

SISTEMA DE BIBLIOTECAS  
Instituto de Investigación de Zonas  
Desérticas, UASLP

10/10/2010

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

---

ESCUELA DE INGENIERIA



ESTUDIOS GEOLOGICOS NECESARIOS EN LA  
CONSTRUCCION DE UNA PRESA DE  
ALMACENAMIENTO

TRABAJO RECEPCIONAL

QUE PARA OBTENER  
EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO  
PRESENTA

FERNANDO JAVIER LACAVEX Y ESPINOSA

CON FRATERNIDAD A MIS PADRES  
MA CONCEPCION E. DE LACRUX  
FERNANDO LACRUX TOVAR.

A MI ESPOSA ANGELA  
A MI HIJA VANESSA

A MIS HERMANOS  
BERTA ALICIA  
SALVADOR JAVIER  
MARIA EUGENIA  
JOSE DAVID  
EDUARDO CARLOS  
ESPERANZA REBECA  
JESUS.

A LOS INGS. VICTOR JULIAN MARTINEZ RUIZ  
LUIS CASTAÑEDA LOPLZ

A MIS COMPAÑEROS DE LA S.A.R.H.  
SUBDIRECCION REGIONAL Noreste.

A MIS MAESTROS, AMIGOS Y  
COMPAÑEROS.



DIRECCION

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI  
ESCUELA DE INGENIERIA  
AV. DE LOS POETAS 8 TELEFONO 3-11-86  
SAN LUIS POTOSI, S. L. P. - MEXICO

Julio 24, 1979.

Al Pasante Sr. Fernando Javier Lacavex y Espinosa,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa me es grato indicar a usted que el H. Consejo Técnico Consultivo de la Escuela de Ingeniería ha designado como Asesor del Trabajo Recepcional que deberá desarrollar en su Examen Profesional de Ingeniero Geólogo, al Sr. Ing. Victor Julian Martínez Ruiz. Así como el Tema propuesto para el mismo es:

"ESTUDIOS GEOLOGICOS NECESARIOS EN LA CONSTRUCCION DE UNA PRESA DE ALMACENAMIENTO".

T E M A R I O:

- I.- INTRODUCCION
- II.- ESTUDIOS GEOLOGICOS
- III.- ALGUNAS CARACTERISTICAS Y PARTICULARIDADES DE LAS ROCAS Y SU INFLUENCIA EN EL ESTABLECIMIENTO DE UNA PRESA DE ALMACENAMIENTO
- IV.- RECONOCIMIENTO GEOLOGICO EN LA ZONA DE CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CONDUCCION Y DISTRIBUCION
- V.- APLICACION DE LA GEOLOGIA EN LA INGENIERIA CIVIL
- VI.- BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, debe prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

A T E N T A M E N T E .

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO".

ING. MAXIMINO TORRES SILVA  
*Maximino Torres Silva*  
DIRECTOR DE LA ESCUELA.

ESTUDIOS GEOLOGICOS NECESARIOS-  
EN LA CONSTRUCCION DE UNA PRESA  
DE ALMACENAMIENTO.

## OBJETIVO.

El presente trabajo se elaboró a manera de guía para los Ingenieros residentes de Programas y Promoción, de la Dirección General de Obras Hidráulicas y de Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural en lo que se refiere a Estudios Geológicos, dentro de la actividad general de "Visitas de Inspección" (trabajo que desempeña el autor en la Subdirección Regional Noreste dentro de la Brigada de Reconocimientos - Técnicos Preliminares) que se efectúan en aquellos lugares donde se visualiza la construcción de una presa de almacenamiento y otro tipo de aprovechamiento de escurrimiento de aguas superficiales.

Asimismo, se pretende que con este trabajo los nuevos Ingenieros o pasantes que aspiran a ingresar a dicha secretaría, se formen una idea de los trabajos que se desarrollan y como se ejecutan los estudios geológicos preliminares y definitivos, indicando los pasos a seguir y las diferencias entre los mismos.

Se destacan algunas propiedades y características de algunas rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, así como una descripción somera de Geología Estructural, cuya determinación es esencial en el establecimiento de una presa de almacenamiento.

ESTUDIOS GEOLOGICOS NECESARIOS EN LA CONSTRUCCION  
DE UNA PRESA DE ALMACENAMIENTO.

	PAG.
1.- INTRODUCCION	1
2.- ESTUDIOS GEOLOGICOS	3
2.1.- VISITA DE INSPECCION	3
2.2.- ESTUDIOS PRELIMINARES	16
2.3.- INFORME GEOLOGICO PRELIMINAR	19
2.4.- ESTUDIOS DETALLADOS	22
2.5.- INFORME GEOLOGICO FINAL	31
3.- ALGUNAS CARACTERISTICAS Y PARTICULARIDADES DE LAS ROCCAS Y SU INFLUENCIA EN EL ESTABLECIMIENTO DE UNA PRESA DE ALMACENAMIENTO	33
3.1.- ROCAS SEDIMENTARIAS	33
3.2.- ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS	40
3.3.- ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS	41
3.4.- ROCAS METAMORFICAS	43
4.- RECONOCIMIENTO GEOLOGICO EN LA ZONA DE CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CONDUCCION Y DISTRIBUCION.	47
5.- APLICACION DE LA GEOLOGIA EN LA INGENIERIA CIVIL.	47
6.- BIBLIOGRAFIA.	61



## 1.- INTRODUCCION

La geología por definición es la ciencia que estudia la tierra, tanto en lo que respecta a su composición, constitución y estructura, tomando en cuenta todos aquellos fenómenos que ininterrumpidamente han venido modificándola a través del tiempo, debido a los esfuerzos propios de la corteza terrestre y al trabajo incesante de los diversos agentes de intemperismo, erosión y depósito.

Es principalmente sobre la litósfera en donde estos agentes ejercen mayor influencia, y donde el hombre levanta sus obras de infraestructura, que la geología desde el punto de vista de la ingeniería civil tiene su máxima aplicación.

Dentro de las obras de infraestructura, tratándose en este trabajo únicamente las presas, su cortina puede ser de los tipos siguientes:

Cortinas rígidas que pueden ser de gravedad, de machones o contrafuertes y de arco.

Cortinas flexibles que pueden ser de enrocamiento con pantalla impermeable o con corazón impermeable y de tierra con sección homogénea o materiales graduados.

Siendo destinadas las presas para diversos usos como generar energía eléctrica (hidroeléctricas), para irrigación, para control de avenidas, hasta una tan simple presa para controlar azolves.

