Hoek y Londe (1974) argumentan lo siguiente:

- a) El valor medio de la resistencia a la compresión simple permite una primera clasificación de sitios.
- b) Las variaciones de una zona a otra de un mismo sitio proporcionan información sobre su heterogeneidad.
- c) La anisotropía de la resistencia medida en las probetas es indicación de una posible anisotropía a gran escala.
- d) La dispersión de los resultados obtenidos en las pequeñas probetas es un índice del fracturamiento de la matriz rocosa que depende de la historia tectónica del macizo rocoso. (ref. 1)

Resistencia al cortante en grietas, juntas, planos de estratificación o de falla.

La resistencia a los esfuerzos que se presentan en las discon--

tinuidades geológicas es mínima, en comparación a la resistencia de las cimentaciones o los taludes en roca, por tanto, - la ruptura de estos macizos raramente se presenta por fracturamiento de la roca intacta o matriz rocosa; el comportamiento mecánico de las cimentaciones esta regido por los desplazamientos por cortante sobre las superficies de discontinuidad geológica, tales como las fisuras y las juntas. Por lo tanto, la - determinación de la resistencia al cortante en estas superficies de discontinuidad geológica es fundamental para el estudio del comportamiento de cimentaciones de presas de arco .

Las superficies de discontinuidad (estratigráficas o tectónicas), tienen por lo general una resistencia nula a la tensión y una resistencia al cortante que depende entre otros factores de la rugosidad de las paredes, del material de relleno y de la trabazón existente en los bloques. Desde el punto de vista de estabilidad son evidentemente más peligrosas las superficies planas, lisas, rellenas de material blando, de gran extensión y sin trabazón entre bloques. Este es el caso común de las fallas mayores. Las superficies de separación menos peligrosas son aquellas que no han sufrido en su vida geológica desplazamientos por cortante y por lo tanto tienen una rugosidad, carecen de relleno y una fuerte trabazón entre bloques.

Deformabilidad .

Antes de abordar el problema de la deformabilidad de un macizo rocoso es necesario considerar la sensibilidad del estado de esfuerzos en la cortina de concreto ante las deformaciones de la cimentación. Al respecto se ha establecido una conclusión general sobre la influencia que sobre el estado de esfuerzos en la estructura ejerce la relación E_m/E_c (E_m =Módulo de elasticidad del macizo rocoso que constituye la cimentación y E_c =Módulo de elasticidad del concreto). A continuación se representa esta conclusión. (Ref. 1)

Muy importante	$\frac{E_m}{E_c} \leq \frac{1}{16}$
Importante	$\frac{1}{16} < \frac{E_m}{E_c} \leq \frac{1}{8}$
Poco importante	$\frac{1}{8} < \frac{E_m}{E_c} \leq \frac{1}{4}$
Irrelevante	$\frac{1}{4} < \frac{E_m}{E_c} \leq 1$

Otro aspecto que se tiene que contemplar también es la presencia de juntas, fallas, fisuras, planos de estratificación y otras anomalías en la cimentación y empotramiento debido a -- que la posición de estas características puede ser tal que les de orientación de manera que el empuje la cierre, comprima y consolide o que su orientación respecto al empuje haga factible el desplazamiento de bloques. En cada caso se harán los análisis e investigaciones específicas.

Métodos para determinar el coeficiente de elasticidad o de deformabilidad.

a) Dilatómetros: Este es uno de los métodos que da los resultados mas expeditos y puede realizarse con facilidad a diversas profundidades - aprovechando las perforaciones que se realizan en la etapa de exploración. Este instrumento comprende un cilindro de acero sólido dividido por un corte axial en dos medias cañas en cuyo interior se alojan los extensómetros, que miden la deformación. Con estos instrumentos es posible medir la presión aplicada y la deformación. En varias direcciones a una misma profundidad.

b) Prueba de gatos planos: El procedimiento de esta técnica consiste, a grandes rasgos en lo siguiente:

- 1) Se hace una ranura o un grupo de ellas con un disco de diamante, en un plano perpendicular a la superficie del macizo rocoso, en una profundidad "h" y en un espesor "t"
- 2) Introducción de un gato plano en cada ranura con una altura "h-a" donde "a" es la profundidad a la que queda la parte superior del disco.

- 3) Aplicación de la misma presión "P" en los gatos.
 - 4) Medición de la abertura "S" de las ranuras en algunos puntos por medio de deformímetros instalados en los gatos.
 - 5) Determinación del modulo de deformación, basado en los diagramas de (Presión-Deformación). (Ref. 1)
- c) Prueba de carga de placa: Los ensayos de deformabilidad, empleando placas de distribución que aplican cargas directamente contra las paredes de una galería, es indiscutiblemente uno de los ensayos más utilizados en investigaciones de campo.

La placa de distribución es casi siempre circular y de diámetro tal que distribuye la carga en aproximadamente 1 M2. de superficie. Esta placa puede ser rígida o flexible; en cualquier caso, el cálculo de los módulos de elasticidad se efectúa suponiendo que el macizo rocoso es un sólido infinito, homogéneo e isotrópico, en cuanto a elasticidad.

Los desplazamientos de las paredes normalmente se miden en el centro de aplicación de la carga, para lo cual la placa de

apoyo tiene un agujero central aunque en ocasiones también se miden desplazamientos en otros puntos a lo largo de un diámetro y aún fuera del área de aplicación de los esfuerzos.

La medición de las deformaciones de roca se efectúan en una o en ambas paredes de la galería, utilizando extensómetros mecánicos.

PERMEABILIDAD .

La permeabilidad de un suelo o de un macizo rocoso es la facilidad mayor o menor con que el agua puede fluir a través de los poros; o de las fisuras, juntas, etc., como es el caso de las formaciones rocosas.

Esta característica es una de las que más preocupan a los ingenieros que se dedican al diseño de presas, por razones obvias y por el hecho de que en el terreno de apoyo de la cortina se encuentren materiales de diferentes permeabilidad, dificultando su estudio y su correspondiente control.

Luego entonces surge la necesidad de conocer con claridad la forma en que ocurre el flujo de agua en medios porosos. Al respecto, Henry Darcy determinó la Ley que rige ese flujo de agua que indica: "La velocidad con que el agua fluye a través de un medio poroso, es directamente proporcional al gradiente

hidráulico, o sea:

$$V = K i$$

Donde:

K = Constante de proporcionalidad llamada coeficiente de permeabilidad.

i = Gradiente hidráulico.

Cabe hacer la aclaración que esta ley sólo se cumple, si se tiene un flujo de agua con régimen laminar.

Determinación de la permeabilidad en los suelos.

La permeabilidad de un suelo o de un macizo rocoso se puede determinar directamente en el terreno, mediante pruebas de campo, o bien en el laboratorio, utilizando muestras representativas.

Determinación en el laboratorio: Una forma eficiente de medir la permeabilidad en el laboratorio, es tomar muestras representativas de los materiales de apoyo y someterlas a ensayos en unos dispositivos donde se establece un flujo de agua controlando las pérdidas de carga, tales dispositivos se conocen como permeámetros, ya sea de carga constante o de carga variable.

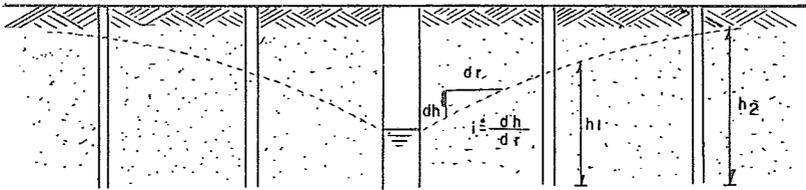
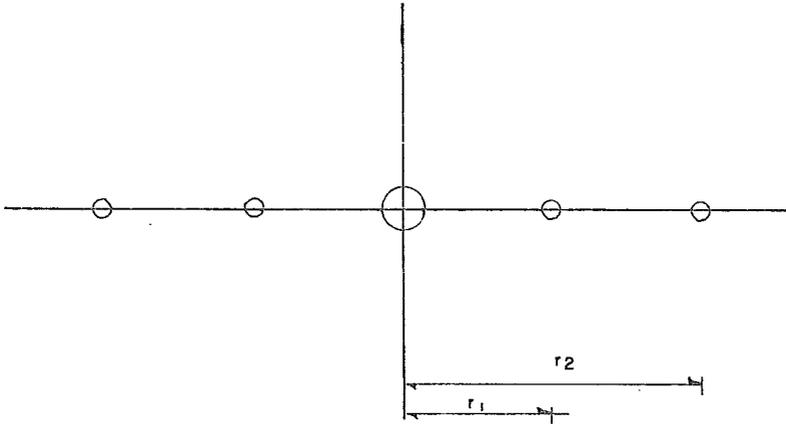
La principal ventaja de estas pruebas es que se puede obtener tanto la permeabilidad horizontal como la vertical, tomando como base la Ley de Darcy. Pero debido a la heterogeneidad de los materiales de apoyo, los resultados de las pruebas de permeabilidad sobre un espécimen o una batería de especímenes no pueden llegar a ser más que medianamente representativos de un estrato o formación dada, aún cuando se empleara un análisis exhaustivo estadístico de los resultados.

Determinación en el campo.- Para poder cuantificar la permeabilidad del subsuelo, existen varios métodos que se pueden clasificar en dos grupos que son:

- a) Pruebas de extracción de agua.
- b) Pruebas de inyección de agua.

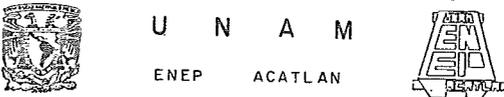
a) Pruebas de extracción de agua.

Son aquellas que consisten fundamentalmente en extraer un gasto constante por bombeo de un pozo central y observando el abatimiento del nivel freático por medio de piezómetros o pozos situados en la vecindad del pozo central; generalmente se emplea una disposición como la que se muestra a continuación.



○ POZO DE BOMBEO

○ POZO DE ABSORCION



U N A M
ENEP ACATLAN

PRUEBAS DE EXTRACCION DE AGUA

FIG: 3.1

Para que se pueda usar este método deben de cumplirse las siguientes consideraciones:

- 1.- Que el material donde se efectúa la prueba sea homogéneo en cuanto a permeabilidad, para que se cumpla una de las condiciones de la Ley de Darcy.
- 2.- La superficie del nivel freático original sea horizontal.
- 3.- El gradiente hidráulico sea igual a la pendiente de la curva de abatimiento.

$$i = \frac{dh}{dr}$$

b). Pruebas de inyección de agua.

Las pruebas de inyección de agua, son tal vez, de las que determinen la permeabilidad "in situ", las de más reciente aplicación en los estudios de presas de nuestro país. Tienen su origen en Francia y precisamente llevan los nombres de los investigadores que las generaron Lugeon y Lefranc.

Prueba de Lugeon.

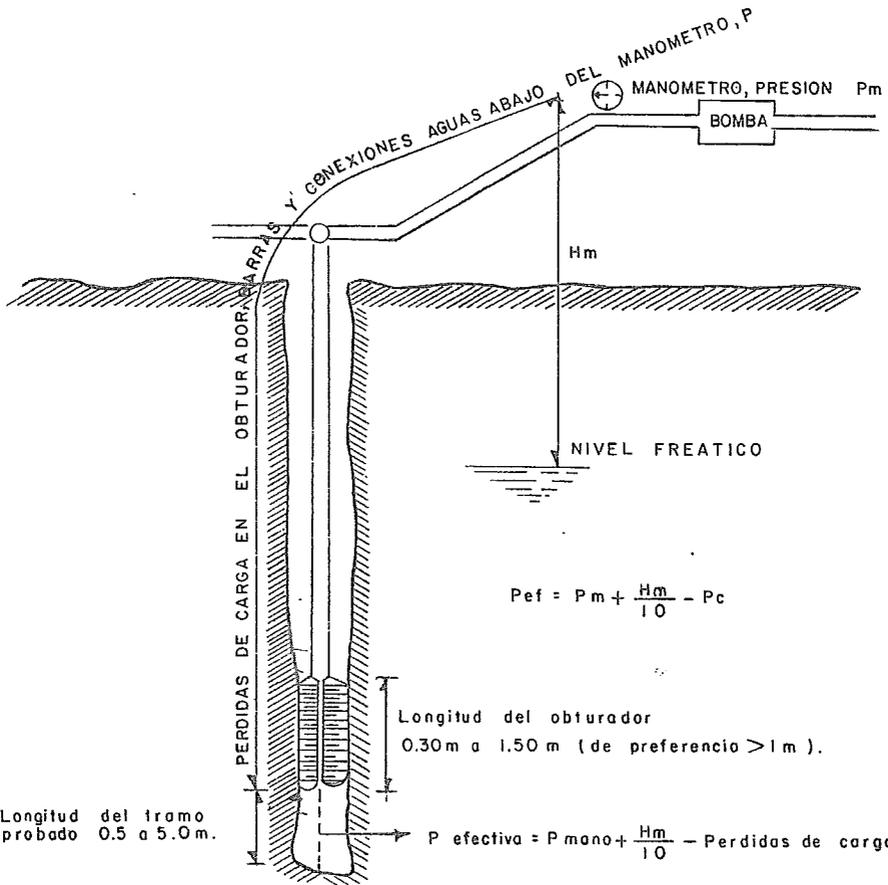
La prueba de Lugeon, es generalmetne usada para determinar la permeabilidad de masas rocosas, así como también es aplicable a materiales granulares parcialmen--

te cementados.

Esta prueba consiste en inyectar agua a presión en tramos de perforación, lo cual tiene por objeto tener una idea aproximada de la permeabilidad en grande, o sea - la debida a las fisuras de la roca o del material granular cementado estudiado. Se varía la longitud de -- los tramos probados, así como la presión a la que se - inyecta el agua. La unidad Lugeon corresponde a una - absorción de 1 litro de agua, por minuto, por metro de sondeo, con una presión de inyección de 10 Kg/cm².

En la práctica, la prueba consiste en obtener, para -- distintos tramos, curvas de gastos de absorción en función de la presión de inyección.

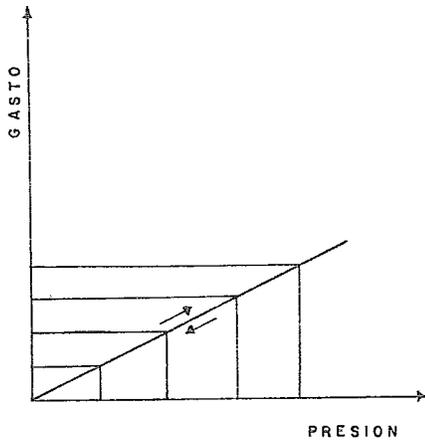
El esquema general de un montaje del equipo necesario aparece en la figura No. 3.2.



1 Lugeon = 1 Litro por metro y por minuto
bajo 10 Kg/cm² de Presión Efectiva

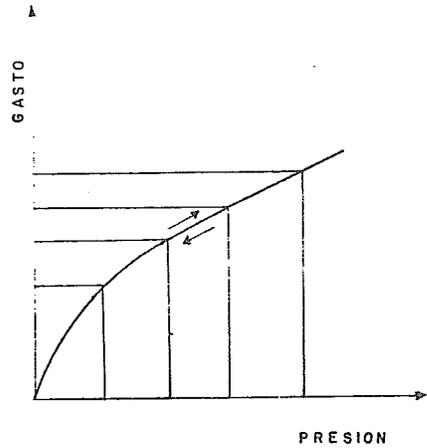
1 Lugeon $\approx 10^{-7}$ m / seg.

	U N A M	
	ENEP ACATLAN	
PRUEBA LUGEON		
FIG: 3.2		



ES CURRIMIENTO LAMINAR

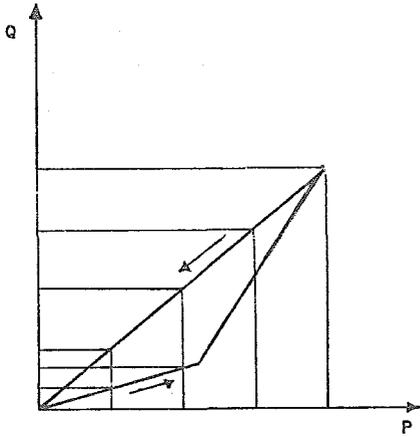
(A)



ES CURRIMIENTO TURBULENTO
(FISURA GRANDE, O FALLA DEL SELLO
DEL OBTURADOR).

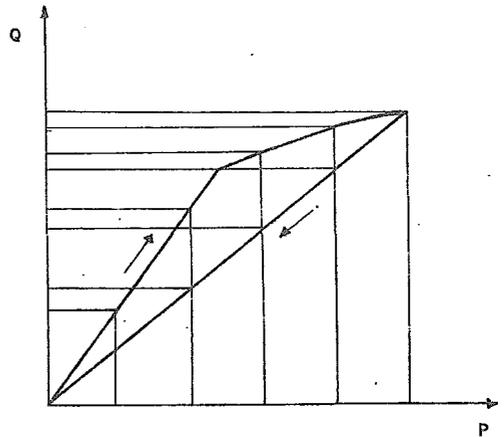
(B)

	<p>· U N A M</p> <p>ENEP ACATLAN</p>	
CURVAS GASTO - PRESION		
FIG: 3.3		



DESTAPAMIENTO A PRESION

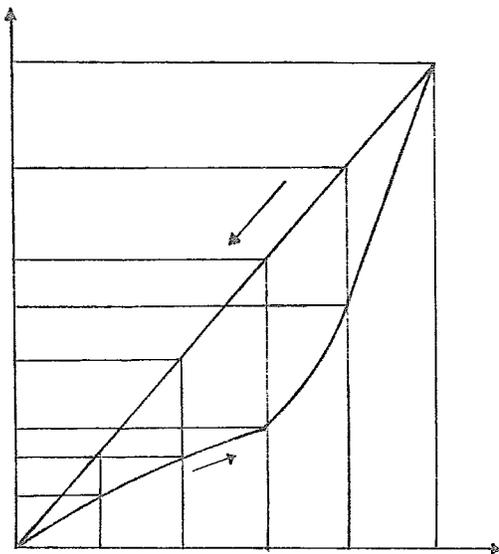
(C)



TAPONAMIENTO A ALTA PRESION

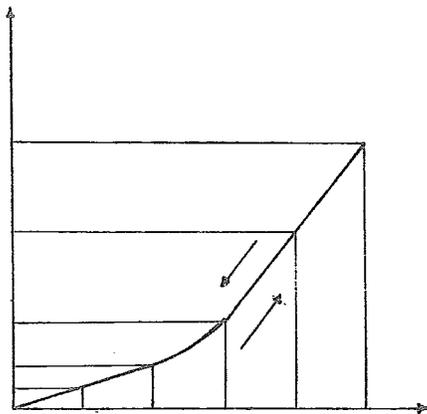
(D)

	<p>U N A M</p> <p>ENEP ACATLAN</p>	
<p>CURVAS GASTO - PRESION</p>		
<p>FIG: 3/3</p>		



DESTAPAMIENTO A ALTA PRESION

(E)



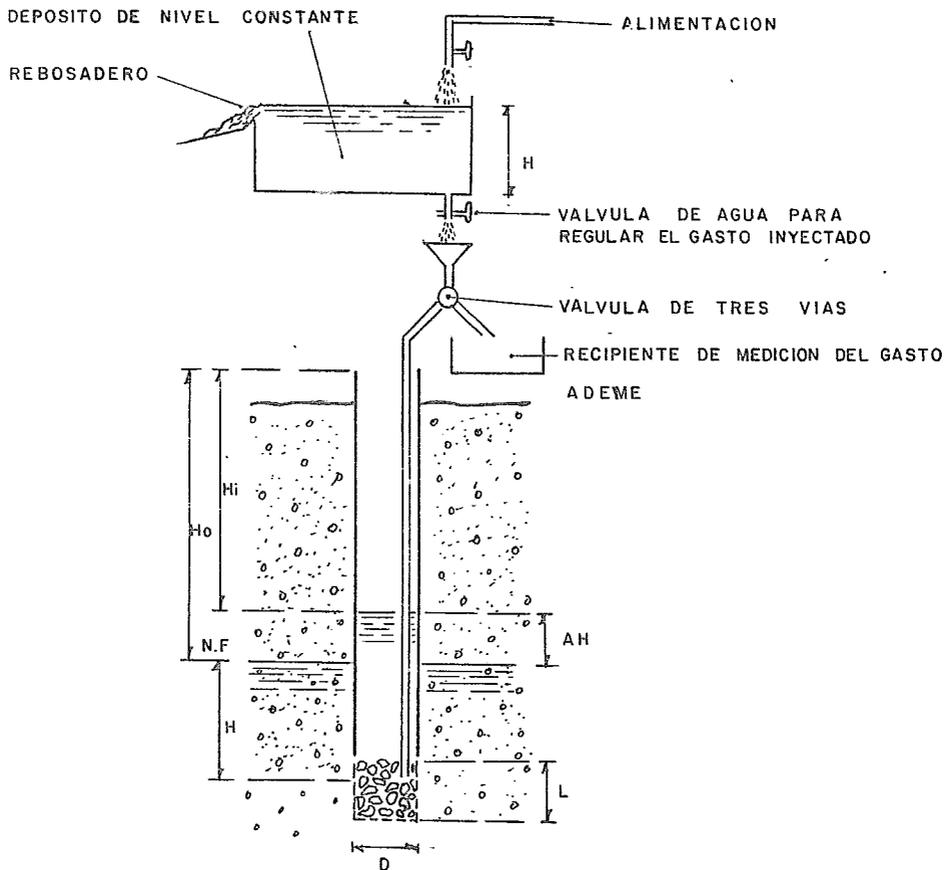
ABERTURA Y CIERRE REVERSIBLE DE LAS FISURAS

(F)

	<p>U N A M</p> <p>ENEP ACATLAN</p>	
<p>CURVAS GASTO — PRESION</p>		
<p>FIG: 3.3</p>		

Prueba Lefranc.

Esta prueba tiene por objeto medir con buena precisión el coeeficiente de permeabilidad de un terreno aluvial, o una roca - muy fisurada cuando se encuentran debajo de un manto freático esto se logra aplicando una carga pequeña y constante de agua. La medida del gasto y de la carga que la origina permite calcular el coeficiente de permeabilidad, K , en la vecindad de - la cavidad con una buena aproximación. (Fig. 3.4)



FILTRO DE GRAVA LIMPIA MUY PERMEABLE
(grava uniforme de 3 cm).

	U N A M	
	ENEP ACATLAN	
PRUEBA LEFRANC		
FIG: 3.4		

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

La descripción de la estructura de un macizo rocoso, (Geometría y naturaleza de las discontinuidades, tales como fallas y fracturas), va a ser de gran utilidad al ingeniero para -- efectuar análisis de estabilidad, establecer las direcciones predominantes del flujo de agua, etc.

Esto se logra por medio de un mapeo terrestre, midiendo el -- rumbo y echado de los planos, así como la frecuencia con que se presentan. Para lograr una buena interpretación de las -- características estructurales se deberá establecer una correlación entre las observaciones hechas en la superficie y los datos que se obtengan de las exploraciones mediante perforaciones con máquina y en exploraciones en trincheras o gale-- rías.

La representación de la información deberá hacerse en tal forma que se ilustren la posición y extensión de los detalles ma yores como son las trazas de fallas y su posición en relación con las formaciones geológicas presentes en el sitio y en re lación a la posición de la estructura.

En algunas ocasiones resulta difícil representar todas las fa

milias de juntas, planos de estratificación, etc., por ser estas generalmente, detalle que se presentan con mucha frecuencia, es por esto que se ha recurrido a la representación gráfica de la frecuencia por medio de diagramas polares, usando como parámetros el rumbo y el echado.

Deberá tenerse en cuenta que estas representaciones son parciales debido a que los parámetros que determinan las características de fracturamiento son muy numerosos e incluyen el espaciamiento entre planos de discontinuidad, ancho de la abertura, rugosidad de las paredes y tipo de relleno en las aberturas.

Al respecto se han hecho intentos por establecer un sistema de clasificación que tome en cuenta estas características, Deere propuso una clasificación del grado de fracturamiento en función del espaciamiento entre juntas o planos de discontinuidad; en la tabla 3.1 se presenta esta clasificación.

(Ref. 1)

DESCRIPCION	ESPACIAMIENTO DE JUNTAS
Muy cerrada	menos de 5 cm.
Cerrada	5 á 30 cms.
Moderadamente cerrada	30 cms. á 1 m.
Abierta	1 m. á 3.
Muy abierta	Mayor de 3 m.

Tabla 3.1.

Se ha utilizado por mucho tiempo como índice del grado de ---
 fracturamiento de un maciso rocoso, el R.Q.D. (Rock Quality -
 Designation), es un índice que relaciona y califica la inten-
 sidad de fracturamiento con la recuperación de longitud de --
 corazón, eliminando de la recuperación los tramos de muestra
 menores de 10 cm. de longitud. La convención del R.Q.D. se -
 muestra en la tabla 3.2.

R.Q.D. %	DESCRIPCION
0 - 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente

Tabla 3. 2.

R E F E R E N C I A S

C A P I T U L O I I I

- 1.- Estudio del estado del Arte en el Diseño y Construcción de Cortinas de Concreto.

Elaborado por I.R.S.S.C. para la S.A.R.H.

México, D.F. 1976

CAPITULO IV

CAPITULO IV

COMPORTAMIENTO MECANICO DEL TERRENO DE APOYO DE UNA CORTINA.

El terreno de apoyo de una cortina en general está constituido por una gran variedad de materiales que, dentro de una misma clasificación y origen, presentan problemas diferentes al tener -- distintas estructuras y grado de alteración y fracturamiento en sus partículas sólidas, debido básicamente a que son sistemas - de materiales derivados de la historia geológica de cada lugar. Este panorama indica que el problema de cimentación de las cortinas no está sujeto a reglas generales.

Por lo tanto se deberá tener presente, que al implantar la estructura, el terreno de cimentación estará sujeto a condiciones diferentes a las que estaba originalmente, debido principalmente a las cargas adicionales que se imponen al cambio que sufren las condiciones hidráulicas, o sea el cambio en el flujo de - - agua en esos suelos.

El comportamiento mecánico del terreno de apoyo de una cortina depende principalmente de las siguientes propiedades.

- a) La permeabilidad.
- b) La deformabilidad.

- c) La resistencia al esfuerzo cortante.
- d) La relación esfuerzo-deformación.

El conocimiento de las propiedades mencionadas se pueden obtener por medio de aplicación de:

- a) Teorías.
- b) Instrumentación.

a) TEORIAS.

El comportamiento mecánico del terreno de apoyo de una cortina se puede tratar de obtener entre otras cosas mediante la realización de un estudio que permita conocer las propiedades de -- los materiales; dicho estudio está basado en las teorías que - se han desarrollado a través del tiempo y que se han ido agrupado en la mecánica de suelos y rocas. Ellas permiten conocer en un grado más o menos aproximado el comportamiento mecánico del terreno de apoyo y su variación con el tiempo.

A manera de ejemplo se puede decir, que últimamente se está em-- pleando con cierta frecuencia el método de elementos finitos - para analizar el estado de esfuerzo y deformaciones de la es-- tructura (cortina y cimentación) así como su variación con el tiempo.

El objetivo que se persigue con el uso de este método es eva--

luar el factor de seguridad de una cortina y su cimentación en --
relación con la posibilidad de una falla catastrófica de la --
obra en conjunto y la probabilidad de ocurrencia de ciertos da
ños que reducen su utilidad; como puede ser el agrietamiento --
del corazón impermeable, falla estructural de un detellón de --
concreto construido para limitar los gastos de filtración en --
la cimentación o el efecto de las concentraciones de esfuerzos
en la frontera entre el núcleo y los filtros.

La aplicación del método de elementos finitos adolece de un as
pecto fundamental que es la ausencia de leyes constitutivas de
los suelos para un estado de esfuerzos triaxial verdadero; en
consecuencia, las relaciones esfuerzo-deformación empíricas --
utilizadas son, en rigor, únicamente válidas en caso de que el es
tado de esfuerzos generado in situ sea semejante al inducido --
en el laboratorio (Ref. 1)

Otro método que se utiliza para analizar la estabilidad de las
cortinas de tierra y enrocamiento es el Sueco, el cual se basa
en una serie de hipótesis que son: (Ref. 2)

- a) Se considera que la superficie de falla es --
cilíndrica.
- b) El análisis, es bidimensional, respondiendo
a un estado de deformación plana.
- c) Es válida la ley de resistencia de Mohr-Cou-
lomb;

$$s = c + \sigma \tan \phi$$

- d) La resistencia al esfuerzo cortante se moviliza por ----- completo y, al mismo tiempo, en toda la super----- ficie de deslizamiento.
- e) En el caso de las dovelas, no existe interacción entre ellas.
- f) El factor de seguridad se define como la relación entre el momento, del sistema de fuerza debido a la resistencia promedio al esfuerzo cortante a - lo largo de la superficie de falla y el momento del sistema de fuerza debido a los esfuerzos cor_u tantes actuantes medios en dicha superficie, am- bos momentos respecto al centro del círculo de - falla.

Obviamente el método es teóricamente aplicable al caso de sue- los de comportamiento cohesivo o friccionante, e inclusive al caso de suelos en que los parámetros de resistencia varían a - largo de la potencial superficie de falla.

Evidentemente el método con sus hipótesis conduce a resultados que norman el criterio del proyectista, pero que de ninguna ma- nera son reales. A fin de ir perfeccionando el método surge la necesidad de conocer sus discrepancias con la realidad y esto lleva a la conveniencia de instrumentar las obras, en este ca- so las cortinas, criterio que se ha venido aplicando desde ha- ce algunos años en México.

b) INSTRUMENTACION.

El Objetivo que se pretende con la instrumentación en las corti- nas y en sus empotramientos es conocer su comportamiento duran-

te la etapa de construcción y operación, obteniéndose a la vez una información valiosa para mejorar en un futuro la técnica - en el proyecto de estas obras.

La Instrumentación de las presas depende del tipo de información requerida y de la clase de cortinas de que se trate.

En términos generales, las características que es necesario conocer para evaluar el comportamiento de la cortina y de la cimentación son:

- Los desplazamientos medidos en diferentes direcciones en sitios considerados como convenientes.
- Los esfuerzos medidos en diferentes direcciones, en zonas críticas o claves para lograr el objetivo indicado.
- Las presiones hidráulicas y totales.
- Las presiones en el agua que fluye a través de la cortina y del terreno de cimentación.
- Los efectos sísmicos.

Evidentemente la instrumentación es más necesaria en los casos que presentan condiciones geológicas adversas, topografía - de boquillas con pendientes acentuadas o materiales de cons---trucción de baja calidad, así como condiciones sismológicas -- importantes en la zona.

A continuación se mencionan algunos de los instrumentos que se utilizan para lograr las metas antes comentadas. (Ref. 3)

MEDIDORES DE DEFORMACIONES.

El inclinómetro.- Es un instrumento eléctrico diseñado para registrar inclinaciones con respecto a la vertical y por tanto - puede ser utilizado para determinar desplazamientos horizontales en cortinas de tierra y enrocamiento (figura 4.1)

El cálculo de los desplazamientos laterales se realizan por medio de trigonometría:

$$\Delta S = \text{sen } i \times Li$$

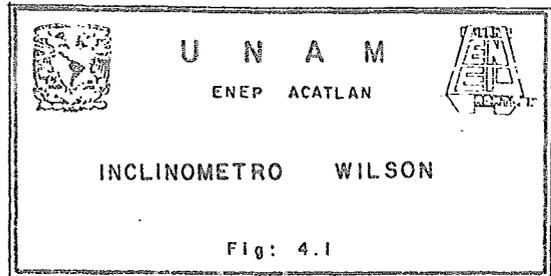
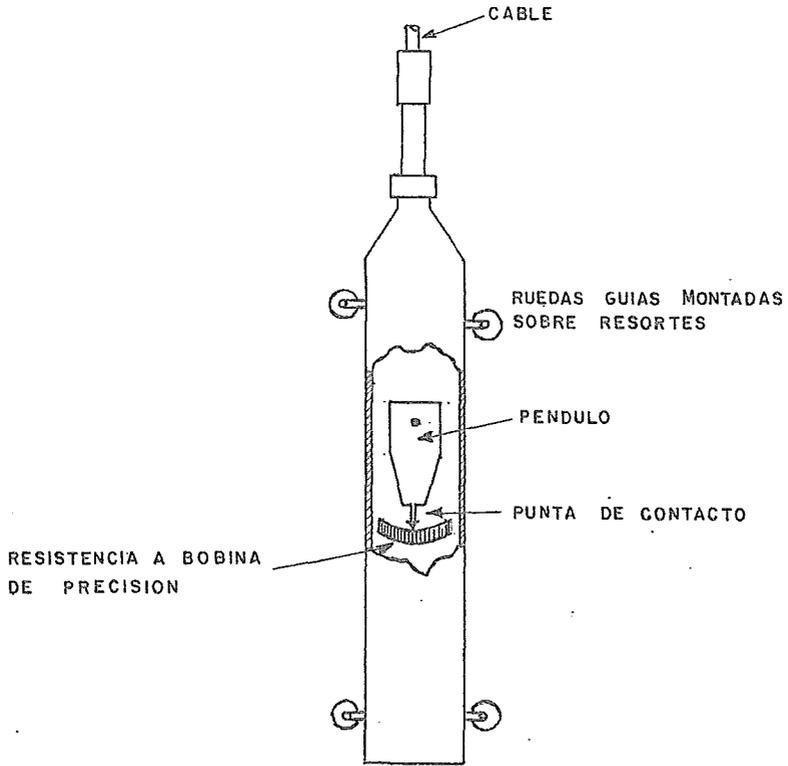
donde:

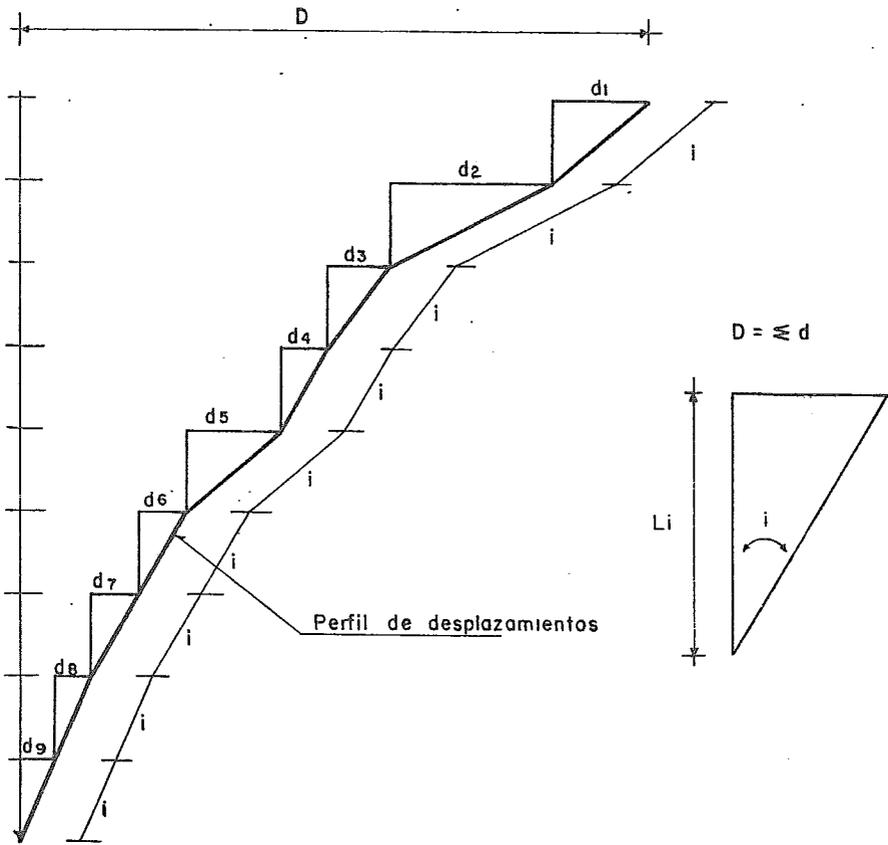
ΔS = Incremento de desplazamiento lateral entre dos lecturas en un mismo punto a diferentes tiempos.

i = variación del ángulo de inclinación.