Las presas, obras construidas de diferentes tipos y distintas finalidades presentan muy variados problemas, algunos del domi-

nio del ingeniero civil y otras del ingeniero geólogo. La formación de un Lago Artificial como es el caso de una presa, requiere estudios muy detallados que garanticen por una parte la impermeabilidad de las rocas donde el agua va a ser almacenada y por otra la resistencia mecánica de las mismas en el sitio donde deberá construirse el muro de retención o cortina.

Para cualquier proyecto de presas es muy importante el estudio geológico del sitio que se haya seleccionado. Dejando de un lado el área, en ocasiones tan enorme que constituye el almacenamiento considerando únicamente la cortina compuesta esencialmente de dos partes principales "Muro Artificial" (cortina) propiamente dicho, hecho por la mano del hombre y el "Muro Natural" (vaso de almacenamiento) que lo prolonga, lo rodea y sobre el cual está cimentado. El más importante de los dos es el segundo, áquel que no se ve estando la presa ya construida. En este muro natural es donde reside el riesgo más grande ya que generalmente es el que puede fallar por falta de un estudio completo.

Puede verse con ésto la importancia de realizar cada vez que se trate de construir una presa, estudios geológicos bien detallados procurando no escribir un tratado de geología pura sobre las condiciones del sitio considerado, sino una geología completamente particular a pequeña escala que nos hable:

- 1.- De la secuencia estratigráfica y características físicas y litológicas de la roca o rocas.

2.- De la resistencia mecánica de las rocas que se encuentran en el sitio seleccionado.

3.- De las condiciones estructurales de las mismas.

4.- De las condiciones de permeabilidad de las rocas que se están estudiando.

Es obvio que la colaboración del geólogo con el ingeniero civil debe ser muy estrecha, debiendo iniciarse ésta en el momento mismo en que se hace el reconocimiento preliminar en la elección del o de los posibles sitios para la construcción, más tarde en los reconocimientos detallados, posteriormente en la construcción y finalmente estando la presa en operación.

## 2.- ESTUDIOS GEOLOGICOS.

### 2.1.- Visita de inspección.

El objetivo que se debe cumplir al efectuar una visita de inspección Preliminar consiste en detectar las características físicas y socioeconómicas del sitio, recorriéndolo tanto en la zona del proyecto como en su zona de influencia, a efecto de recabar información que permita determinar su factibilidad.

#### FUENTES QUE GENERAN VISITAS DE INSPECCION.

a).- solicitudes de personas o grupos del sector campesino dirigidas a las autoridades y a dependencias de la S.A.R.H.

b).- sitios detectados en reconocimientos aéreos, terrestres o de gabinete por iniciativa de la propia S.A.R.H.

Dada la cuantía de solicitudes de obras recibidas en Oficinas Centrales y Representaciones en los estados, aunadas a los sitios-

detectados y por otra parte la irregular distribución de los recursos na turales suelo-agua, así como las limitaciones económicas del Gobierno - Federal, hace indispensable que en cada sitio propuesto se analice en - forma preliminar su factibilidad técnica y económica en una forma rápida y expedita que permita obtener una visión del conjunto realista del probable proyecto, suponiéndolo construido y operando, para ir formando -- prioridades para su ejecución.

Para efectuar estas visitas de Inspección la Secretaría- de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la Subdirección Regional Noreste, tiene una brigada encargada única y exclusivamente para desarrollar dichas visitas, llamada "Brigada de Reconocimientos Técnicos - Preliminares" la cual consta de un Ingeniero Civil,, un Ingeniero Agróno mo, un Ingeniero Geólogo (trabajo que desempeña el autor) y un Licencia- do en Economía.

Teniendo dentro de esta brigada cada uno sus funciones - específicas (trabajando en conjunto), para determinar la factibilidad de los sitios donde se proponen presas de almacenamiento.

FUNCIONES DE CADA UNO DE LOS TÉCNICOS INTEGRANTES DE LA-  
BRIGADA.

a).- Ingeniero Civil.- Para la concepción general del proyec- to (tipo de cortina, vertedor de demasias, obra de toma, diques, zona de riego, red de distribución con estructuras necesarias, etc.) y la rela - ción de beneficio-costos.

b).- Ingeniero Agrónomo.- Para efectuar los estudios de cuen-

ca, vaso y zona de riego, principalmente (tipos de suelo, agricultura -- actual, futura, técnicas de mejoramiento, etc.).

c).- Ingeniero Geólogo.- Para los aspectos geológicos de cuenca, vaso y boquilla, así como en las obras de conducción y bancos de préstamo.

Respecto a la cuenca lo principal es la permeabilidad de las rocas ya que ésta es primordial para mayor o menor concentración de la precipitación pluvial, así como en el aporte de material de acarreo ya que éste se deposita como azolve en la presa ya construida y acorta la vida útil de dicha obra.

Respecto al vaso interviene en la investigación de la permeabilidad de las rocas (permeabilidad primaria) y la originada por fallas, fracturas, contactos, permeabilidad secundaria propiamente dicho.

En lo concerniente a la boquilla se avoca a definir la posición estructural de las rocas ya que de ella depende la impermeabilidad y estabilidad de las mismas en la boquilla, pudiendo recomendar el tipo de cortina más apropiado y la forma de inyectado para impermeabilizar o atenuar la permeabilidad (en caso de ser necesario), así como el volumen de excavaciones (limpia) necesario de material de acarreo o de alteración.

En lo que respecta a las obras de conducción de acuerdo a la permeabilidad de las rocas donde éstas vayan a estar alojadas, definir si deben revestirse o no dichas obras y la manera de protegerlas contra posibles derrumbes, etc.

Finalmente en los bancos de préstamo sean gravas, arenas, roca o arcilla, localizar los más aptos para la construcción de la obra - así como estimar volúmenes posibles que puedan aportar los bancos de préstamo.

Estas son en general lo que concierne al Ingeniero Geólogo - dentro de la brigada.

d).- Licenciado en Economía.- Atiende el área del proyecto y sus relaciones con las localidades vecinas, principalmente los aspectos de Tenencia de la Tierra, condiciones sociales y económicas de los probables beneficiados.

EJEMPLO:

VISITA DE INSPECCION AL SITIO DENOMINADO "LA MUÑECA",  
MPIO.: TIERRA NUEVA,  
EDG.: SAN LUIS POTOSI.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS  
SUBSECRETARIA DE CONSTRUCCION  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS DE RIEGO  
PARA EL DESARROLLO RURAL.

DIRECCION DE PROGRAMAS Y PROMOCION.

VISITA DE INSPECCION.

PRESAS DE ALMACENAMIENTO.

1.- ANTECEDENTES.

- 1.1.- Nombre del sitio : La Muñeca  
Coordenadas Geográficas: 21°37'40      LU 100°37'08
- 1.2.- Municipio: Tierra Nueva      Estado; S.L.P.
- 1.3.- Obra solicitada: Presa de Almacenamiento y Z.R.
- 1.4.- Solicitantes: Autoridades Municipales. Tierra Nueva.
- 1.5.- Fecha y autoridad a quién se le hizo la solicitud \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 1.6.- Oficios de trámite anteriores \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 1.7.- Fecha de la visita de inspección 23 de junio de 1976.

2.- VIAS DE ACCESO AL SITIO DONDE SE SOLICITA LA OBRA.

- 2.1.- 63 Km. carretera Núm. 57 de San Luis Potosí.  
a Tierra Nueva.
- 2.2.- 13.0 Km. de carretera      Entronque a Tierra Nueva
- 2.3.- 6.0 Km. de brecha de      Tierra Nueva  
al Sitio de la Boquilla
- Total a la Cd. de San Luis Potosí 82 Kms.

3.- ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS.

- 3.1.- Número de Jefes de Familia del ejido El Fuerte 212
- 3.2.- Número de ejidatarios 194 del fuerte
- 3.3.- Número de Pequeños Propietarios 16 del ejido El Fuerte

- 3.4.- Número de comuneros, colonos, etc. no hay.
- 3.5.- Número y nombre de los ejidos, comunidades, colonias, etc. Peq.Prop. Tierra Nueva, Sn. Gabriel, Santiago, El Patol, Hacienda Vieja, Mpio. Tierra Nueva y Ejido El Fuerte, Mpio. de Santa María del Río.
- 3.5.1.- Datos de la Resolución Presidencial para cada ejido, comunidad, colonia, etc. dotación con Resolución Presidencial de fecha 5 de mayo de 1935 con posesión definitiva de 20 enero de 1937
- 3.5.2.- Número de ejidatarios, colonos, etc. 192
- 3.5.3.- Superficie total dotada 4,290-54-00 Has.
- 3.5.4.- Superficie agrícola 1007-70-10 Has.
- 3.5.5.- Superficie agostadero 3282-84-00 Has,
- 3.5.6.- Superficie cerril
- 3.6.- ACTIVIDADES DE TIPO ECONOMICO EN LA COMUNIDAD
- Contribución al Ingreso total por:
- 3.6.1.- Agricultura 95 %
- 3.6.2.- Ganadería 5 %
- 3.6.3.- Minería %
- 3.6.4.- Silvicultura %
- 3.6.5.- Artesanías %
- 3.6.6.- Otras %
- Actividades de tipo económico fuera de la comunidad
- Contribución al Ingreso total
- 3.6.7.- Actividad %
- 3.6.8.- Actividad %
- 3.6.9.- Actividad %
- 3.7.- Servicios con que cuenta la comunidad
- 3.7.1.- Educación Escuela Primaria Federal "Gabino Barrera" - donde se imparte clase hasta el 4o. año de primaria, 4 maestros a una población escolar de 353 alumnos.
- 3.7.2.- Energía eléctrica desde el año de 1970 cuentan con este
- 3.7.3.- Agua potable existe un pozo perforado por S.S.A. en el año de 1973 contando con 20 tomas domiciliarias y una pública.



3.7.4.- Otros (Almacenes Conasupo, Seguro Social, Teléfonos, Telégrafos, Red. vial, Líneas de Crédito, etc.)

Tierra Nueva y Santa María del Río son los dos centros de influencia más importantes, para los núcleos de población que se pretenden beneficiar directamente, ya que cuentan con toda clase de servicios como energía eléctrica, agua potable, teléfono, telégrafo, red vial, etc.

3.8.- Si existe algún tipo de concentración en la propiedad de la tierra, de ganado, de poder político y/o comercial, explicar por lo que respecta a los ejidatarios del "Fuerte" no existe ningún tipo de concentración, donde existe concentración de la tierra y comercial es con algunos pequeños propietarios de Tierra Nueva.

3.9.- Observaciones acerca del nivel de vida (se deberá explicar los ingresos promedios, tipo de habitación, alimentación, salubridad, etc.) En el ejido el "Fuerte": los ingresos promedio varían de \$13,000.00 a \$15,000.00 anuales, el tipo de habitación predominante es de muros de adobe o piedra techo de piedra o paja y piso de tierra por lo que respecta a la dieta alimenticia; es deficiente consistiendo esta principalmente en maíz, frijol, chile, pastas y esporádicamente comen carne.

3.10.- Cuál es la disposición de los integrantes de la comunidad respecto a los probables beneficiados la probable construcción de la obra de tierra nueva y ejidatarios del "Fuerte" se encuentran muy entusiasmados con la construcción de la obra, INCLUSIVE ACERTAN LAS CONDICIONES que establece la Secretaría, ya que están conscientes del beneficio económico que les puede reportar el tener tierras de riego.

3.11.- Que limitaciones de tipo social existen para la construcción de la obra. (Se deberá explicar acerca de los conflictos que pudieran suscitarse, la oposición de grupos que se sientan afectados, conflictos en la tenencia de la tierra, etc.) en lo que toca los ejidatarios del "Fuerte" no existen limitaciones de tipo social en cambio en los pequeños propietarios de Hacienda Vieja, El Patol, Santiago, etc.- no se han podido cuantificar el hectareaje que tiene cada pequeño propietario.

3.12.- Cuales serán los grupos (ejidatarios, pequeños propietarios, colonos, etc.) que se beneficiarán directamente con la realización de la obra y de cuántos jefes de familia se compone cada grupo Peq. Prop. de Tierra Nueva, Sn. Gabriel, Santiago Hacienda Vieja y El Patol, del Mpio. Tierra Nueva y el ejido "El Fuerte", Mpio. de Sta. Ma. del Río.

4.- FUENTE DE ABASTECIMIENTO.- PRESAS DE ALMACENAMIENTO

4.1.- C u e n c a .

4.1.1.- Aspectos topográficos, (área, forma de la cuenca, pendiente, alturas predominantes, configuración general). La cuenca tiene un área de 300 Km<sup>2</sup>. y es de forma redondeada, la parte alta corresponde al Edo. de Guanajuato y la baja a S.L.P. La principal altura corresponde al Cerro Banderas con 2,600 M. S.N.M. El cauce en el sitio de la Boq. tiene la elevación 1810. La corriente principal tiene una longitud desde su inicio a la boquilla de 30 Km. Las pendientes medias en la cuenca son del orden de 15% y la media de la corriente principal de 3%. Existe gran cantidad de corrientes secundarias, de longitud corta y fuerte pendiente lo que aumenta el coeficiente de escurrimiento y produce una concentración rápida de las aguas.