Li = Separación entre puntos de medición.

Los desplazamientos se registran en un sistema de ejes coordinados, donde las abscisas son los desplazamientos y las ordenadas son profundidades. Una gráfica típica que se obtiene del inclinómetro con respecto a desplazamientos se muestra en la figura 4.2.





Perfil de desplazamientos

metros

	<p>U N A M ENEP ACATLAN</p>	
<p>GRAFICA TIPICA DE DESPLAZAMIENTOS</p>		
<p>Fig : 4.2</p>		

El extensómetro.- son instrumentos que se usan para medir desplazamientos de masas de suelo o roca, pudiéndose agrupar en mecánicos y eléctricos.

El extensómetro mecánico más usado es el de alambre tensado, que consiste en uno o varios alambres o cables de acero que se colocan dentro de una tubería telescopiada, los cuales se anclan en diferentes puntos a lo largo de la misma y se tensan por medio de pesas, resortes o de alguna otra forma.

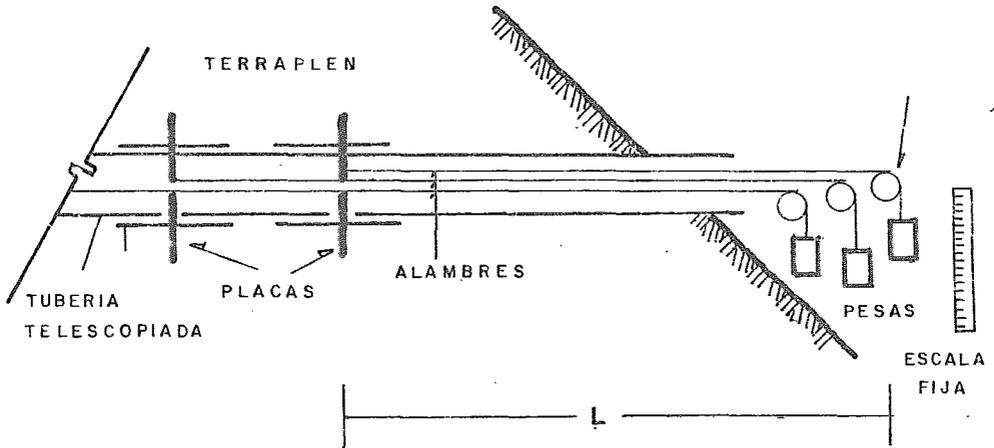
En el extensómetro mecánico de alambre tensado con pesas, los desplazamientos se miden en una escala fija colocada a un lado de las pesas como se muestra en la figura 4.3, obteniéndose precisiones de 0.5 a 2.0 cm.

Un extensómetro de este tipo más preciso consiste en tensar el alambre por medio de un resorte y medir los desplazamientos con un micrómetro según se observa en la figura 4.4.

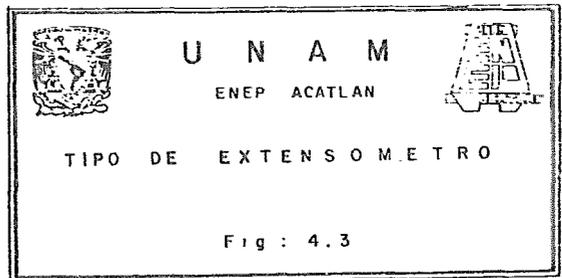
Los extensómetros eléctricos más usados están formados por barras o alambres tensados, anclados dentro del terreno, los cuales transmiten las deformaciones del suelo a un transductor eléctrico de desplazamiento que pueda ser un potenciómetro, un strain-gage, una cuerda vibrante o cualquier otro tipo de transductor. Con el uso del potenciómetro se obtiene una precisión hasta de 0.01 mm y su repetibilidad es buena pero tiene el inconveniente de que si se presenta una falla eléctrica en él difícilmente podrá ser reparada por estar en el interior del suelo.

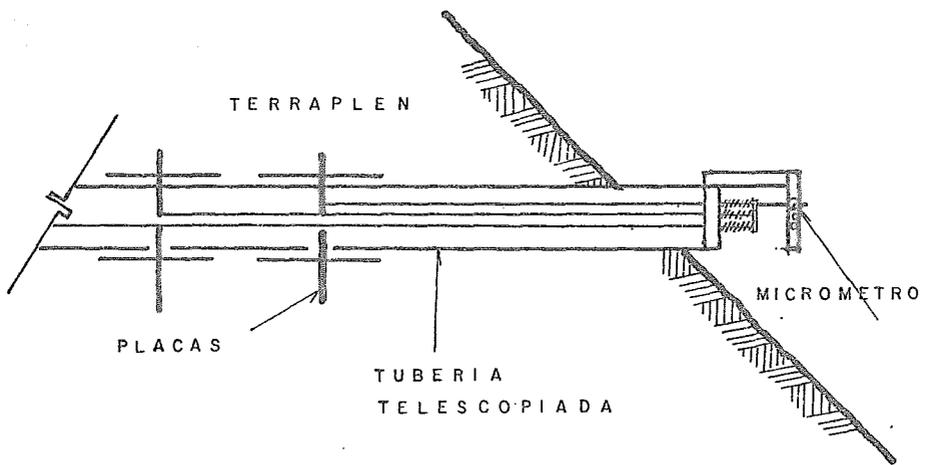
SE MIDE EL MOVIMIENTO
DE LA PLACA USANDO UNA
ESCALA

$$\Delta L = \Delta (\text{en la escala})$$



EXTENSOMETRO MECANICO DE ALAMBRE
TENSADO CON PESAS





EXTENSOMETRO MECANICO DE ALAMBRE
TENSADO CON RESORTES

	<p>U N A M ENEP ACATLAN</p>	
<p>TIPO DE EXTENSOMETRO</p>		
<p>Fig: 4.4</p>		

Los extensómetros de cuerda vibrante han sido utilizados para suelos y rocas, la precisión de estos dispositivos es de 0.5 mm. y su rango es de aproximadamente de 15 cm., los principales problemas que presenta este dispositivo es la corrosión de la cuerda vibrante y la necesidad de mantenerla a -- presión atmosférica.

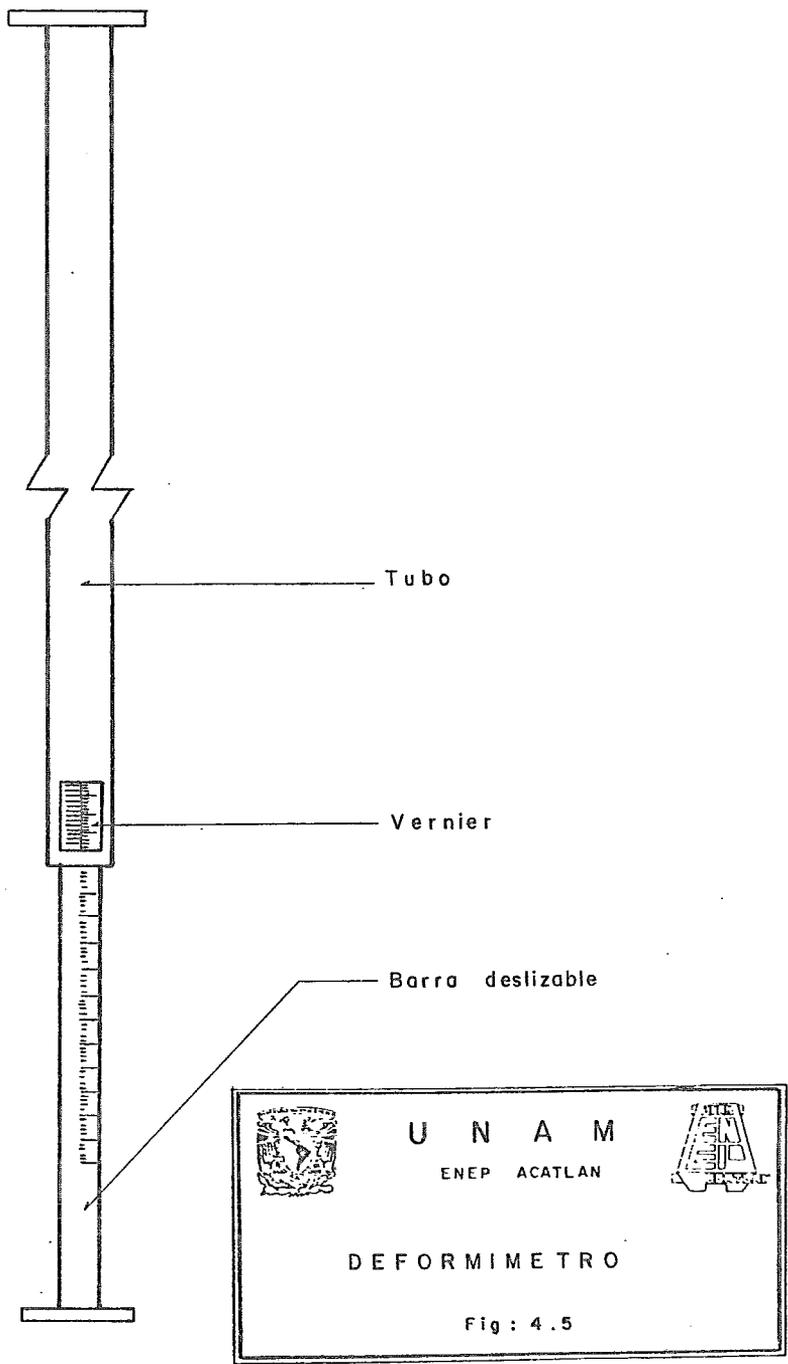
Estos problemas han sido superados mediante la circulación de nitrógeno en la cámara y controlando la presión.

EL DEFORMIMETRO.- Es un instrumento con el cuál se pueden determinar los desplazamientos verticales y así obtener los asentamientos que sufren las presas de tierra y enrocamiento; este instrumento está formado por un tubo y una barra deslizable -- dentro de él, conteniendo un vernier que mide los desplazamientos relativos entre la barra y el tubo (figura 4.5). La precisión de este aparato varía de 0.1 a 1.0 mm.

MEDIDORES DE PRESION.

PIEZOMETROS.- La determinación de la presión del agua intersticial en el interior del suelo es un aspecto de gran importancia en la mecánica de suelos. Esta variable es posible medirla en puntos específicos por medio de piezómetros.

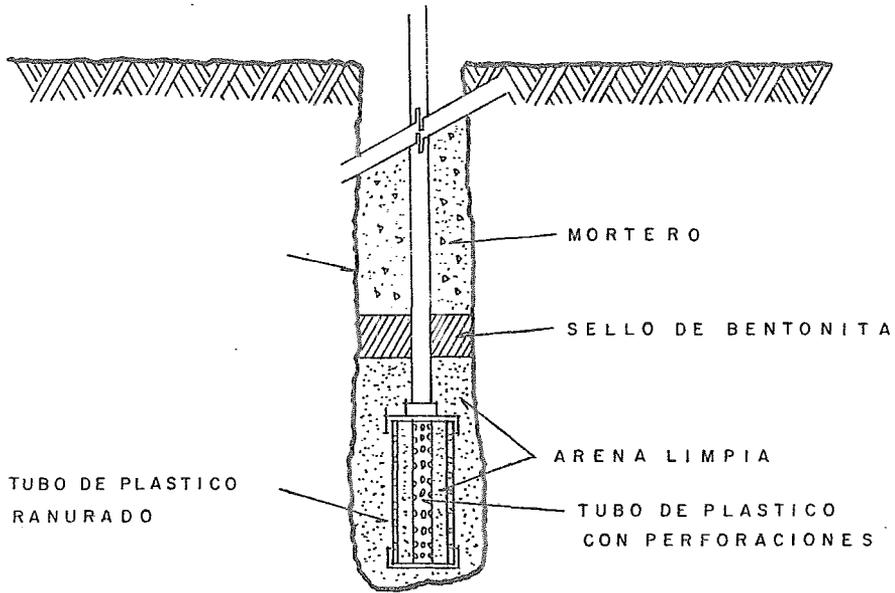
En general el funcionamiento de estos aparatos de basa en el equilibrio de presiones en el elemento sensor del instrumento ya sea por medio de una columna de agua o de una presión exterior aplicada.



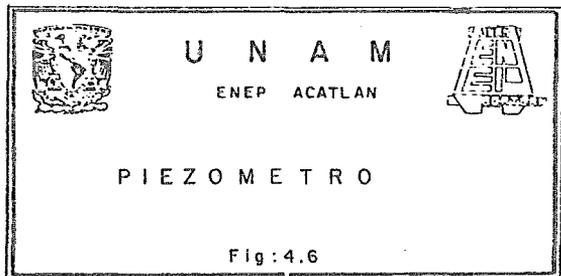
Un aspecto importante que se debe de tener presente al trabajar con piezómetro es que las variaciones de la presión se registrarán con un cierto tiempo de retraso. Este lapso conocido como tiempo de respuesta es debido a la variación del volumen de agua dentro del piezómetro, al registrar un cambio en la presión medida, por lo que el tiempo de respuesta de un piezómetro dependerá principalmente de la permeabilidad del suelo y del volumen de agua necesario para registrar el cambio. Dependiendo del tipo de sensor que utilice se pueden clasificar en piezómetros abiertos o de Casagrande, piezómetros neumáticos y piezómetros eléctricos los que se representan en la figura 4.6, 4.7 y 4.8 respectivamente.

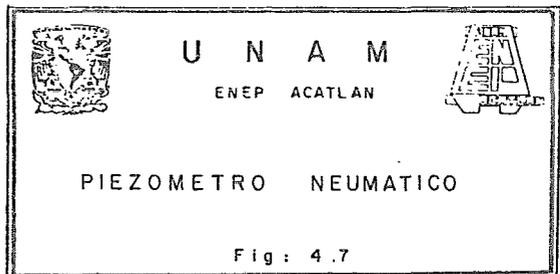
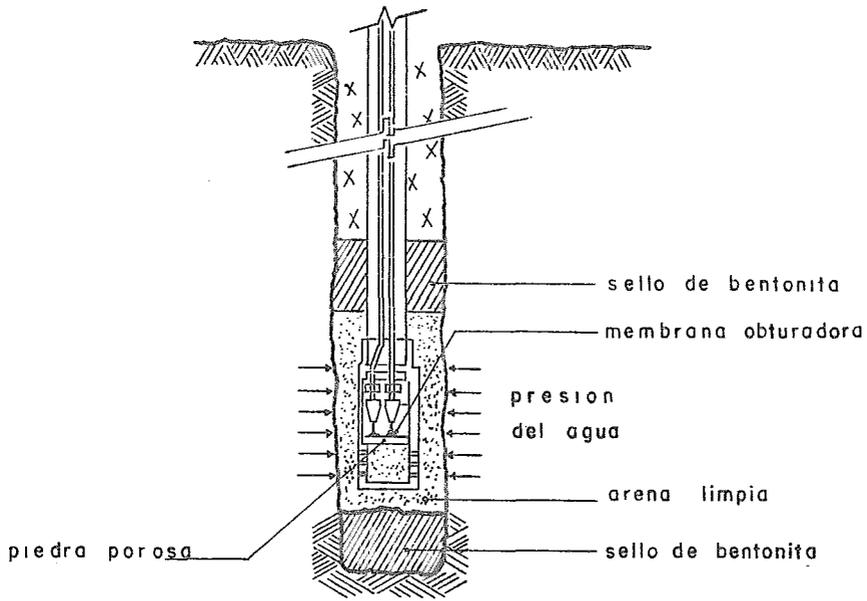
CELDA DE PRESION.- Son instrumentos, por medio de los cuales se realiza la medición de los esfuerzos en el interior de la masa de suelo. Idealmente la presencia de una celda de presión en el suelo no altera las condiciones de esfuerzos en la vecindad del aparato, sin embargo todos los dispositivos de este tipo desarrollados hasta el momento alteran de alguna manera el estado de esfuerzos existentes. Esto es debido principalmente a la geometría, rigidez y tamaño de la celda, para minimizar estos efectos deben de haber un contacto perfecto entre la superficie de la celda y el suelo.