4.1.2.- Aspectos geológicos La geomorfología de la cuenca en estudio es muy accidentada y está erosionada lo que ha dado lugar a formas redondeadas, en algunas partes hay pendientes más fuertes, están formadas por derrames lavicos del tipo riolítico que aflora en la mayor parte de la cuenca, estas rocas son de una edad tentativa del cretácico, en las partes bajas del cauce del río hay terrazas aluviales que se utilizan para la agricultura.

4.1.3.- Aspectos de vegetación:

(% de cobertura, tipos de vegetación natural y cultivada: distribución; regeneración).

Erosión (tipo y grafo): azolves

Recomendaciones sobre el control y manejo de la vegetación).

Un 90% de la cuenca son arenas incultas con escasa vegetación de tipo xerofila matorral inerme y monte bajo con una cobertura del 50%, en las vegas de las corrientes hay monte alto, con mezquites, huizaches, el 10% restante son terrenos más o menos planos abiertos al cultivo, con sistema de hileras o surcos.

La erosión se considera avanzada y principalmente es de origen hídrico.

4.1.4.- Aspectos hidrológicos con un área de cuenca de 300-Km<sup>2</sup>. su geología, cobertura vegetal, su topografía, pendientes, forma de concentración se estimó un coeficiente de escurrimiento de 12%. De acuerdo con la carta de isoyetas -- (1931-1970) se tiene una precipitación media anual de 420mm. en la cuenca con lo que se tiene un escurrimiento medio anual de 15'000 M<sup>3</sup>. inmediatas al proyecto se tienen las est. termopluviométricas Tierra Nueva, San Luis de la Paz, - Sn. José de Albuquerque

#### 4.2.- V a s o .

4.2.1.- Aspectos topográficos es de forma amplia con boquilla angosta, en la parte de la cola se encañona. Con una altura de 24 m. se obtiene una capacidad de 15'000 000 M<sup>3</sup>. - con una longitud de boq. de 280 m. El área inundada para esta capac. es de 180 Has. La corriente dentro del vaso es sinuosa.

4.2.2.- Aspectos geológicos El vaso está constituido predominantemente por riolitas no se observó a simple vista al - gún rasgo geológico que pudiera indicar la presencia de fallas o fracturas que afecten la permeabilidad de éste. El cauce está constituido principalmente por arena y en menor proporción gravas. Existen terrazas aluviales en la base - de las laderas, abiertas al cultivo.

#### 4.3.- B o q u i l l a .

4.3.1.- Aspectos topográficos La boquilla es de tipo angosto, con una altura de 24.0 m. tiene una longitud de 280.0m.

Topográficamente es asimétrica ya que la margen izquierda -  
tiene un talud de 3:1 y marg. derecha de 6:1 la zona de -  
cauce tiene un ancho de 80.0 m.

4.3.2.- Aspectos Geológicos Está constituida principalmente  
por rocas igneas del tipo riolítico. La roca en ambas márgenes  
tiene un sistema de fracturas probablemente de enfria  
miento casi perpendiculares al cauce. En la margen derecha  
la erosión ha labrado pequeños acantilados de unos dos me -  
tros de desnivel. El espesor de acarreo tiene un máximo de  
unos 7 M.

En cuanto a la resistencia de la roca se considera buena -  
por estar compacta, a pesar de las fracturas.

4.4.- Que limitaciones de tipo técnico se tienen para la construc  
ción la presa Para la construcción de la cortina no se -  
detectaron problemas de tipo técnico. Se propone una corti  
na tipo gravead de mampostería o concreto ciclopeo, en vis  
ta de los materiales de construcción existentes en la zona.

#### 5.- ZONA DE RIEGO.

5.1.- Aspectos Topográficos La mayor parte de la zona de riego se  
localiza en la margen izquierda ( $\pm$  1200) en la derecha es -  
posible regar  $\pm$  200 Has. Los primeros 5 Km. se regarán úni  
camente pequeñas vegas después se amplía y se prolonga has  
ta cruzar la carretera a México (No.57) con un desarrollo -  
total de canal de conducción de 35 Km. La pendiente media -  
en la zona de riego es del orden de 5%.

5.2.- Aspectos agrológicos y agronómicos.

5.2.1.- Suelos: (Formación, color, textura, profundidad, -  
drenaje, erosionabilidad y otras características).

(Indices de comportamiento bajo riego) La mayor parte de los  
suelos de este proyecto son xerosoles y litosoles formados  
por la desintegración de las riolitas con espesores de - -  
0.10 m a 0.50 de textura arcillo-arenosa clasificados como  
de 3a. y 4a. clase. No tienen problemas de drenaje. Las -  
vegas del Río Jofre y arroyos secundarios son fluvisoles de

origen aluvial con espesores de 1.0 a 3 m. y se clasifican-  
como de 2a. clase. En los suelos de poco espesor se reco - -  
miendan cultivos de plantas de poca área radicular como: - -  
frijol, chile, hortalizas, etc. En los terrenos de las ve - -  
gas del río que tiene mayor espesor de suelo son adecuados- -  
para frutales, nogal, aguacate, durazno y forrajes como al - -  
falfa.

5.2.2.- Uso actual:

Agricultura (cultivos principales, superficie, rendimiento, -  
prácticas, problemas principales).

Ganadería (Pastos, superficie, tipo, capacidad de agostade - -  
ro, razas de ganado, prácticas, problemas principales)

Explotación forestal.

Otras actividades (por ejemplo: recolección, leña, tule, fi -  
bras, resinas, pesca, etc.). La mayor parte de la agricultura  
actual es de temporal y los cultivos predominantes son maíz -  
y frijol. Cuentan con muy pequeñas áreas de riego, por bombeo  
del río Jofre y los cultivos son chile, hortaliza y frutales-  
como durazno y nogal.

5.3.- Aspectos climatológicos

5.4.- Que limitaciones de tipo técnico se tienen para la construc -  
ción de la zona de riego. La limitación que se tiene en la zo  
na de la determinante son suelos, ya que de la sup. total do  
minada son aprovechables un 60% el riego es de tipo económico,  
ya que para dominar 1,400 Has. es necesario un canal de con -  
ducción de 35 Km. de longitud y una red de distribución de -  
30 Km. además son necesarias 5 estructuras de cruce importan  
tes (sifones).

6.- DATOS DE GABINETE PARA PRESA DE ALMACENAMIENTO.

6.1.- Nombre de la corriente tributaria Río Jofre.

6.2.- Subcuenca y cuenca 26 n - 3g5 (cuenca Fánuco).

6.3.- Aprovechamientos que pueden ser afectados ninguno.

6.4.- Área aproximada de la cuenca 307 Km<sup>2</sup>.

6.5.- Precipitación media anual 420 mm.

- 6.6.- Escurrimiento medio anual 15'000 000 m<sup>3</sup>  
6.7.- Avenida máxima probable \_\_\_\_\_  
6.8.- Capacidad probable de almacenamiento 15,000 000 m<sup>3</sup>  
6.9.- Area probable de zona de riego 1400.0 Has.

6.10.- Descripción de las características principales de las obras a realizarse. Cortina y dique ( si lo requiere) materiales, dimensiones, taludes, etc.

La obra consistiría en una cortina de tipo gravedad de mampostería o concreto ciclopeo con una altura máxima de 27.0 m. y una longitud de 310 m.

Vertedor: Localización, tipo probable descarga, etc.

Sería un vertedor central alojado en el cuerpo de la cortina con deflector salto de esquí.

Obra de toma: Localización, tipo probable etc. La obra de toma se alojaría en la margen izquierda y sería del tipo torre y galería para un gasto normal de 2.100 m<sup>3</sup>/seg.

Zona de riego: Localización, distancia a la boquilla, vestimiento, estructuras y recomendaciones generales en la red de distribución La zona de riego se localiza inmediata a la cortina, regando pequeñas vegas hasta el Km. 5 lugar donde se amplía. El canal sería de mampostería sección rectangular en postizo. El canal de conducción tendrá una longitud total de 35 Km. y la Red de distribución ± 25 Km.

6.11.- Estimación de volúmenes de obras Mampost. presa 4500 m<sup>3</sup> -  
mampostería canal.

6.12.- Estimación del Costo de las obras

<u>Presa</u>	<u>23 000 000.00</u>
<u>Canal conducción</u>	<u>15 000 000.00</u>
<u>red distribución</u>	<u>6 000 000.00</u>
<u>afectaciones</u>	<u>1 000 000.00</u>

6.13.- Aplic. de los riegos \$ 45 000 000.00

- a).- de auxilio \_\_\_\_\_  
b).- completo \_\_\_\_\_  
c).- ciclos \_\_\_\_\_

6.14.- Conclusión final(favorable, posible o desfavorable) fa -  
vorable

7.-OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES ACERCA DEL SITIO El sitio de la-  
Boquilla es muy atractivo, respecto a Topografía, Hidrolo-  
gía, Geología. El factor determinante es zona de riego -  
por problemas de tenencia de la tierra y la longitud del-  
canal de conducción.

8.- JERARQUIZACION DE ESTUDIOS PROPUESTOS.

Topográfico, geológico, Tenencia de la Tierra y Agroló -  
gico

9.- A N E X O S .

Plano de localización.

Croquis de la boquilla

Esquema de la probable obra

Informe topográfico

F O R M U L O.  
BRIGADA DE RECONOCIMIENTOS TECNICOS  
PRELIMINARES, DEPARTAMENTO DE PRO -  
GRAMAS Y PROMOCION.

R E V I S O.  
JEFE DE OBRAS DE RIEGO PARA-  
EL DESARROLLO RURAL.

\_\_\_\_\_  
LUGAR Y FECHA.

\_\_\_\_\_  
LUGAR Y FECHA.

\_\_\_\_\_  
Va.Ba.  
EL REPRESENTANTE EN EL ESTADO.

\_\_\_\_\_  
Lugar y fecha.

## 2.2.- ESTUDIOS PRELIMINARES.

El estudio geológico preliminar una vez elegido el o los sitios de probable construcción (en base a lo citado en el inciso 2.1) - deberá llevarse a cabo antes de iniciar cualquier otro tipo de estudios que amerite gastos mayores, por ejemplo, si localizamos un sitio en el que puede verse por simple observación del terreno que existe un vaso y una boquilla, topográficamente hablando (sabiendo de antemano el régimen de la corriente cuyas aguas se pretende captar), antes de designar brigadas topográficas para hacer el levantamiento general, es conveniente, y sobre todo económico movilizar un geólogo que se encargue de dictaminar si el sitio reúne las condiciones (más a fondo que en la visita de inspección preliminar) de construcción satisfactorias que amerite es tudios posteriores, por ejemplo, el levantamiento topográfico anteriormente citado o bien un programa de exploraciones.

¿ En que consiste el estudio geológico preliminar?

Este estudio una vez provisto el geólogo de cartas geológicas (si las hay) y de haberse documentado sobre la geología regional, - prosigue en realizar sobre el sitio elegido una serie de caminamientos:

1.- En el sitio donde podría quedar cimentada la cortina y - según la topografía del terreno donde se localizaría el vertedor de demasías y la obra de toma si la importancia lo requiere.

2.- En el área que sería inundada por las aguas.

3.- En o en los sitios donde se localicen los bancos de pré tamo.



En el momento de efectuar los caminamientos en la zona de cimentación de la cortina deberán ser anotados en la libreta de campo todos los tipos de materiales que son observados, en particular las características de las rocas en los afloramientos tales como: tipo de roca, aspecto megascópico (color, granulometría, materiales predominantes), variaciones litológicas tanto en el sentido horizontal como en el vertical, características estructurales (pliegues, fallas, fracturas con su dirección y echado) grado de alteración y alterabilidad. Se tomarán además las muestras más representativas de los afloramientos con el fin de hacer en el laboratorio determinaciones petrográficas, paleontológicas y si se requiere de resistencia mecánica.

Puesto que en el sitio de cimentación de la cortina los dos factores más importantes son: La resistencia mecánica de la roca (estabilidad) y la impermeabilidad, todas nuestras observaciones deberán ser orientadas de tal manera que podamos llegar al conocimiento preciso de estos dos factores.

Otras observaciones, además de las anteriormente citadas y que también deben hacerse al efectuar los caminamientos puesto que su desconocimiento puede influir en la estabilidad de la presa son: presencia de derrumbes y deslizamientos de tierra, en general equilibrio de taludes, presencia de manantiales, localización de rocas que presenten acuíferos antiguos, rocas fracturadas, rocas cavernosas y otros materiales que puedan cubrir terrenos permeables, presencia de antiguos cauces,

dolinas y naturaleza e importancia del material que constituye el acarreo de la corriente.