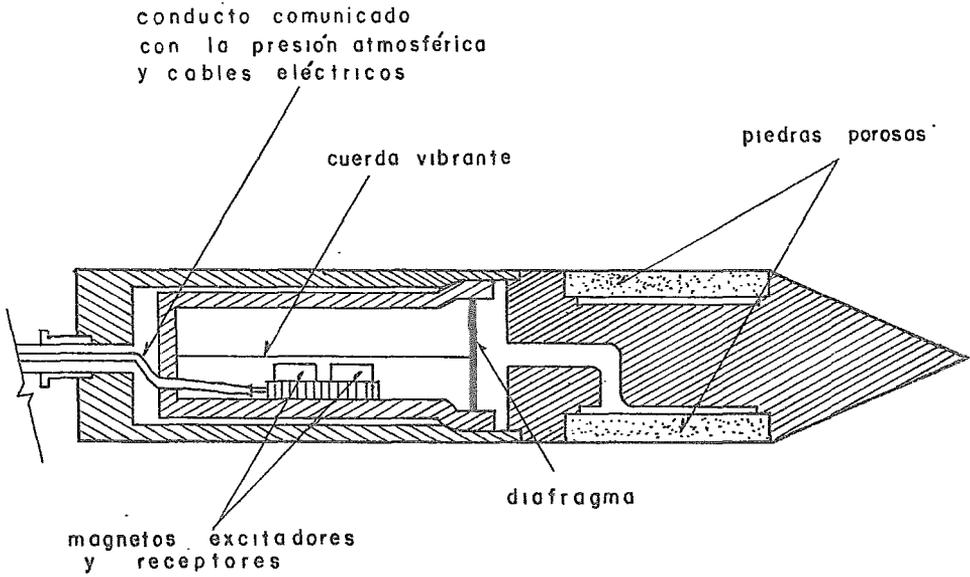
La precisión de estos aparatos es muy variable dependiendo de muchos factores, principalmente del grado con que se adapte la celda al medio, además esta precisión es muy difícil de eva-



PIEZOMETRO ABIERTO







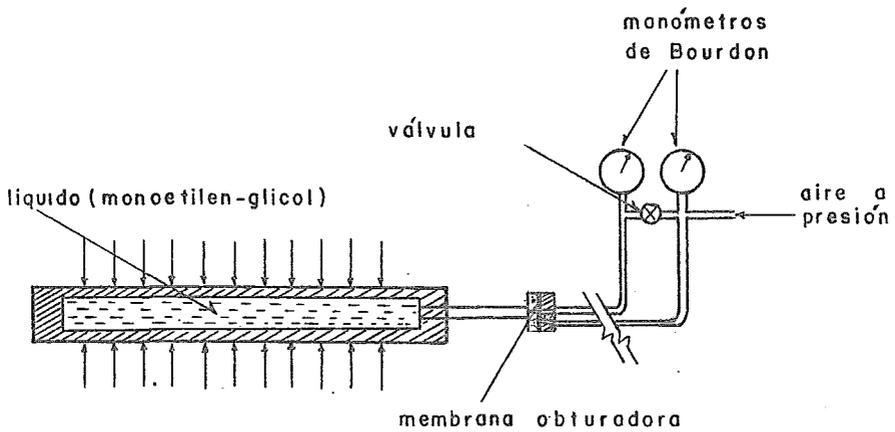

U N A M

 ENEP ACATLAN
PIEZOMETRO ELECTRICO
 DE
CUERDA VIBRANTE
 Fig: 4.8

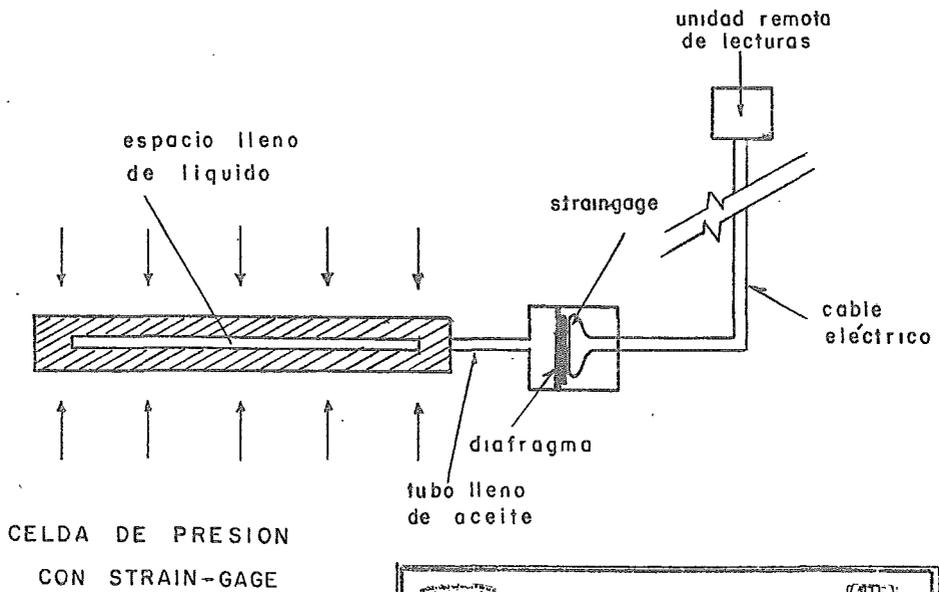
luar debido al desconocimiento del estado de esfuerzos que actúa realmente en el interior del suelo.

En muchos casos se acostumbra colocar el piezómetro junto a la celda de presión, para conocer la presión del agua que contribuye a la presión total medida por la celda, con el objeto de medir los esfuerzos efectivos.

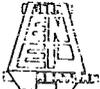
En las figuras 4.9, 4.10 y 4.11, se muestran algunos tipos de celdas que sirven para medir la presión del suelo.



CELDA DE PRESION NEUMATICA



CELDA DE PRESION
CON STRAIN-GAGE

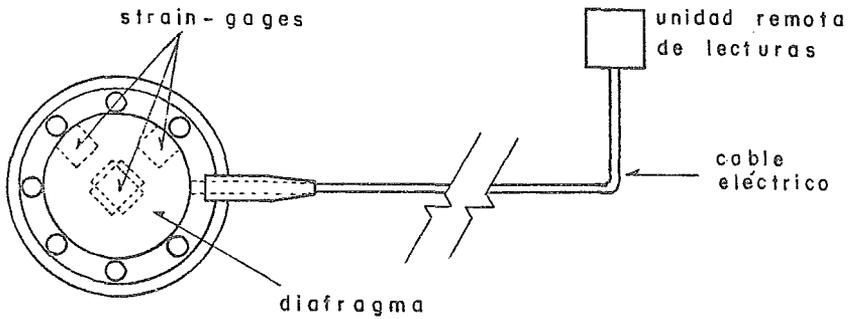

U N A M


ENEP ACATLAN

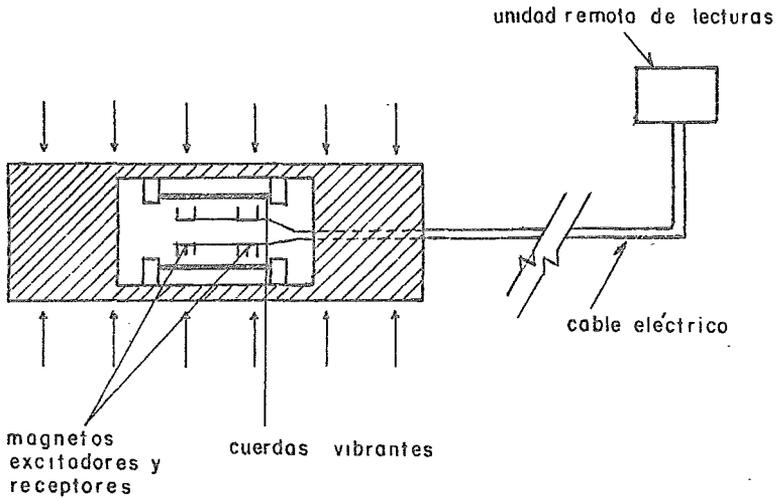
DIFERENTES TIPOS DE
CELDAS DE PRESION

Figs: 4.9

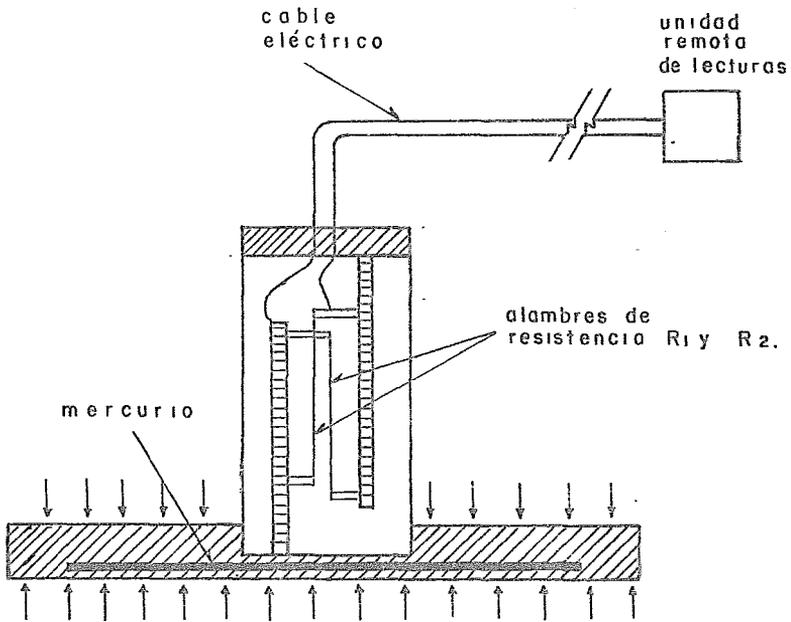
CELDA DE PRESION ELECTRICA CON STRAINGAGE



CELDA DE PRESION DE CUERDA VIBRANTE



	U N A M ENEP ACATLAN	
DIFERENTES TIPOS DE CELDA DE PRESION		
Figs: 4.10		



se mide la resistencia de alambres R_1 y R_2

$$R_1 / R_2 = Z$$

$$= K (Z - Z_0)$$

Z_0 = relación inicial

Z = relación con esfuerzo


U N A M


ENE P ACATLAN

CELDA DE PRESION ELECTRICA
DE STRAIN-GAGE DE ALAMBRES COMBINADOS

Fig : 4.11

MEDIDORES DE MOVIMIENTOS SISMICOS.

ACELEROGRAFOS.-

Los acelerógrafos son instrumentos sísmicos que se han instalado en las presas de tierra y enrocamiento, con el fin de determinar las aceleraciones de los movimientos sísmicos; estos aparatos se caracterizan por su precisión, ya que registran en papel fotográfico las aceleraciones hasta del orden de 0.8 g. y en dos direcciones.

Con el objeto de separar con certeza una serie de movimientos de características irregulares que se suceden con gran rapidez, es necesario que el papel de registro se desplace a una velocidad relativamente alta, en los acelerógrafos es de 2 -- cm/seg y permite distinguir con claridad toda la gama de frecuencia en que el aparato registra aceleraciones, o sea entre cero y cerca de 15 cps. Como consecuencia inmediata de la velocidad que se requiere del papel, se hace indispensable que el aparato cuente con un dispositivo que lo haga funcionar -- únicamente al ocurrir un sismo. Con este objeto se han ideado varios sistemas, la mayoría de los cuales operan al cerrarse o abrirse un circuito eléctrico.

Existen dos razones fundamentales para que en el campo de la -- ingeniería se prefiera obtener la aceleración del terreno y no

el desplazamiento como lo hacen los sismógrafos; los esfuerzos y deformaciones dinámicas que producen el temblor en la estructura se obtiene directamente si se relacionan desplazamientos relativos y aceleración del suelo, es decir, las fuerzas de -- energía que originan el movimiento se calculan con mayor facilidad si se parte de la aceleración del terreno y además de la aceleración es posible llegar a los desplazamientos correspondientes con mejores resultados (Ref. 4)

SISMOSCOPIOS.

Los sismoscopios, son instrumentos que proporcionan información directa sobre las respuestas de las estructuras en términos de desplazamiento, que sólo después de cálculos muy laboriosos podrían obtenerse de los registros de aceleración.

El sismoscopio está constituido por dos láminas de acero, de -- ancho y espesor constante, soportan una pieza prismática de metal comparativamente rígida, con la que forman un marco que se fija a la base. Las cuatro conexiones se hacen de tal modo que las láminas prácticamente trabajan empotradas en ambos extremos. Una aguja fija a la base sirve de índice para inscribir una línea en un cristal ahumado sujeto a la pieza móvil del marco, -- con la que se obtiene un registro de los desplazamientos máximos de esta pieza con respecto a la base, la que sigue el movimiento del terreno. (ref. 4)

Después de conocer algunos de los instrumentos usados para certificar las hipótesis del diseño y construcción de presas de tierra y enrocamiento, se presentan el caso de dos presas instrumentadas en México (Presa Netzahualcóyotl y Chicoasen) y -- los resultados obtenidos del comportamiento mecánico.

PRESA NETZAHUALCOYOTL.

LOCALIZACION.

La presa Netzahualcóyotl se localiza en el municipio de Tecpatán del estado de Chiapas, en un estrechamiento del río Grijalva denominado Raudales de Malpaso, localizado a 2.5 Km. aguas abajo de la confluencia de los ríos la Venta y Grijalva, aproximadamente a 125 Km. al suroeste de la ciudad de Villahermosa, Tab., y a 328 Km. aguas arriba de la desembocadura del río en el Golfo de México.

INSTRUMENTACION DE LA CORTINA.

Los aparatos de medición que se colocaron para observar el comportamiento de la cortina de la Presa Netzahualcóyotl consistieron en:

Piezómetros tipo Casagrande, instalados en el corazón impermeable de la cortina, para observar el desarrollo de la presión de poro, durante su primer llenado y, posteriormente, la estabilización de la red de filtración.

Inclinómetros, aparatos que se instalaron en el corazón impermeable de la sección máxima y en las laderas, para

determinar los asentamientos verticales y desplazamientos horizontales, medidos ortogonalmente. También se instalaron inclinómetros en los respaldos impermeables tanto aguas arriba, para observar los asentamientos de la arena de río que se dejó en el desplante como aguas abajo, apoyado desde el conglomerado.

Testigos de nivel: Se instalaron en varias líneas tanto en la corona como en los respaldos, para poder determinar los desplazamientos superficiales.

COMPORTAMIENTO.

El comportamiento observado en la presa Netzahualcoyotl se obtuvo gracias a los aparatos que ya se mencionaron anteriormente la información que se presenta corresponde al periodo comprendido entre el año de 1966 (año en el cual la presa empezó a embalsar) y el año de 1969 y, es la siguiente: (Ref. 5)

En el vaso de la presa no se registraron pérdidas de agua por efecto de infiltración, pero sí se registraron desplazamientos horizontales en la cortina en diferentes tiempos.

- 1) Después de haberse alcanzado el embalse máximo (4 meses) se tuvo un desplazamiento máximo de 11 cm. hacia aguas abajo, en el tercio inferior del corazón impermeable y un desplazamiento máximo de 1 cm. hacia aguas abajo, en la parte superior.
- 2) después del máximo embalse (2 años), se observa un des-

plazamiento máximo de 9 cm. hacia aguas abajo, en el --
tercio inferior del corazón impermeable y un desplaza--
miento máximo de 5 cm. hacia aguas arriba, cerca de la
corona del corazón impermeable.

A lo largo del eje longitudinal de la cortina, se ha observado lo siguiente:

- a) Después de haber alcanzado el máximo embalse (4 meses), se tuvo un desplazamiento horizontal de ambos empotra--
mientos hacia el cauce, siendo mayores en las cercanías de la corona de la cortina y disminuyendo gradualmente hacia la parte profunda teniéndose desplazamientos de -
6 cm. hacia el cauce del río.
- b) Después del máximo embalse (2 años) se ha observado que estos desplazamientos permanecen sin grandes variacio--
nes respecto a los observados 4 meses después del pri--
mer llenado, tendiendo a estabilizarse.
- c) En términos generales se observan tensiones a partir de los empotramientos, hacia el cauce, lo que origina esta--
dos de compresión en la parte central sin embargo, no -
se observa separación del corazón impermeable con los -
empotramientos.
- d) Los desplazamientos observados en los respaldos permea--
bles acusan que aguas arriba son prácticamente nulos -
y aguas abajo de unos cuantos centímetros.

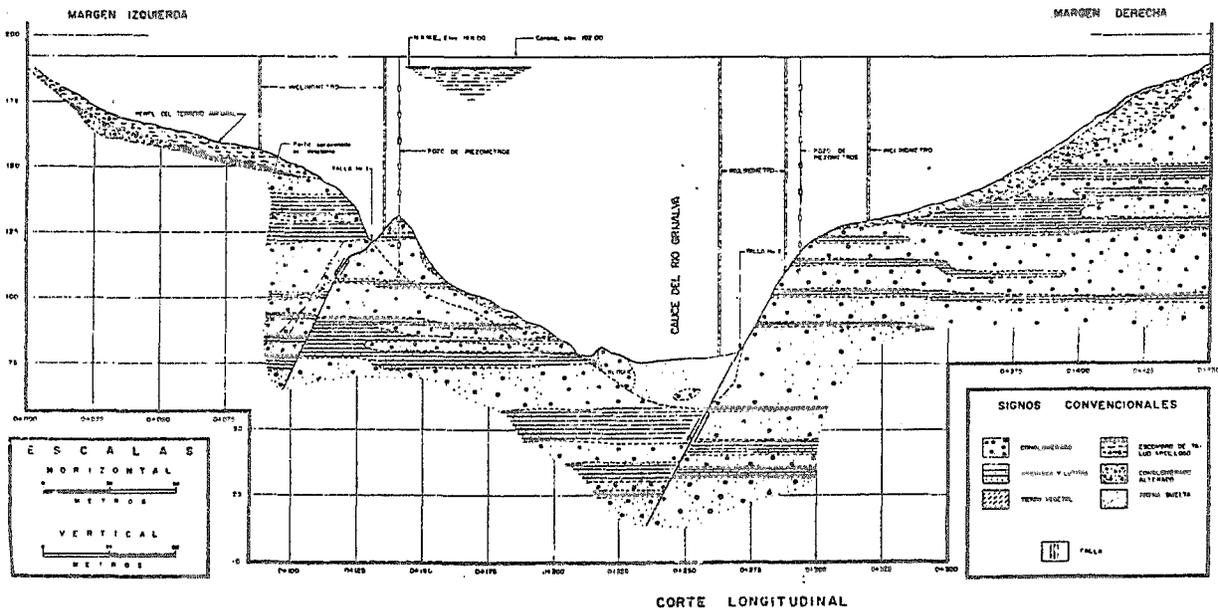
ASENTAMIENTOS VERTICALES.