En lo que respecta a éste último es muy conveniente hacer un análisis geométrico de la forma de la boquilla que nos ayude a determinar muy burdamente el espesor del material de acarreo. Algunas veces - las partes más estrechas donde el lecho rocoso es invisible no son necesariamente las más favorables para la elección del sitio de la cortina para la construcción de una presa de almacenamiento.

Las dificultades técnicas y el volumen de excavaciones y de material de construcción crecen rápidamente con la profundidad a la cual deba hacerse la cimentación.

Partiendo del hecho de que teóricamente los ríos en sus cursos medio y superior labran su cauce en forma de "V", si prolongamos en el perfil de una boquilla las líneas correspondientes a los taludes para llegar a formar esta "V", nos encontramos con que puede determinarse de una manera rápida el espesor del acarreo.

Los caminamientos en el área que será inundada por las aguas deberán hacerse partiendo del conocimiento que se tenga de las rocas en el sitio de la boquilla; es muy posible que en este sitio se observe la presencia de rocas impermeables tales como pizarras, granitos, etc. y - que estas rocas ocupen una gran extensión. En este caso estará por demás explorar el vaso en detalle, puesto que es de esperarse que en esta zona jamás lleguen a presentarse fugas por infiltración; por el contrario, si estas rocas dentro del vaso se encuentran en contacto con rocas

permeables es necesario saber en la forma en que se presentan éstos y --  
cual sería su influencia en el almacenamiento de las aguas. En este ca-  
so se harán siguiendo justamente esos contactos, observando la presencia  
de manantiales u otras características que nos informen el comportamien-  
to de las aguas a profundidad.

En general, lo ideal al estudiar el área que será inundada -  
por las aguas es llegar al conocimiento preciso de las condiciones geo -  
hidrológicas del área.

En lo que respecta a los bancos de préstamo debemos buscar -  
los más cercanos al sitio de construcción con volúmenes y calidad sufi -  
cientes de materiales de roca, arcilla, arena, grava, etc., suscepti -  
bles de ser empleados en la construcción. Entre los sitios posibles don-  
de pueden ser encontrados éstos materiales tenemos: para arcilla y grava  
algunas vegas de río, y aquellas áreas donde la porción superficial de -  
la zona alterada sea muy grande, éstas últimas son reflejadas topográfi-  
camente por tener formas más o menos arredondadas o relativamente planas.

### 2.3.- INFORME GEOLOGICO PRELIMINAR.

#### ANTECEDENTES.

En este punto del informe geológico preliminar se deberá ci -  
tar los antecedentes de dicho sitio como son: quién lo solicita, para -  
quién es el trabajo, visita de inspección, informe preliminar, trabajos-  
ejecutados en la zona, así como las características del anteproyecto --  
(altura máxima de cortina, longitud, capacidad, tipo de cortina, sitio y  
tipo de vertedor de demasias, etc.).

#### LOCALIZACION Y VIAS DE COMUNICACION.

En esta parte del informe geológico preliminar se cita la localización del proyecto como son estado, municipio, coordenadas, altitud y las vías de comunicación incluyendo carreteras, caminos de mano de obra, ferrocarril, brechas, etc.

#### FISIOGRAFIA.

En esta parte del informe se hará una referencia a la provincia y subprovincia fisiográficas en que se encuentra el sitio del proyecto, formas representativas del lugar dadas por los diferentes tipos de rocas (terrenos abruptos, planos, valles, cerros escarpados, arredondados, etc.), grado de erosión y clima.

#### GEOLOGIA REGIONAL.

En este párrafo se deberá describir los tipos de rocas que afloran en el área estudiada, mencionando el tipo de roca a que pertenece (ígneas, sedimentarias o metamórficas) indicando las condiciones de depósito (en el caso de las rocas sedimentarias), la estratigrafía, las edades de dichas rocas, así como los nombres formacionales o correlacionables en la región.

#### GEOLOGIA DE BOQUILLA Y VASO.

En este punto se ha de citar lo relativo a las rocas que afloran en ambas márgenes en el sitio de la boquilla, así como en el vaso, anotando todo tipo de características como: aspecto megascópico (color, tamaño del grano, materiales y minerales predominantes, etc.) - variaciones litológicas, características estructurales (pliegues, fallas,

fracturas, espesor de los estratos, rumbo y echado) prácticamente lo -  
citado en el capítulo 2.2.

El estudio o reconocimiento preliminar es objeto de un in -  
forme geológico en el que serán desarrolladas todas las observaciones -  
anteriormente citadas y de las cuales se puede concluir lo siguiente:

1.- Hay o no posibilidades de construcción.

Si no hay, señalar:

- a).- Condiciones geológicas.
- b).- Condiciones topográficas
- c).- Condiciones hidrológicas y geohidrológicas existen-  
tes.
- d).- Cuestiones económicas.

Si hay, señalar;

- a).- Cantidad de agua suficiente.
- b).- capacidad del vaso
- c).- Características topográficas
- d).- Vaso constituido por materiales impermeables
- e).- Calidad de la roca en la zona de cimentación
- f).- Existencia de materiales de construcción (distan --  
tancias)
- g).- Condiciones económicas favorables para el estable -  
cimiento de la estructura.

2.- Recomendaciones sobre los estudios detallados que hay que  
realizar con objeto geotécnico.

- a).- Elección del sitio
- b).- Métodos de reconocimiento como: Túneles, pozos a cielo -- abierto, trincheras, perforaciones con máquina (efec -- tuando pruebas de permeabilidad), señalando a la vez es -- paciamiento, profundidad y distribución que deberán llevar las exploraciones.
- c).- Estudios en el área del vaso.

3.- Duración aproximada de los estudios a realizar.

A reserva de nuevas informaciones que sean obtenidas en estudios posteriores se puede señalar ya con mayor certeza el tipo de estructura - más conveniente de acuerdo a las condiciones del sitio, sea una estructura rígida(cortina de manoestería o concreto) o una estructura flexible (ma -- teriales graduados o tierra).

2.4.- ESTUDIOS DETALLADOS.

Una vez discutido el informe geológico preliminar, se procederá a la realización del programa de exploraciones establecido en el sitio ele gido. Estas exploraciones según la importancia de la obra y la complejidad del sitio podrán ser hechas por medio de máquinas perforadoras, pozos a cielo abierto, trincheras ó túneles, En lo que respecta a las perforaciones con máquina éstas deberán concentrarse sobre un mismo perfil transversal con un espaciamiento tal que nos permita conocer con precisión el per fil de la roca sana donde deba ser desplantada la estructura. No es posible dar un valor fijo para los espaciamientos de las perforaciones ni el - tipo de métodos a seguir puesto que cada obra y cada sitio son un problema particular.

De la misma manera en lo referente a la profundidad tampoco pueden establecerse reglas precisas, pudiendo decir Únicamente que cada perforación deberá penetrar cuando menos de dos a cinco metros en la roca sana siempre y cuando no se espere encontrar a mayor profundidad rocas de diferente calidad. Cuando se ha precisado con las perforaciones el perfil transversal de un sitio los ingenieros pueden preguntarse si desplazándose hacia aguas arriba o abajo no se encontraría un volumen menor de excavaciones (limpias), en éste caso partiendo del conocimiento geológico que se tenga del área en estudio se explorara un nuevo perfil transversal comenzando por el punto donde se supone se encuentra la roca a mayor profundidad, lo que reduciría a no continuar la exploración de este perfil si encontramos la roca a una profundidad mayor que en el eje originalmente estudiado.

No es conveniente dispersar los sondeos a distancias variables aguas arriba o aguas abajo del primer perfil puesto que ésto no conduce a nada positivo, sino proceder en la forma anteriormente citada.

Aunque en la gran mayoría de los casos las perforaciones con máquina son verticales, no quiere decir ésto que siempre así deba ser, ni tampoco que sean realizadas a partir de la superficie. Estas perforaciones también pueden ser inclinadas, horizontales e inclusive hacia arriba, pudiendo realizarse en el interior de un pozo a cielo abierto o dién en el interior de un túnel.

## RECONOCIMIENTO POR MEDIO DE POZOS A CIELO ABIERTO Y POR TRINCHERAS.

Cuando la roca firme se encuentra cubierta por suelos - de poco espesor, derrumbes, depósitos de talud o por material residual- producto de su alteración, conviene efectuar pozos a cielo abierto y - trincheras con el objeto de realizar observaciones como si se tratara - de un afloramiento.

Los pozos a cielo abierto son excavaciones de 1.50 a - 2.00 metros de diámetro a 1.00 mto. de profundidad en la roca sana des- pués de haber atravesado la parte superficial de tierra vegetal o roca- alterada.

Las trincheras son excavaciones longitudinales con las - mismas características que los pozos a cielo abierto y que nos permiten como éstos la observación directa de la roca.

La realización de trincheras conviene de una manera - particular en los sitios donde se observa presencia de fallas o contac- tos irregulares de dos formaciones o rocas diferentes. Estas trinche- ras se hacen de varios metros de longitud y siguen la dirección de la - falla o contacto y de una anchura determinada por la amplitud de la zo- na de trituración de la falla. Algunas veces se requiere que estas - trincheras se hacen en forma de "T" o de cruz. Como en los pozos a cie- lo abierto deben hacerse penetrar en la roca el espesor necesario hasta llegar a la roca sana.



Tanto los pozos a cielo abierto como las trincheras vienen a completar o reducir el número de perforaciones con máquina. Puede darse el caso de que un sitio presente una geología tan simple y sin problemas, que necesite como únicas exploraciones la realización de pozos a cielo abierto o trincheras, realizando en ellos pruebas de permeabilidad de campo.

#### RECONOCIMIENTO POR MEDIO DE TUNELES O SOCRUVONES.

En boquillas donde las laderas tienen taludes con fuertes pendientes, y la complejidad geológica del sitio o la magnitud de la obra revisten cierta importancia, es conveniente completar las exploraciones por medio de túneles. Estos como los pozos a cielo abierto y las trincheras suministran una información precisa tanto sobre las características litológicas y estructurales de la roca, así como el espesor de la roca alterada y material de talud. Servirán además para la realización de las pantallas de inyección y si es necesario efectuar otro tipo de sondeos.

Respecto a su localización conviene efectuar uno o dos túneles en el mismo sentido del eje de la cortina. Uno cerca del nivel medio del río y otro en la parte media de la altura del muro siempre que se trate de una cortina de una altura mayor de 30 mts. Esto en lo que respecta a la boquilla.

En la zona del vaso, si consideramos en el reconocimiento geológico preliminar que en uno o varios puntos, podrían presentarse infiltraciones debe procederse a efectuar exploraciones con el fin

de determinar cuales son las condiciones de permeabilidad. Ya se dijo anteriormente, que lo más indicado en la zona del vaso, es conocer las condiciones geohidrológicas existentes. En lo que concierne a los -- bancos de préstamo de materiales tales como arcilla y arena consistirán en una serie de pozos a cielo abierto formando reticula que nos informarán acerca del volúmen de materiales disponibles y su calidad.

El conjunto de estudios detallados nos ha permitido definir el sitio de posible construcción más económico y el informe geológico deberá ser presentado a los ingenieros civiles para el proyecto y diseño definitivo de la presa o cortina que se vaya a construir.

#### EXPLORACION Y PRUEBA DE BANCOS DE ROCA.

Metodo comunmente utilizado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

#### INVESTIGACION PRELIMINAR.

1.- Recopilación de antecedentes.- Se deberá tener conocimiento lo más amplio posible de la estructura geológica del área en la que se localiza la obra. Para lo anterior el Ingeniero Residente deberá recabar todos los estudios preliminares desarrollados en la Subsecretaría de Planeación y la Dirección de Proyectos, estudiando cuidadosamente la información que existe hasta obtener un conocimiento superficialmente amplio de la estructura geológica de la zona.

2.- Deberán obtenerse los planos topográficos de la zona,

fotografías aéreas (de ser posible), planos geológicos, perfiles geológicos y cualquier información relativa a las exploraciones superficiales y profundas que hayan sido realizadas previamente.

3.- Basándose en la información anterior el Ingeniero Residente explorará personalmente el área investigada, procurando de ser posible, realizar vuelos que le permitan inspeccionar íntegramente el área estudiada.

4.- Con la información recibida, basándose en su experiencia previa, en las notas de la geología que se anexan, y con los datos obtenidos en su exploración el Ingeniero Residente localizará en su plano general de la región, los posibles sitios de formaciones rocosas que sean susceptibles de suministrar el material necesario para la construcción de la obra.

5.- El Ingeniero Residente visitará nuevamente todos los sitios localizados y ordenará la construcción de brechas, despalmes y demás trabajos que le permitan juzgar la naturaleza del material localizado, haciendo un resumen escrito de las características de cada uno de los sitios localizados.

6.- El Ingeniero Residente anotará en la información anterior la calidad del material, la facilidad o dificultad que cada uno de los sitios presenta para su explotación, la distancia al sitio de la obra y los caminos existentes que pueden utilizarse en la explotación de los bancos localizados, asignando en función de las características anteriormente mencionadas un orden de factibilidad.