Los datos obtenidos de las observaciones hechas en los inclinómetros instalados en el corazón impermeable indican lo siguiente:

- 1) El asentamiento máximo total observado durante el período de construcción, fué de 1.53 M. que representa casi el 1% con respecto a la altura de la cortina (138 M)
- 2) A partir del primer embalse y en un período de dos años más, se ha incrementado este asentamiento en 50 cm. -- aproximadamente, tendiendo a estabilizarse. El asentamiento vertical se ha observado que es gradual, siendo mayor en los estratos más profundos.
- 3) Los inclinómetros instalados en los respaldos permeables muestran asentamientos verticales máximos de las partes más profundas del orden de 50 cm. tanto aguas arriba -- como aguas abajo, tendiendo a estabilizarse.

EN CONCLUSION:

Los asentamientos y desplazamientos que se originan en los primeros embalses en esta presa fueron causados por las nuevas -- condiciones, pero en base a la instrumentación utilizada, podemos decir que en los últimos años se han registrados asentamientos y desplazamientos relativamente pequeños de manera que puede afirmarse desde un punto de vista práctico que la estructura está estable.



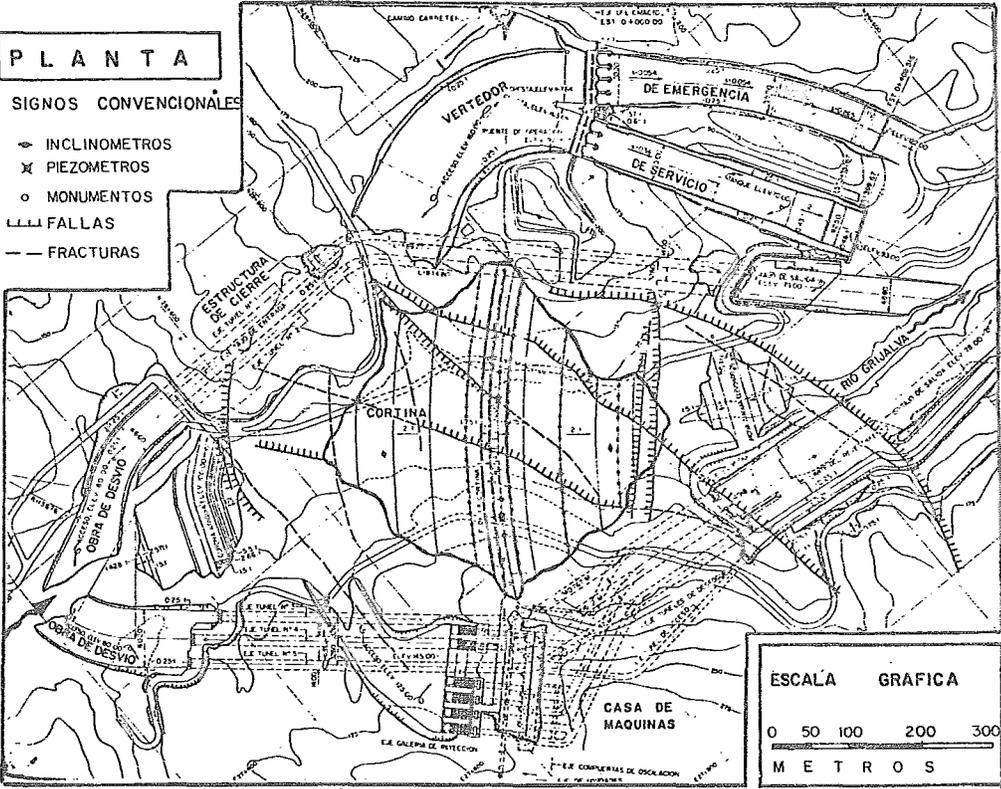
PRESA NETZAHUALCOYOTL CHIS.

	<p>U N A M</p> <p>ENEP ACATLAN</p>	
<p>INFORMACION . GEOLOGICA</p> <p>CORTINA PRINCIPAL</p>		
<p>FIG : 4.12</p>		

PLANTA

SIGNOS CONVENCIONALES

- ◁ INCLINOMETROS
- × PIEZOMETROS
- MONUMENTOS
- ||| FALLAS
- — — FRACTURAS



P R E S A
NETZAHUALCOYOTL, CHIS.
 (MALPASO)



U N A M

ENEP ACATLAN



INFORMACION GENERAL

DEL PROYECTO

Fig: 4.13

PRESA HIDROELECTRICA CHICOASEN.

LOCALIZACION.

La presa hídroléctrica Chicoasén se localiza aproximadamente a unos 22 Km. al norte de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Capital del Estado de Chiapas, al este a unos 40 Km. se localiza el -- municipio Chiapa de Corzo y al sureste a unos 240 Km. se en--- cuentra la ciudad de Tapachula Chiapas, fig. 4.14 (Ref. 6)

INSTRUMENTACION.

Con el objeto de conocer el comportamiento de los materiales - que constituyen el cuerpo de la cortina y el de su cimentación se optó por instrumentarla (lo que está construido) para verificar si las características adoptadas en el diseño corresponden a las reales y poder así revisar la estabilidad general de la estructura y el de su cimentación.

Dicha instrumentación está constituida por: (Ref. 7)

- 17 Inclinómetros.
- 180 Extensómetros.
- 31 Piezómetros.
- 88 Celdas de presión.
- 36 Niveles hidráulicos.

Los instrumentos antes mencionados se colocaron en las secciones máximas longitudinal y transversal, por el eje de la cortiu

na, según fig. 4.15

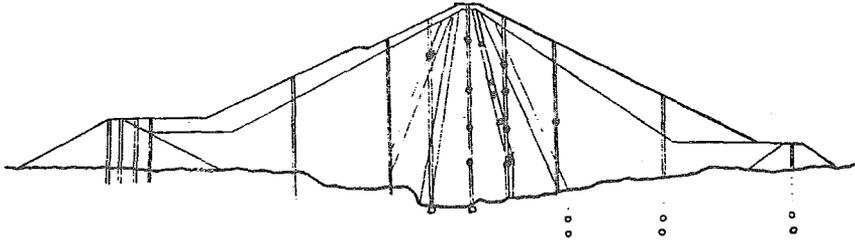
COMPORTAMIENTO.

El comportamiento observado durante la construcción de la cortina de Chicoasén, Chis., corresponde al período del 15 de - - abril-1977 al 15 de agosto de 1978 (Ref. 7)

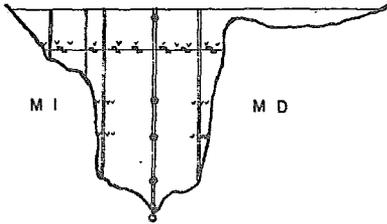
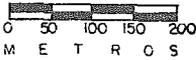
La instrumentación empleada en la cortina de Chicoasén obedece a que se está construyendo con una zonificación de materiales y especificaciones para su colocación un tanto complicada, Con la instrumentación que se muestra en la fig. 4.15, se pretende medir:

- a) Movimientos horizontales y verticales (inclinómetros, niveles hidráulicos)
- b) Extensiones o compresiones (Extensómetros)
- c) Esfuerzos totales (celdas de presión).
- d) Presiones de agua (Piezómetros)
- e) Movimientos superficiales correlacionados con topografía de precisión.

En este lapso de observación (15-IV-77 al 15-VIII-78) se ha encontrado que existe diferencia relativa entre el valor de los módulos de compresibilidad asignados a los diferentes materiales, con los calculados directamente en el terraplén; como se muestra en la fig. 4.16, razón por la cual, se decidió reali--



E S C A L A



S I M B O L O G I A

- || INCLINOMETRO
- |— EXTENSOMETRO
- PIEZOMETRO NEUMATICO
- CELDAS DE PRESION (C)
- (E)+(Pn)+(C)
- △ DRENES
- ∨ NIVEL HIDRAULICO
- MI MARGEN IZQUIERDA
- MD MARGEN DERECHA



U N A . M

ENEP ACATLAN



LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS EN
LAS SECCIONES MAXIMA LONGITUDINAL
Y TRANSVERSAL DE LA CORTINA DE
LA PRESA DE CHICOASEN.

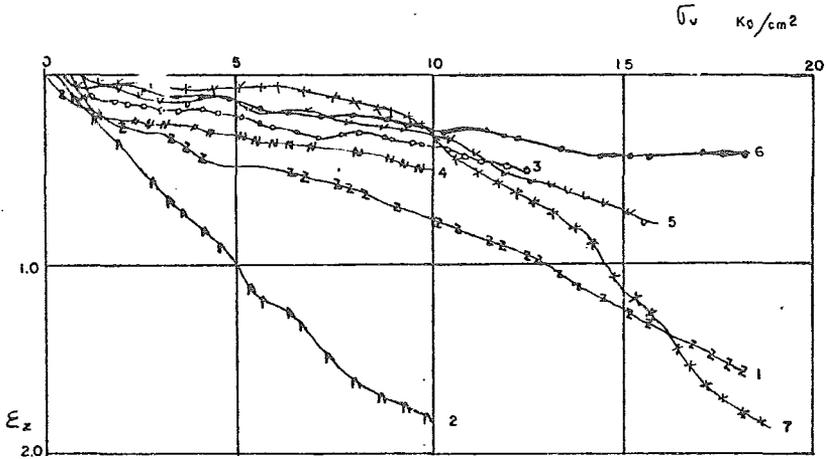
Fig: 4.15

zar un nuevo análisis bidimensional con el método de elementos finitos. En la misma figura 4.16 se muestran las gráficas de deformaciones unitarias V.S. Esfuerzos Verticales, a partir de los cuales se evaluaron los módulos de deformación promedio --
 $M_p = \bar{\sigma}_v / \bar{\epsilon}$

El efecto de interacción entre la arcilla del núcleo impermeable y los cantiles de roca parece que hasta ahora no es de importancia, ya que al comparar los asentamientos de los inclinómetros B3 y B4 próximos a las paredes del cantil, pero fuera de la zona húmeda (fig 4.17) muestra una buena correlación, lo que significa que el corazón se ha asentado uniformemente y por lo tanto que la faja de arcilla húmeda en contacto con los cantiles ha sido efectiva (ref. 7)

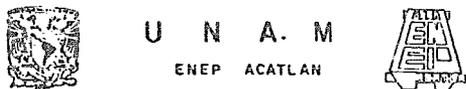
En forma paralela a la construcción de la cortina de Chicoasén se han desarrollado terraplenes de prueba con los materiales arcillosos de Tejería y Costilla, con el propósito de realizar ensayos de permeabilidad y de placa para así con estas últimas determinar módulos de deformación.

Las pruebas de permeabilidad efectuadas en 2 zanjas paralelas de 2.0 x 0.5 M. separadas entre sí 0.5 M.; ya sea en la dirección de la rodada de compactación o perpendicular a ésta, acusaron valores de permeabilidad para el material de Tejería del orden de $K = 10^4$ cm/seg.; que resulta 10 veces mayor que los obtenidos en pruebas de permeabilidad vertical estándar de laboratorio. Las pruebas de placa en el terraplen para determi-



n	I	ec	Material	Elev.	Mp Calc.	Mc Supuesto
1	I-AB	501	Arcillo (Tejano)	174.0	1 500	(600)
2	I-AB	504	Arcillo (Costilla)	208.9	500	(600)
3	I-A6	501	Filtro	191.4	4 000	(600)
4	I-A6	494	Transición	206.4	2 000	(600)
5	I-AB	501	Enrocamiento	182.5	4 000	(500)
6	I-A4	502	Depósito aluvial	174.4	5 000	(-)
7	I-A4	502	" "	159.4	500	(-)

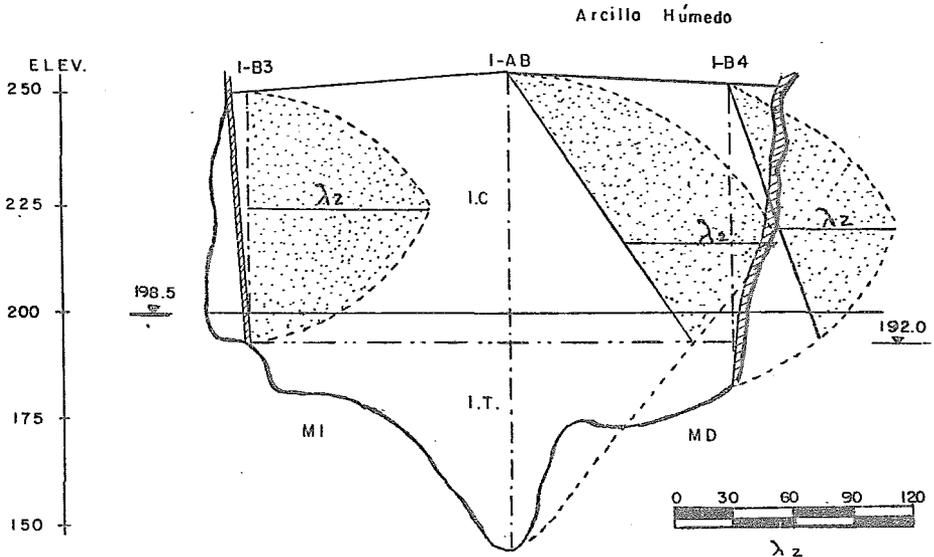
- $\sigma_v = \delta \cdot h$ Esfuerzo vertical, en Kg/cm²
 ϵ_z Deformación vertical, en porcentaje.
 n Número de gráfica
 I Inclínómetro
 e_c Espesor de la capa, en cm.
 E_{lev} Elevación de la capa, en m
 $M_p = \frac{\sigma_v}{\epsilon}$ Modulo de deformación, en Kg/cm²



U N A M
 ENEP ACATLAN

**DEFORMACIONES UNITARIAS VS
 ESFUERZOS VERTICALES**

Fig: 4.16



ASENTAMIENTOS A PARTIR DE LA ELEV. 192

- I T ARCILLA (TEJERIA)
- I C ARCILLA (COSTILLA)
- λ_2 ASENTAMIENTO , EN CM.
- I INCLINOMETRO
- ELEV. ELEVACION , EN M.

U N A . M

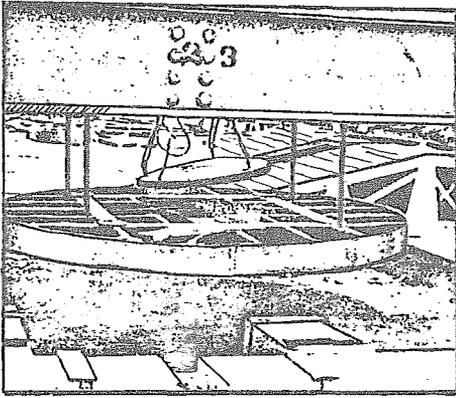
ENEP ACATLAN

ASENTAMIENTO EN LOS INCLINOMETROS
AB, B3 Y B4 DEL CORAZON IMPERMEABLE.
ELEVACION TERRAPLEN
(AGOSTO 1978)

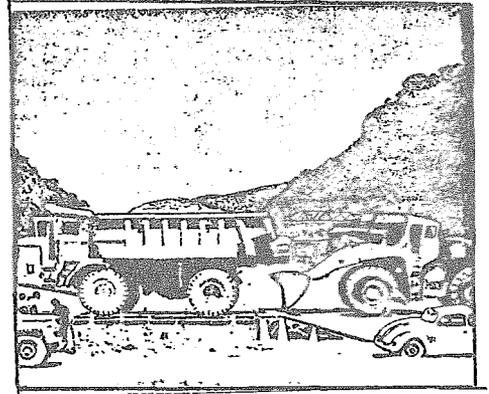
FIG : 4.17

nar los módulos de deformación no han sido satisfactorias quizá por la falta de confinamiento y se van a continuar con algunas modificaciones. La intención de estas pruebas es poder estimar razonablemente estos parámetros de cálculo para el diseño de una cortina antes de iniciar su construcción. Con el mismo fin se ha diseñado para la cortina de Chicoasén un dispositivo que permite medir directamente el modulo de deformación de los materiales una vez colocados en la cortina. Dicho dispositivo consiste en una placa rígida de confinamiento que transmite 1 Kg./cm² de 2.4 M., de diámetro con una perforación al centro de 0.8 M. de diámetro.

Dentro de esta perforación se aloja otra placa a la que se le aplican diferentes presiones (máxima de 4 Kg/cm²) para establecer las relaciones esfuerzo-deformación. La carga se transmite mediante gatos hidráulicos calibrados, los cuales reaccionan contra una de las vagonetas apoyada sobre una plataforma diseñada para ello (fig. 4.18)



PLACA RIGIDA DE CONFINAMIENTO QUE TRANSMITE 1 Kg/cm^2 DE 2.4 m DE DIAMETRO CON UNA PERFORACION AL CENTRO DE 0.8 m DE DIAMETRO.



LA CARGA SE TRANSMITE MEDIANTE GATOS HIDRAULICOS CALIBRADOS, LOS CUALES REACCIONAN CONTRA UNA DE LAS VAGONETAS APOYADA SOBRE UNA PLATAFORMA.



U N A . M

ENEP ACATLAN



PRUEBA DE PLACA EN LA CORTINA
PARA LA DETERMINACION DEL MO-
DULO DE DEFORMACION. (CHICOASEN).

Fig: 4.18

REFERENCIAS

CAPITULO IV

- 1.- Presas de tierra y enrocamiento
Raúl J. Marsal.
Daniel Reséndiz.
Ed. Limusa. México
- 2.- Mecánica de Suelos
Tomo II
Juárez Badillo-Rico Rodríguez.
Ed. Limusa México.
- 3.- Aplicación de la Instrumentación en Presas de Tierra
y Enrocamiento.
Tesis profesional México 1978
Héctor R. Beristain Andrade
Francisco Martínez Escobedo.
- 4.- Sismología en Presas
Arturo Ulloa, Jorge Price.
Revista de Ingeniería, México, D.F., abril 1966
- 5.- Presas de México
S.R.H. Jefatura de Irrigación.
y Control de Ríos.
Tomo I México, 1969.
- 6.- Monografía Geotecnia del P.H. Chicoasén Chis.
Series Tecnicas C.F.E. (I)
- 7.- IX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos.
Tomo II 1978.

CAPITULO V

CAPITULO V

TRATAMIENTOS DE CIMENTACION.

Como ya se comentó en los capítulos anteriores, la importancia que tienen las presas, por las funciones que desarrollan, a -- continuación se describirán los tratamientos que se utilizan - para mejorar las características mecánicas del terreno de apoyo de la cortina.

El mejoramiento que se pretende al tratar el terreno de la cimentación de la cortina, es el de obtener características de - resistencia y de deformabilidad de manera que la cortina experimente un comportamiento adecuado; además otro objetivo que - se persigue es el obtener una permeabilidad congruente con el buen funcionamiento de la presa. O sea implícitamente se esta aceptando que los problemas frecuentes que se presentan en los terrenos de apoyo de las cortinas son de:

- a) Resistencia
- b) Deformaciones no aceptables.
- c) Permeabilidades no convenientes.

En función de ellos, el ingeniero ha utilizado una serie de me todos para contrarrestarlos que se describirán a continuación:

Métodos generales que permiten contrarrestar los problemas que se presentan en la cimentación de las cortinas.

Existen algunos métodos que se utilizan en México, para solucionar problemas en la cimentación de cortinas, ellos eliminan o reducen el grado de incertidumbre en cuanto a la estabilidad de la cortina o bien el de la presa en general.

La solución óptima en el tratamiento de la cimentación de la cortina en general, se puede obtener mediante una combinación de los diferentes métodos que hasta ahora se han utilizado para modificar en el sentido deseado las características del terreno de apoyo de la cortina, o sea que no se debe pensar que cada método es autosuficiente en lograr los objetivos requeridos.

A.- T R I N C H E R A S .

El terreno de apoyo que se escoje para la construcción de la cortina, normalmente está constituido por depósitos aluviales, como los correspondientes a las terrazas de una corriente natural, apareciendo también depósitos de talud producto del arrastre hacia el cauce de los materiales constitutivos de las laderas naturales existentes en la zona; estos depósi-

tos generalmente no presentan las características óptimas para garantizar el adecuado apoyo de la cortina, por lo que en muchas ocasiones el ingeniero ha decidido eliminarlos mediante la construcción de una trinchera cuya profundidad se puede determinar en función de la teoría de flujo de agua en medios permeables o bien por que se decide llevarla hasta descubrir un manto de roca de suficiente impermeabilidad; esta trinchera normalmente se rellena con el mismo material que constituye el corazón impermeable por lo que en cierta forma constituye una prolongación de éste; el factor económico será otra de las variables a considerar en el diseño de este dispositivo que parece ser de los más eficaces, afirmación que se hace teniendo en cuenta que hasta ahora no se ha reportado ninguna falla de este tipo de solución.

La trinchera se realiza según el eje longitudinal de la cortina y su ancho se fija en función de la teoría del flujo de agua a través de ella; un criterio para determinar sus dimensiones aceptado comunmente y que por cierto es el utilizado por los técnicos de la S.A.R.H. responsables del diseño de cortinas en nuestro país, es el de no permitir que el gradiente hidráulico del flujo de agua que se produzca a través de la cortina y de su cimentación sobrepase el valor de 4, teniendo en cuenta que en el caso de cortinas de suma importancia, en cuanto a las que alcanzan alturas considerables, el

valor límite máximo del gradiente hidráulico se reduce de 4 -
a 2 (ref. I)

Como un ejemplo que en forma sencilla ilustre el método que se sigue para determinar las características geométricas de una trinchera se propone a continuación el caso de una de ellas para servir de apoyo a una cortina de tierra de 60 M., de altura, que se pretende construir obstruyendo el paso de una corriente natural de agua en un sitio en donde se tiene material de aluvión formado básicamente de arena cuya permeabilidad promedio resulta ser de 10^{-4} cm/seg. y cuyo espesor alcanza los 15 M., subyaciéndole aparece una roca basáltica con características de resistencia, deformabilidad y permeabilidad definitivamente adecuadas para el apoyo de una cortina, el espesor de la roca se puede considerar indefinido, teniendo en cuenta las dimensiones de la cortina; las características geométricas de la trinchera en cuanto a profundidad y ángulos de talud en sus paredes se podrán obtener considerando entre otras la condición de que el gradiente hidráulico en ningún punto de la trinchera sobrepase el valor de 4; en estas condiciones lo primero que se hace es seleccionar, a criterio del diseñador, las características geométricas comentadas, para pasar enseguida a la determinación de la correspondiente red de flujo en la que se cumpla la condición mencionada; en el caso presente y como ejemplo explicativo se --

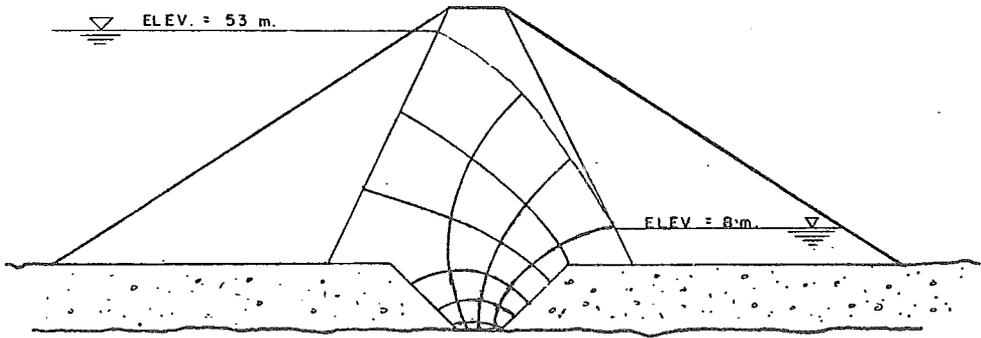
ha elegido para la profundidad de la trinchera 15 M., también se ha considerado como ángulo de talud de las paredes de la trinchera 45° y el ancho de la base de la trinchera 10 M.; al trazar la red de flujo, el gradiente hidráulico resulta estar en el intervalo de 2 a 4 (fig. 5AI) que utiliza la S.A.R.H., con lo cual se cumple con dicha regla.

En el caso de que no la cumpliera, el siguiente paso sería modificar las dimensiones de la trinchera y trazar la red de flujo correspondiente hasta lograr cumplir con la regla establecida.

Como ejemplos que han dado resultados satisfactorios con el uso de este método se citan:

- a) La Presa Guadalupe Victoria.
- b) La Presa Alvaro Obregón.

Las cuales se muestran en las figuras 5A2 y 5A3 respectivamente.



$$\Delta h = \frac{h}{n_e}$$

$$i = \frac{\Delta h/2}{l}$$

- h Pérdida Total de Carga
- n_e Número de Caídas Equipotenciales
- Δh Pérdida de Energía entre Equipotenciales
- i Gradiente Hidráulico Medio
- l Distancia a la mitad del cuadrado

CALCULO DEL GRADIENTE HIDRAULICO

$$h = \text{elev. } 53 - \text{elev } 8 = 45 \text{ m.}$$

$$n_e = 3 \quad \Delta h = \frac{45}{3} = 15$$

$$\text{AHORA} \quad i = \frac{15/2}{2} = 3.75$$

POR LO TANTO SE CUMPLE LA REGLA DE

$$2 \leq i \leq 4$$

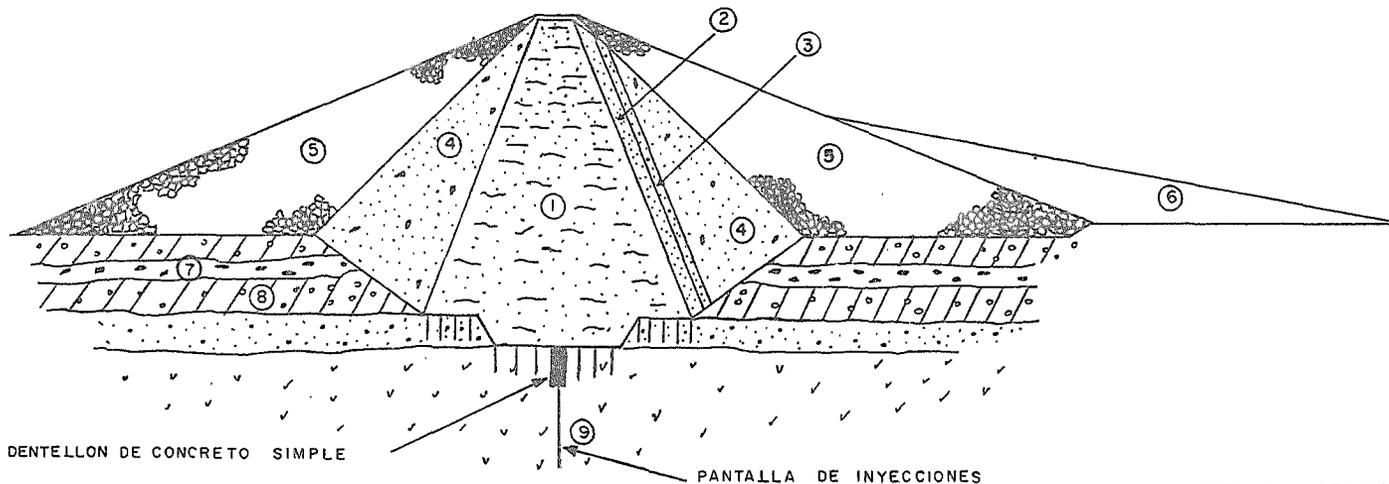


U N A M

ENEP ACATLAN

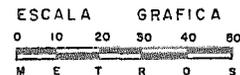


COMPROBACION DE LA REGLA
(ref. I)
fig. 5.A₁



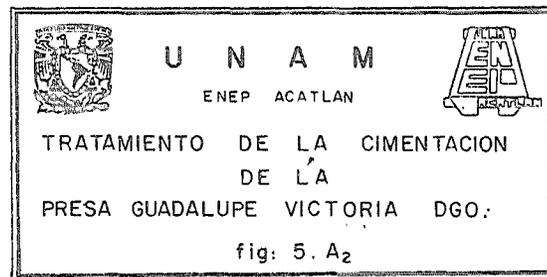
DENTELLON DE CONCRETO SIMPLE

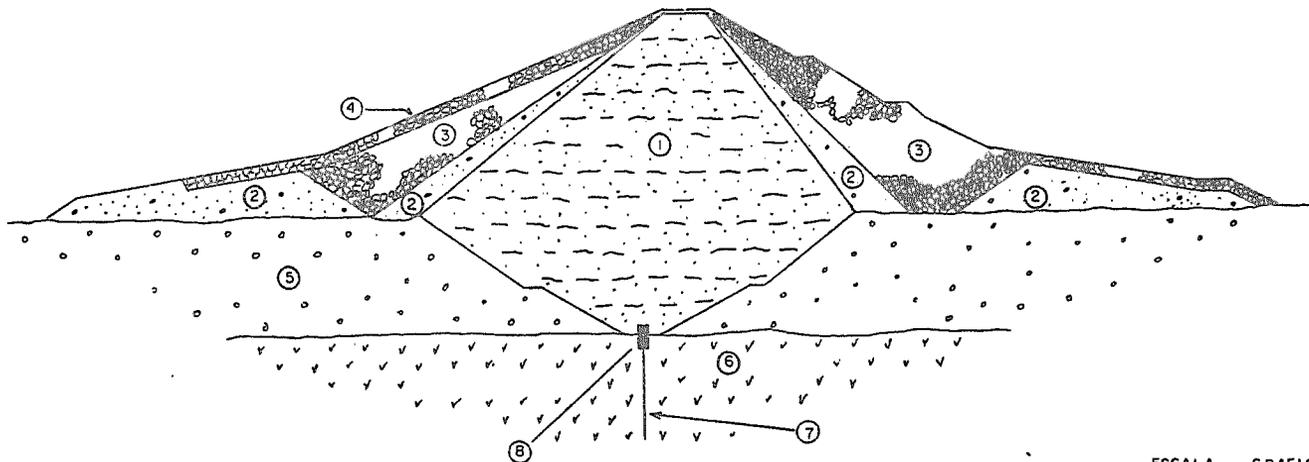
PANTALLA DE INYECCIONES



S I M B O L O G I A

- 1 MATERIAL IMPERMEABLE COMPACTADO
- 2 FILTRO DE ARENA BIEN GRADUADA
- 3 FILTRO DE GRAVA Y ARENA
- 4 MATERIAL PERMEABLE DE GRAVA Y ARENA
- 5 ENROCAMIENTO SELECTO
- 6 MATERIAL PRODUCTO DE LAS EXCAVACIONES DEL VERTEDOR
- 7 ESTRATO DE TURBA
- 8 ESTRATO DE GRAVA Y ARENA
- 9 TOBA RIOLITICA





ESCALA GRAFICA
0 10 20 30 40 50
M E T R O S

SIMBOLOGIA

- 1 MATERIAL IMPERMEABLE COMPACTADO
- 2 MATERIAL PERMEABLE (GRAVA Y ARENA)
- 3 ENROCAMIENTO A VOLTEO
- 4 ENROCAMIENTO SELECTO
- 5 MATERIAL DE ACARREO (GRAVA Y ARENA)
- 6 ESTRATO DE BASALTO
- 7 PANTALLA DE INYECCIONES
- 8 DENTELLON DE CONCRETO SIMPLE

	U N A M ENEP ACATLAN	
TRATAMIENTO DE LA CIMIENTACION DE LA PRESA ALVARO OBREGON SON. fig. 5. A ₃		

B.-

DENTELLONES DE CONCRETO.

Ha sido práctica usual en México, desde hace unos 10 años, -- alojar un dentellón de concreto simple a lo largo del eje longitudinal de la cortina con el propósito de reducir el flujo de agua, por ejemplo el que ocurre a través de una roca intemperizada o fracturada que aparezca en el lugar ó bien en cauces sepultados constituidos por materiales permeables.

Tanto la construcción de la trinchera como la de los dente-- llones constituyen por si mismos una exploración directa del terreno de apoyo de la cortina; ésta permite al ingeniero examinar más efectivamente los materiales, accidentes geológicos expuestos, pudiendo así determinar el trabajo de impermeabilización a partir de la plantilla que se deje al hacer la excavación, ya sea para la construcción del dentellón o el de una trinchera.

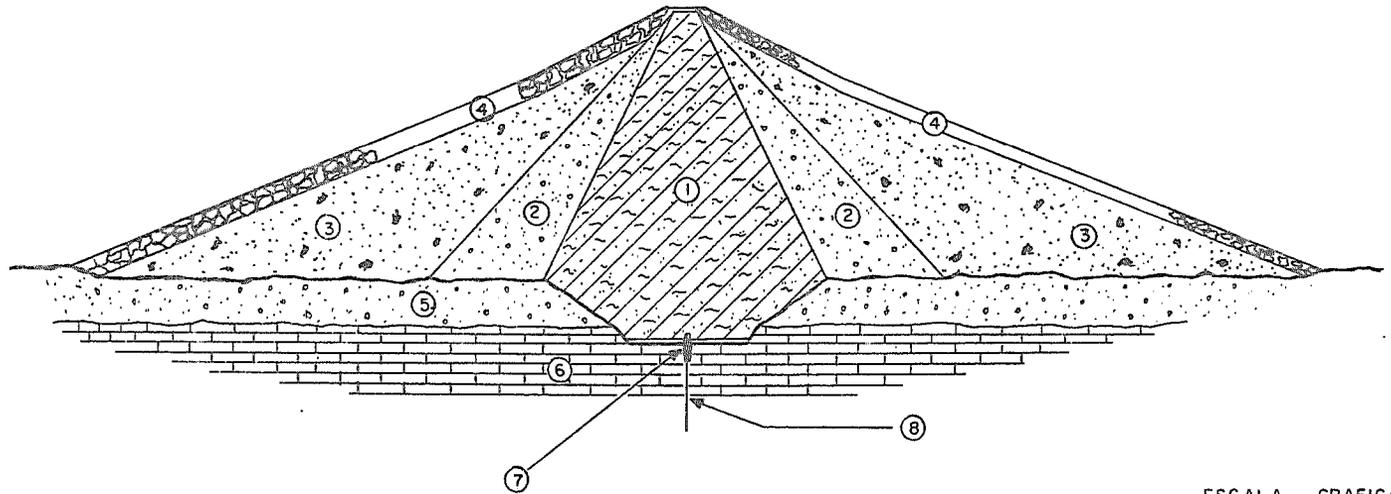
Hasta el año de 1960, era práctica común prolongar los dente-- llones de concreto simple dentro del corazón impermeable de -- la cortina con el objeto de alargar el paso de filtración; -- dicha prolongación en la actualidad se ha eliminado porque -- puede fracturarse el dentellón localmente y consecuentemente producir grietas en el contacto con el material impermeable -- acortando el paso de filtración; por esta razón cuando surge

la necesidad de construir el dentellón éste se lleva única--
mente hasta la superficie de la rosa.

La profundidad del dentellón se puede determinar por medio de
la exploración directa o bien utilizando la regla que se em--
plea para determinar las dimensiones geométricas de la trin--
chera.

Como ejemplo se puede citar a la presa Presidente Benito Juárez,
Oax., cimentada en calizas cavernosas en donde con el ---
auxilio de dentellones de concreto, fué posible cortar acci--
dentes geológicos de gran importancia y a la vez sirvió de ba
se de apoyo para realizar una pantalla de inyecciones y un ta
pete de inyecciones el cual abarcó toda la zona de apoyo de -
la cortina .

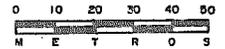
En la fig. 5B1, se muestra el tratamiento de la cimentación -
de la Presa Presidente Benito Juárez, Oax.,



S I M B O L O G I A

- 1 MATERIAL IMPERMEABLE COMPACTADO
- 2 GRAVA Y ARENA
- 3 RESPALDOS PERMEABLES
- 4 ENROCAMIENTO SELECTO
- 5 GRAVA Y ARENA
- 6 CALIZA
- 7 DENTELLON DE CONCRETO
- 8 PANTALLAS DE INYECCIONES PROFUNDAS

ESCALA GRAFICA



	U N A M	
TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION DE LA PRESA PRESIDENTE BENITO JUAREZ OAX. fig. 5.B.		

C.-

DELANTALES IMPERMEABLES.

Es normal que en el cauce del río donde se desplanta la cortina, se encuentren depósitos de aluvión de material permeable, el cual no presenta las características de resistencia, deformabilidad y permeabilidad convenientes para la construcción de la cortina, por lo que se procede a tratar el terreno de apoyo de la cimentación de la cortina.

El tratamiento ideal, depende del espesor del estrato de material permeable que se encuentra en donde se quiere ubicar la cortina; si el espesor del estrato de material permeable es del orden de 10 a 15 M., el método idóneo sería la construcción de una trinchera o bien un dentellón de concreto simple, pero si tal espesor es del orden de 80 a 100 M., se tendrá que optar por un método que permita controlar las filtraciones, porque si se empleara la construcción de una trinchera elevaría el costo total de ésta y consecuentemente resulta antieconómico.

Un método que permite controlar las filtraciones a través del material permeable es la construcción de un delantal impermeable, que consiste en prolongar el material del corazón impermeable de la cortina hacia la atagüa aguas arriba y con esto se logra alargar el paso de filtración y consecuentemente es-

to reduce la velocidad y obviamente el gasto de filtración - atagüa aguas abajo.

Como ejemplo explicativo se calculará el gasto de filtración de las figs. 5C₁ y 5. C₂. las cuales muestran dos cortinas y su red de flujo y están desplantadas en un depósito de material permeable de características iguales.

El gasto de filtración estará regido por la siguiente ecuación (Ref. 2)

$$q = k H \frac{N_t}{N_e} \dots \dots \dots \text{ec. (1)}$$

Donde:

q = gasto de filtración en M³/seg/M.

K = coeficiente de permeabilidad en M/seg.

H = carga de agua en M.

N_t = número de tubos de la red de flujo;

N_e = número de caídas de potencial de la red.

Para el ejemplo tendremos un K = 4 X 10⁻⁵ m/seg. y una H = 37 M. y con estos datos se calculan los gastos de filtración que se registran en las figuras.

De la figura 5.C₁ se obtiene:

$$N_t = 3 \quad N_e = 9$$

utilizando la ec. (1) tenemos.

$$q_1 = 4 \times 10^{-5} \times 37 \left(\frac{3}{9} \right) = 0.0004933 \text{ M}^3/\text{seg}/\text{M}.$$

De la figura 5.C₂ se obtiene:

$$N_t = 3 \quad N_e = 14$$

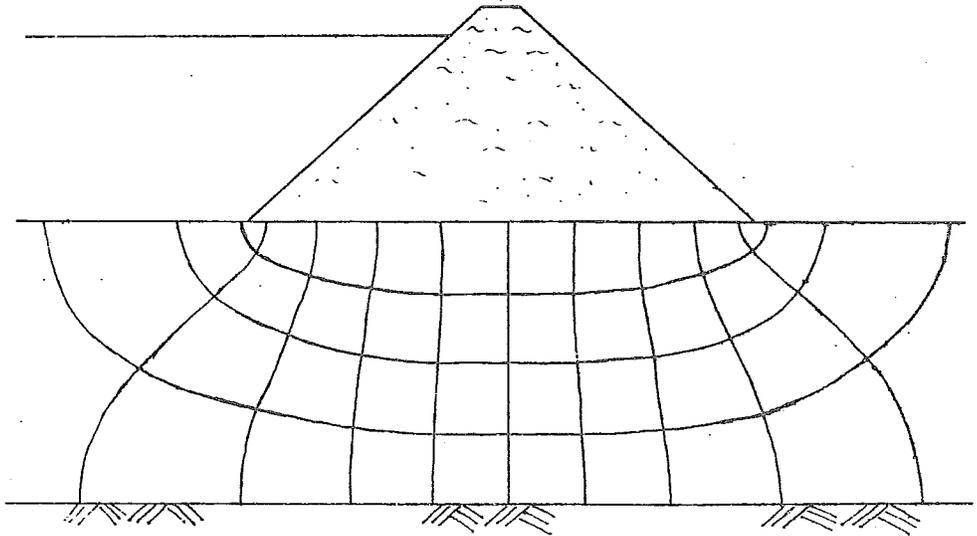
utilizando la ec. (1) tenemos.

$$q_2 = 4 \times 10^{-5} \times 37 \left(\frac{3}{14} \right) = 0.0003171 \text{ M}^3/\text{seg}/\text{M}.$$

Con estos resultados se ven que q_1 es mayor que q_2 , por lo -- tanto se deduce que el empleo del delantal impermeable reduce el gasto de filtración.

Un ejemplo en el que se usó este dispositivo es la presa Abelardo L. Rodríguez, Son., en la cual se construyó un delantal de 300 M., de longitud con un espesor variable de 3 a 6 M. - Este delantal ha trabajado como se esperaba ya que las filtraciones registradas al pié de la cortina durante los primeros años de operación, coincidieron en general con los resultados de los cálculos realizados. Con el tiempo se han reducido -- filtraciones .

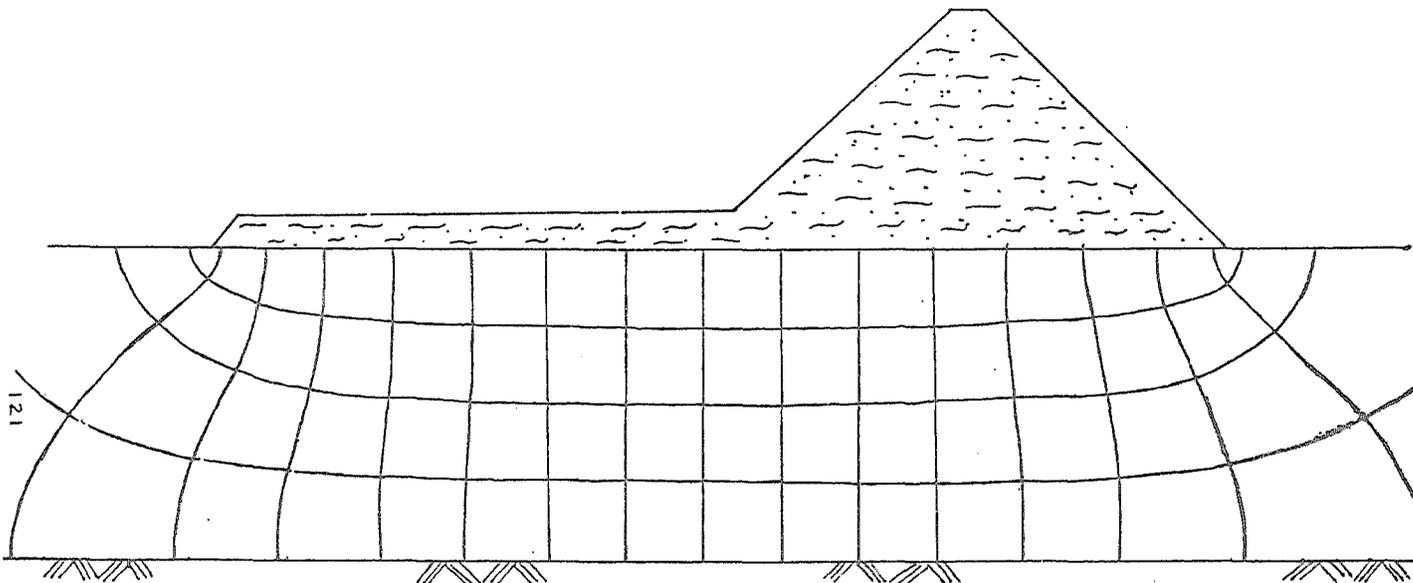
En la fig. 5. C₃ se ve el tratamiento de la cimentación de la presa Abelardo L. Rodríguez.



 **U N A. M** 
ENEP ACATLAN

CORTINA DE MATERIAL IMPERMEABLE
Y SU RED DE FLUJO

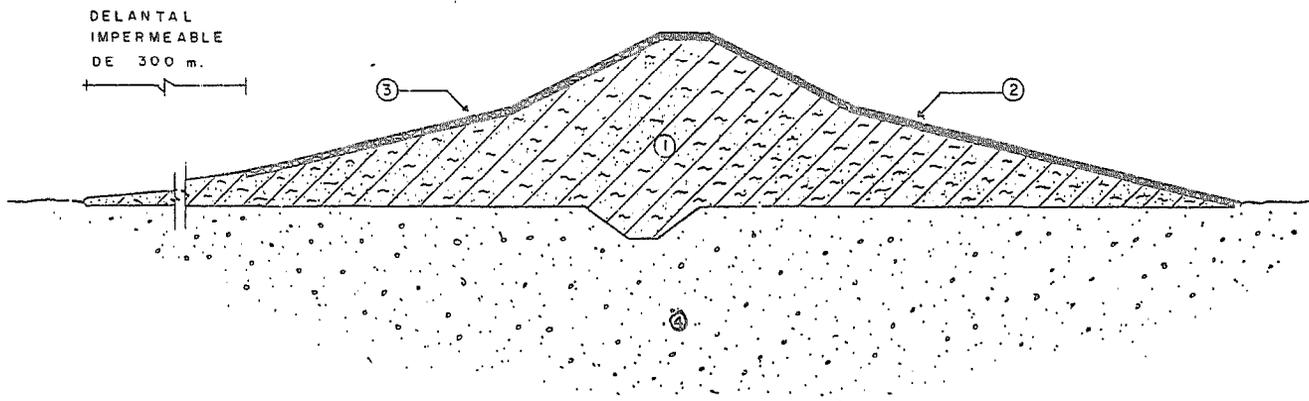
fig: 5 C 1



 U N A M 
ENE P ACATLAN

CORTINA CON DELANTAL IMPERMEABLE
Y SU RED DE FLUJO

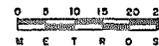
fig: 5.C₂



S I M B O L O G I A

- 1 MATERIAL IMPERMEABLE COMPACTADO
- 2 MATERIAL DE REZAGA
- 3 ENROCAMIENTO SELECTO
- 4 GRAVA . Y ARENA

ESCALA GRAFICA



	<p>U N A M</p> <p>ENEP ACATLAN</p>	
<p>TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION DE LA PRESA ABELARDO L. RODRIGUEZ SON.</p> <p>fig. 5.C3</p>		

D.- PANTALLAS RIGIDAS DE CONCRETO.

Otro método que se utiliza para impermeabilizar depósitos permeables de grava y arena en el cauce de los ríos es el de pantallas rígidas de concreto.

Este método se realiza donde se encuentran depósitos de materiales permeables a profundidades mayores de 30 M., y el ancho de la pantalla normalmente es del orden de 0.60 a 1.00 M.

Normalmente el método de pantallas rígidas de concreto se realiza en las siguientes etapas:

- 1.- Se construye un terraplen de grava y arena -- consolidada para plataforma de trabajo.
- 2.- La excavación se realiza con equipo de percusión, para pilotes de 0.60 de diámetro y espaciados a cada 2.00 M., aproximadamente con -- profundidad hasta encontrar roca sana; se utiliza lodo bentonítico para su ademe, dejándolo hasta el colado de concreto.
- 3.- La excavación de los tramos intermedios que -- existen entre los pilotes se realiza mediante dragas de almeja; se utilizan lodos bentoníti

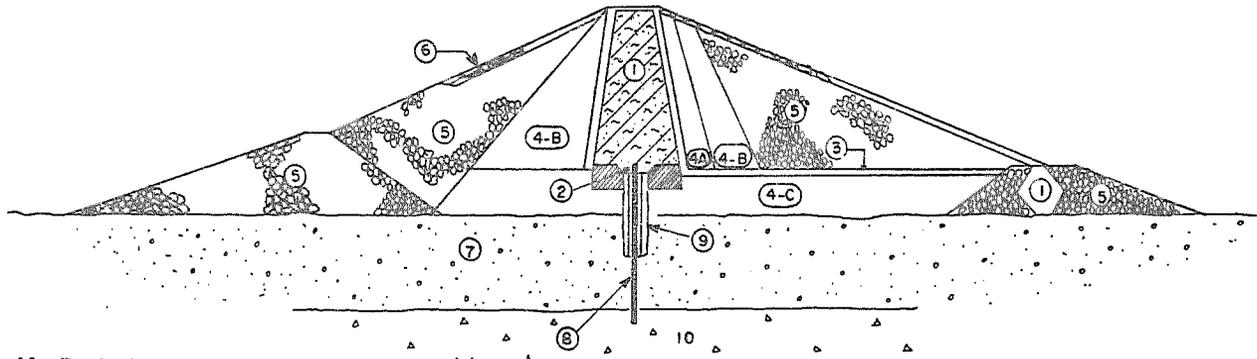
cos para la estabilización de las paredes.

- 4.- Por último se realiza el colado de concreto simple desde el fondo hacia arriba desplazando el lodo bentonítico en paneles de 6 a 5 -- M.

Las etapas anteriores se pueden realizar en forma simultánea para facilitar y agilizar el trabajo.

En la presa José María Morelos se empleó éste método para interceptar un relleno aluvial de grava y arena, con una profundidad de 88.4 M. La pantalla de concreto impermeable se construyó a lo largo del eje longitudinal de la cortina y se empujó 2.00 M., en la roca andesítica en que estaba labrado el cauce sepultado.

En la fig. 5 D₁ se muestra el tratamiento de la cimentación de la presa José María Morelos.



SIMBOLOGIA

- 1 MATERIAL IMPERMEABLE COMPACTADO
- 2 ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD
- 3 FILTRO DE ARENA
- 4-A GRAVA Y ARENA BIEN GRADUADA
- 4-B GRAVA Y ARENA
- 4-C GRAVA Y ARENA COLOCADA A FONDO
- 4-D GRAVA, ARENA Y REZAGA COMPACTADAS
- 5 ENROCAMIENTO
- 6 ENROCAMIENTO SELECTO
- 7 ACARREO (GRAVA Y ARENA)
- 8 PANTALLA DE CONCRETO
- 9 PANTALLA DE INYECCIONES DE CONSOLIDACION
- 10 BRECHA ANDESITICA

ESCALA GRAFICA
0 10 20 30 40 50
M E T R O S

	U N A M	
ENEP ACATLAN		
TRATAMIENTO DE LA CIMIENTACION DE LA PRESA JOSE MARIA MORELOS MICH. fig. 5 D1		

E.- PANTALLA FLEXIBLE O DE LODOS.

Otra manera de reducir las filtraciones a través de los depósitos permeables que se encuentran en los cauces de los ríos, es el empleo de la pantalla flexible ó de lodos.

La construcción de esta pantalla, consiste en excavar en los depósitos de aluvión una zanja con un ancho de 1 a 2 M., a lo largo del eje longitudinal de la cortina, pudiendo llegar ó no hasta la roca que normalmente subyace a los acarreos; para que sea posible realizarla, se emplea una mezcla de agua-bentonita, con la que se va restituyendo simultáneamente el material que se excava con una draga; el lodo bentonítico actúa como ademe para mantener las paredes verticales y evitar derrumbes y así facilitar el trabajo de excavación.

En la fabricación del lodo se usa con frecuencia bentonita sódica con índice de plasticidad de 75 a 85%, la proporción agua/bentonita fluctúa de 10:1 a 14:1 y la viscosidad medida en el cono Marsh puede variar entre 50 y 120 segundos. (ref. 2).

Quando se termina la excavación en los acarreos, se procede a la sustitución de los lodos bentoníticos de la zanja por la mezcla definitiva que debe ser plástica e impermeable y que

puede estar compuesta con arena y grava (bien graduada), arcilla o limo y bentonita sódica, estos materiales deben estar intimamente mezclados para que resulte un producto homogéneo. La densidad de la mezcla definitiva es bastante más alta que la del lodo bentonítico por lo que fácilmente se consigue que desplace a éste.

La profundidad a la que se ha podido llegar en México con este procedimiento, es del orden de los 25 M., para excavar se puede usar draga; los acarrees pueden contener boleos y fragmentos de roca mayores de 1 metro, los cuales para extraerse se rompen con un barretón de acero con punta de cincel de 7 u 8 toneladas.

ETAPAS QUE SE REALIZARON PARA LA CONSTRUCCION
DE LA PANTALLA FLEXIBLE EN LA PRESA FRANCISCO
ZARCO, DURANGO.

1ra. ETAPA.

Excavación de una zanja a partir de ambos márgenes de 3 M., - de ancho, se realizó con una draga de 6 1/2 yardas cúbicas y profundizando a 20 M., como máximo, para que no se derrumbara se mantenía continuamente llena la zanja con lodo bentonítico para estabilizar los taludes.

2da. ETAPA.

El relleno de la zanja se realizó con una mezcla de materiales con las siguientes proporciones:

- 78 % de grava y arena.

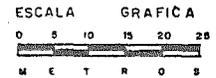
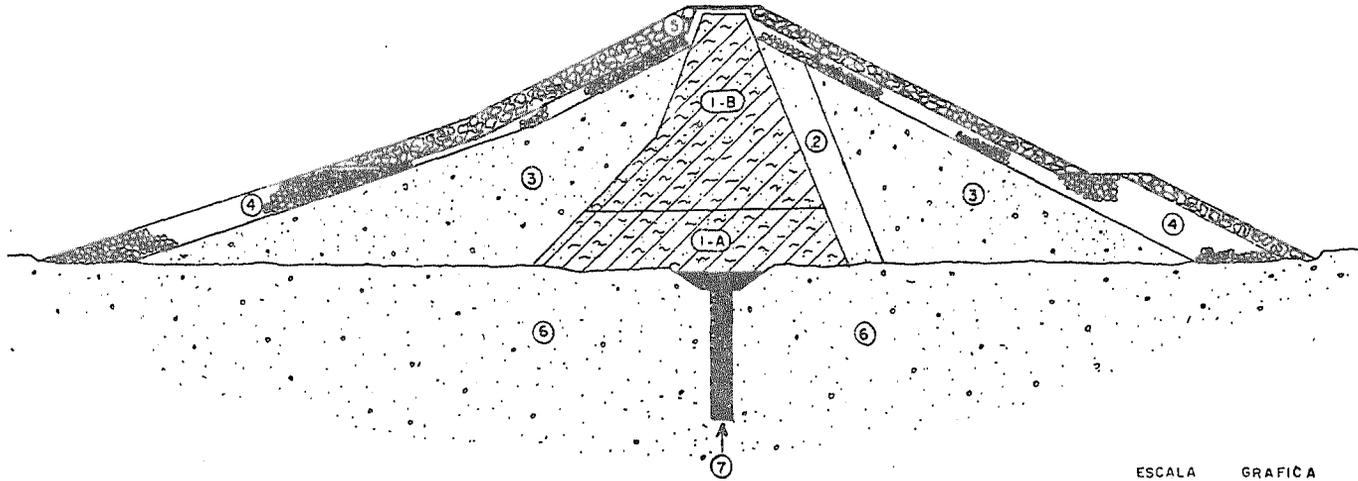
- 15% de limo.

- 7 % de bentonita hidratada.

La mezcla se depositó con equipo de cucharón de gajos (orange peed), montado en una draga para depositar el relleno en el fondo de la excavación y de esta manera evitar segregación.

Al terminar la pantalla flexible de lodos se procedió a efectuar el inyectado de las 3 líneas de pantalla laterales, para impermeabilizar y consolidar los materiales de derrumbe de talud, dicha inyección fue de una profundidad de unos 30 M., en ambas márgenes.

El uso de este dispositivo ha dado resultados muy satisfactorios de acuerdo con la información recabada de los instrumentos instalados en la presa Francisco Zarco, Dgo., en la fig. 5. E₁, se muestra el tratamiento de la cimentación de la presa Francisco Zarco, Dgo.



SIMBOLOGIA

- 1-A MATERIAL IMPERMEABLE COMPACTADO (ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD)
- 1-B MATERIAL IMPERMEABLE COMPACTADO (ARCILLA PLASTICA)
- 2 FILTRO DE GRAVA Y ARENA
- 3 MATERIAL PERMEABLE COMPACTADO
- 4 ENROCAMIENTO DE REZAGA
- 5 ENROCAMIENTO SELECTO
- 6 MATERIAL DE ACARREO (GRAVA Y ARENA)
- 7 PANTALLA IMPERMEABLE

	U N A M ENEP ACATLAN	
TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION DE LA PRESA FRANCISCO ZARCO DGO.		
fig. 5.E1		

F.- PANTALLAS PROFUNDAS DE INYECCION.

Normalmente en México, ha sido práctica usual el de construir una pantalla profunda de inyecciones de lechada de cemento a presión, con el objeto de eliminar o reducir el flujo de agua para que los valores de las filtraciones sean compatibles con los beneficios que se esperan de la obra.

La tendencia actual en el tratamiento de la cimentación de -- una cortina, es la de tener por lo menos dos líneas de inyec-- tado a lo largo del eje longitudinal de la cortina como mini-- mo para lograr así una mejor efectividad en el uso de éste -- método.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos tiene por regla general el de aplicar inyecciones a lo largo del eje -- longitudinal de la cortina a una profundidad igual a la carga hidrostática (diferencia de niveles de agua); pero este cri-- terio se puede cambiar por las diferentes condiciones geoló-- gicas especiales que cada boquilla presenta, ya que en muchos casos se ha tenido que prolongar la pantalla hasta encontrar los estratos o formaciones impermeables localizados a gran -- profundidad, o bien hasta el nivel estático de agua subterrá-- nea. (ref. 1).

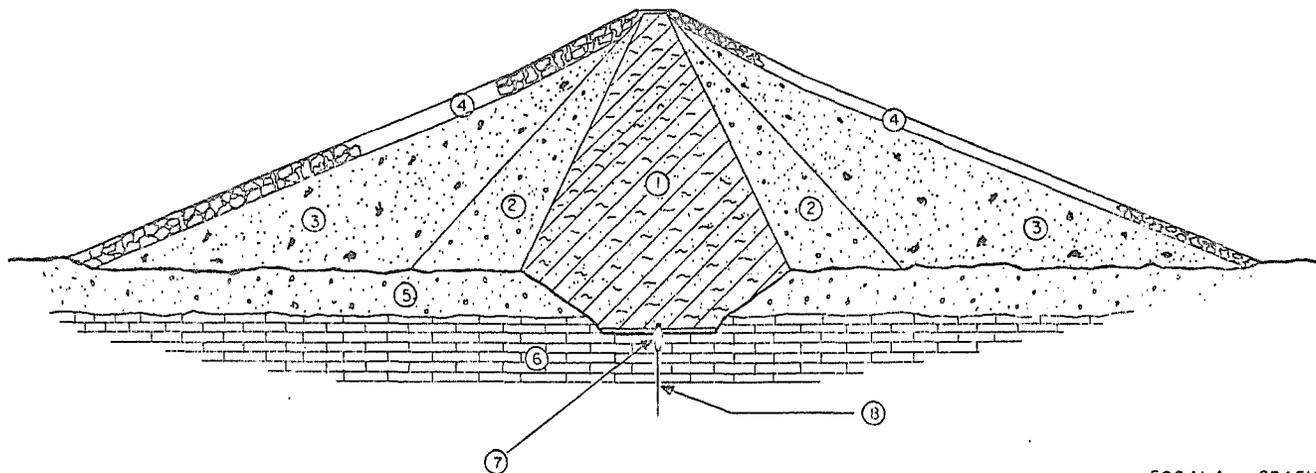
Normalmente en todos los trabajos de cimentación de cortinas se programa un tapete de inyecciones en todo el contacto del corazón impermeable con la roca de cimentación para asegurar esta parte vital de la estructura contra el efecto de una posible tubificación que puede ocurrir por concentración de -- flujo a través de grietas y fracturas que no se hayan detectado en las exploraciones realizadas anteriormente.

El tapete de inyecciones consiste en perforaciones de poca -- profundidad de un orden de 5 a 15 M., pero dependiendo de las condiciones de fisuramiento de la roca, estas inyecciones se realizan en una cuadrícula en toda la zona de contacto de la - roca con el elemento impermeable de la cortina; la separación entre líneas de la cuadrícula varia de 3 a 5 M., éstas inyecciones tienen por objeto principal en las presas de tierra, - el de mejorar la impermeabilidad de la roca que está en con-- tacto con el elemento impermeable de la cortina en donde el - fracturamiento de la roca es más importante.

Las inyecciones de la pantalla impermeable se ejecutan a través de perforaciones realizadas a lo largo del eje longitudinal de la cortina en una, dos o tres líneas paralelas y a través de un dentellón de concreto simple o una galería que frecuentemente coinciden con el eje de la cortina.

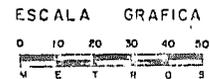
Estas perforaciones son profundas, llegando a alcanzar en ocasiones hasta 100 M., y la separación entre ellas puede variar desde distancias del orden de 1 M., hasta 10 M., dependiendo nuevamente de las condiciones de fisuramiento de la roca.

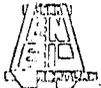
Caso típico en donde se utilizó éste método de pantallas profundas fue en la presa "Presidente Benito Juárez, Oax." la cual se muestra en la figura 5.F1 .



S I M B O L O G I A

- 1 MATERIAL IMPERMEABLE COMPACTADO
- 2 GRAVA Y ARENA
- 3 RESPALDOS PERMEABLES
- 4 ENROCAMIENTO SELECTO
- 5 GRAVA Y ARENA
- 6 CALIZA
- 7 DENTELLON DE CONCRETO
- 8 PANTALLAS DE INYECCIONES PROFUNDAS



	U N A M	
TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION DE LA PRESA PRESIDENTE BENITO JUAREZ OAX. fig. 5.Fj.		

R E F E R E N C I A S

- (1) PRESAS DE MEXICO.
Tomo I y II de la S.R.H. (1969)

- (2) Inyectado de aluviones en cimentaciones para corti-
nas de materiales graduados, S.R.H.

CAPITULO VI

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

A manera de conclusión de los capítulos anteriores puede decirse que, un buen diseño de una cortina así como el de su cimentación, debe garantizar la seguridad de ésta contra todos los distintos tipos de falla; ya que como se ha comentado las principales fallas que se presentan en las cortinas y su cimentación son:

- a) Insuficiente capacidad del vertedor.
- b) Tubificación.
- c) Agrietamiento transversal y longitudinal.
- d) Deslizamiento de los taludes.
- e) Licuación.

Con excepción del primer tipo de falla, las demás están íntimamente ligados con las propiedades mecánicas de los materiales que forman el cuerpo de la cortina y la cimentación, por lo que, al llevar a cabo el diseño y la construcción de la cimentación de la cortina, el ingeniero debe conocer, cuantitativamente, dichas propiedades así como sus posibles variaciones en función de los diversos factores que las afectan, para estar en condiciones de predecir el comportamiento de la cimentación y de la cortina a través del tiempo.

Por lo tanto, en vista del gran número de factores que intervienen en el comportamiento mecánico de los distintos tipos de materiales que forman parte de la cortina, resulta imposible hacer una tabulación de valores de las propiedades mecánicas deseables en los mismos, por lo que, en cada caso al tratar una cimentación, es necesario llevar a cabo un programa de ensayos de campo y laboratorio. Sin embargo, siguiendo los fundamentos del sistema unificado de clasificación de suelos se pueden formular tablas de adaptabilidad de los diferentes grupos de suelos y rocas que se utilizarán en la sección de la cortina o en la cimentación. Una clasificación de este tipo constituye un valioso auxiliar al ingeniero ya que le permite intentar predecir, aproximadamente, los tipos de problemas que ofrecerán los materiales disponibles en un sitio dado y de esta manera podrá establecer criterios generales a seguir a fin de tratar de evitar tales problemas o reducir su magnitud a límites prácticos.

Las tablas de adaptabilidad se realizan tomando en cuenta las propiedades mecánicas que se consideran más importantes como permeabilidad, compresibilidad, resistencia al corte, compactación, agrietamiento, tubificación, licuación y la ubicación de los mismos en el cuerpo de la cortina o en la cimentación.

Claro está que las medidas de prevención que se puede tener

dependen de que tan bien conozca la posibilidad de que se pre senten determinados problemas, y éste a su vez depende del co nocimiento del comportamiento de los materiales que constituyen las cortinas, éste y otros aspectos que se citan a continuación constituyen un problema latente en el diseño y construcción de presas y que por lo tanto ameritan una investigación exhaustiva (Ref. 1)

- 1.- El conocimiento de las propiedades mecánicas de los suelos compactados y parcialmente saturados, que permiten preveer aproximadamente, el comportamiento de tales suelos ante la posibilidad de falla por deslizamiento -- así como el valuar la magnitud total de los asentamientos probables; debe dar primordial importancia al estudio de los fenomenos de interacción de las tres fases: sólida, líquida y gaseosa, que forman a los suelos parcialmente saturados, para conocer mejor los fenómenos responsables de la resistencia, compresibilidad y de la evolución de estas propiedades con el tiempo.

Por otra parte, conviene hacer notar que la

experiencia actual en relación con el comportamiento de los enrocamientos, tan usuales - ahora en la formación de cortinas sujeto a - grandes fuerzas, es aún insuficiente.

- 2.- También resulta necesario el formular méto- dos más refinados para determinar la distri- bución de esfuerzos en la estructura de la - cortina, requeridos en el análisis de la es- tabilidad contra deslizamiento; la valuación de los efectos de los sismos es aún incierta y por lo tanto constituye otro tema de inves- tiguación.
- 3.- Es necesario desarrollar procedimientos que permitan valorar las probabilidades de agrie- tamiento, en función de las características esfuerzo-deformación de los suelos y la mag- nitud de los asentamientos diferenciales.
- 4.- La evaluación racional del riesgo de licua- ción es hasta ahora un problema no resuelto que reviste particular importancia en los -- casos en que la cimentación está constituida por materiales que se consideran suscepti- bles y cuya remoción es impráctica, por lo - que también este aspecto requiere investiga- ción.

- 5.- Puede decirse que el problema de la tubificación se resuelve ahora satisfactoriamente; sin embargo, resultaría útil conocer el grado de riesgo en que se incurre en aquellos casos en los que, por no disponer de materiales que se apeguen estrictamente a las especificaciones de los filtros, se emplean otros que no las satisfacen.

Finalmente, en el desarrollo de este trabajo, se ha visto la importancia que tiene los principios de la mecánica de suelos en el campo de diseño y construcción de presas, sin dejar de reconocer las inevitables limitaciones de las conclusiones teóricas que se basan, necesariamente, en hipótesis simplificadoras que, en ocasiones, no satisfacen con suficiente aproximación la realidad de los casos prácticos. Por lo que, se exhorta a todas las personas relacionadas con este tipo de obras de la ingeniería civil a profundizar las investigaciones y a difundir sus conocimientos para así eliminar la escasez de publicaciones que tratan los problemas de la ingeniería de presas disminuyendo de esta manera las incertidumbres señaladas anteriormente.

R E F E R E N C I A S

- 1.- PRINCIPIOS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION
DE PRESAS DE TIERRA.

Secretaría de Recursos Hidráulicos.

BIBLIOGRAFIA GENERAL.

- 1.- GEOGRAFIA ECONOMICA DE MEXICO
Angel Bassols Batalla
Editora Limusa.
- 2.- GEOGRAFIA GENERAL DE MEXICO (TOMO II)
Jorge L. Tamayo.
- 3.- PRESAS CONSTRUIDAS EN MEXICO.
Publicación de S.R.H.
México, D.F. 1972.
- 4.- PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION
DE PRESAS DE TIERRA.
Enrique Tamez Gonzalez.
S.R.H., México, D.F. 1972.
- 5.- CONTRIBUCIONES DE LA MECANICA DE SUELOS AL DISEÑO
Y CONSTRUCCION DE PRESAS DE TIERRA.
S.R.H., México, D.F. 1961
- 6.- MECANICA DE SUELOS. (TOMO II)
Eulalio Juárez Badillo.
Rico del Castillo.
México, D.F. 1976.
- 7.- INYECTADO DE ALUVIONES EN CIMENTACIONES PARA
CORTINAS DE MATERIALES GRADUADOS.
Publicación de S.R.H.
México, D.F., 1976
- 8.- CONTRIBUCIONES DE LA MECANICA DE SUELOS AL
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PRESAS DE TIERRA.
Publicación de S.R.H. Segunda Edición.
México, D.F. 1961
- 9.- ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE EN EL DISEÑO
Y CONSTRUCCION DE CORTINAS DE CONCRETO.
Elabodado por I.R.S.S.C. para la S.A.R.H.
México, D.F. 1976

- 10.- PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO.
Raúl J. Marsal y Daniel Resendiz Núñez.
Editorial Limusa,
México D.F. 1975.
- 11.- TOPOGRAFIA GENERAL.
Ing. Sabro Higashida Miyabara.
México, D.F. 1971.
- 12.- MANUAL DE MECANICA DE SUELOS.
Quinta Edición,
México, D.F. 1970.
- 13.- INSTRUMENTACION EN MECANICA DE SUELOS.
Tesis Profesional.
José Iriarte Vivar B. y Julian Jimenez C.
México, D.F. 1976
- 14.- TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION PARA CORTINAS
DEL TIPO DE TIERRA Y ROCA.
Publicación de S.R.H.
México, D.f. 1964
- 15.- PRINCIPIOS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
PRESAS DE TIERRA.
Publicación de S.R.H.
México, D.F. 1964.
- 16.- IX REUNION NACIONAL DE MECANICA DE SUELOS.
Tomo II, Sociedad Mexicana de Mecánica
de Suelos.
México, D.F. 1978.
- 17.- MONOGRAFIA GEOTECNICA DEL P.H. CHICOASEN, CHIS.
Series Técnicas de la C.F.E.
Residencia de Geología de Construcción.
P.H. Chicoasen, Chis.
Junio de 1978.

- 18.- PROYECTO HIDROELECTRICO CHICOASEN
Publicación de C.F.E.
México, "D.F." 1976.
- 19.- PRESAS DE MEXICO.
Tomo I, PUBLICACION DE S.R.H.
México, D.F. 1969.
- 20.- PRESAS DE MEXICO.
Tomo II, PUBLICACION DE S.R.H.
México, D.F. 1969
- 21.- DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS
Publicación Técnica de S.R.H.
6a. Impresión.
México, D.F. 1976.
- 22.- MECANICA DE SUELOS EN LA INGENIERIA PRACTICA.
Karl Terzaghi, Ralph B. Peck.
Editorial "El Ateneo", S.A.
- 23.- MECANICA DE SUELOS
Tomo II, Eulalio Juárez Badillo.
Alfonso Rico Rodríguez.
Editorial Limusa,
México, D.F. 1976.
- 24.- PEQUEÑOS ALMACENAMIENTOS DE LA S.R.H.
México 1975
- 25.- INGENIERIA GEOLOGIA Y LAS OBRAS HIDRAULICAS.
Apuntes del Ing. Joel Rojas Tamez.