7.- Una vez recopilada la información anteriormente citada la Residencia solicitará a la Dirección General de Irrigación y control de Ríos, se comisione personal especializado y con experiencia en este tipo de trabajos, a fin de que dicho personal revise, confirme o modifique el catálogo, formado de acuerdo con los inicios anteriores y para que de común acuerdo con el Ingeniero Residente formulen un programa de explotación definitiva.

Este programa en general, deberá seguir los lineamientos contenidos en el siguiente punto.

#### EXPLORACION DEFINITIVA.

1.- Se procederá a elegir 2 ó 3 sitios cuyas características le hagan ocupar los primeros lugares en el catálogo de bancos de préstamo probables según los inicios de la investigación preliminar.

2.- Se hará un levantamiento topográfico de cada uno de los sitios anteriores con curvas de nivel a cada metro en cuya área se registre un volumen suficiente para satisfacer las necesidades de la obra o el máximo que el banco sea susceptible de producir.

3.- Aprovechando las brechas indicadas en el plano topográfico se harán descalmes hasta el afloramiento de la roca, de tal manera que sobre el plano topográfico sea posible formular un plano de geología superficial.

4.- Con la información anterior, se elegirá el sitio cuyas características combinadas sean más favorables para efectuar sobre el mismo una exploración profunda.

5.- Se programará una serie de perforaciones que permitan conocer interiormente las características del macizo rocoso explorado, dibujándose los perfiles geológicos correspondientes y remitiéndose al Departamento de Ingeniería Experimental las muestras obtenidas para su clasificación y calificación de aptitud respecto a la obra de que se trate.

6.- Si la exploración anterior confirmara que el macizo rocoso estudiado es el adecuado para satisfacer las necesidades de la obra, se procederá a la apertura de un "FRENTE DE PRUEBA", si no reúne las condiciones requeridas, se estudiará en la misma forma el sitio que le siga en el catálogo de factibilidad según el inciso "6" de la investigación preliminar.

#### APERTURA DEL FRENTE DE PRUEBA.

1.- Se localizará el sitio cuyas características geológicas, petrográficas, topográficas, facilidad de acceso, etc., sean óptimas para la explotación del banco.

2.- Se determinará la capacidad de producción del banco, y se planeará el procedimiento general de explotación más adecuados, proyectándose la apertura del frente de prueba, de manera que dicho frente sirva de base a la explotación general del banco.

3.- Se despalmará hasta el afloramiento de la roca un área que cubra la plantilla de barrenación según se indica en la figura No.1.

4.- Se hará una barrenación preferentemente de 3" de diámetro siguiendo la plantilla indicada en la figura No.1, procurando-

que el respaldo del frente tenga una altura mínima de 10 mts.

5.- Se cargará la barrenación anterior con un coeficiente de carga entre 400 y 600 gr., de dinamita por metro cúbico de roca - obtenido, según se estimó la dureza de la roca.

6.- Se rezagará el producto de la voladura y se formulará por escrito una descripción detallada del mismo, determinando en el laboratorio las características granulométricas del producto y enviando al Departamento de Ingeniería Experimental muestras representativas para su clasificación y calificación definitivas.

7.- En base a los datos anteriormente obtenidos se hará una segunda voladura de prueba modificando la separación de los barrenos y el coeficiente de dinamita, con la tendencia a obtener en esta segunda voladura precisamente roca con las características necesarias del proyecto (figura No. 2).

8.- Se procederá a rezagar el producto de esta segunda voladura que se analizará en el laboratorio con el auxilio del departamento de control de calidad a fin de determinar todas sus características, considerando especialmente el porcentaje de desperdicio, a fin de disponer de dicha información al analizar los precios unitarios de los conceptos que intervengan en la explotación del banco estudiado.

9.- Si los resultados obtenidos en este frente de prueba son satisfactorios se considerará terminada la exploración, en caso contrario se procederá a abrir otro frente de prueba en el mismo banco o en el que le siga en el catálogo según el inciso "6" de la investigación preliminar.

10.- Se llevará a cabo un registro detallado de todas las operaciones anteriores, ya con los datos recopilados formarán parte del catálogo de datos para concurso.

11.- Una vez terminado el banco por explotarse se celebrarán convenios de ocupación temporal o definitiva, según sea el caso de la superficie de terreno por afectar.

#### 2.5.- INFORME GEOLOGICO FINAL.

El texto de este informe deberá comprender además de los puntos contenidos en el informe preliminar, lo siguiente:

- 1.- Una descripción general de la geología regional.
- 2.- Un programa de exploraciones.
- 3.- El resultado de las exploraciones y pruebas de permeabilidad.
- 4.- Una observación de cada tipo de roca encontrada en la zona de cimentación, condiciones estructurales (diaclasas, fallas, fracturas, etc.) y su influencia en la estabilidad e impermeabilidad en la obra.
- 5.- Una observación de los perfiles geológicos determinados, tanto de la superficie como del subsuelo.
- 6.- Una observación completa de las condiciones geohidrológicas y de impermeabilidad del vaso.
- 7.- Una observación completa de la estabilidad de los túneles en la zona de cimentación.

- 6.- Una descripción completa de los materiales de construcción mencionando la distancia al lugar de aplicación, volúmenes y pruebas de laboratorio.
- 9.- Un resumen de las ventajas que presenta dicho sitio con respecto a otros y la proposición del tipo de cortina que se puede construir.
- 10.- Recomendaciones sobre las obras a realizar. Entre los cuales pueden citarse áquellas referentes a:
  - a).- Los trabajos de limpieza y excavación en el sitio de cimentación de la cortina y de otras obras complementarias como el vertedor de demasías.
  - b).- Los canales y túneles para las obras de derivación.
  - c).- Los trabajos de inyección y en general de consolidación e impermeabilización de la zona de cimentación.

Completando el texto anteriormente citado, el informe geológico deberá comprender las ilustraciones siguientes:

- a).- Una carta geográfica y topográfica de la localización del área.
- b).- Plano geológico detallado (según lo amerite la obra)
- c).- Uno o varios perfiles geológicos.
- d).- Cortes geológicos de las perforaciones, pozos a cielo abierto, trincheras, túneles realizados indicando las pruebas efectuadas, y todas las anomalías observadas (porcentaje de muestras recuperadas, grado de



fracturamiento, grado de alteración, pérdida de agua--  
de enjuague, aparición de aguas subterráneas, etc.).

e).- Plano de localización de las exploraciones realizadas--

f).- Plano de localización de los bancos de préstamo.

### 3.- ALGUNAS CARACTERÍSTICAS Y PARTICULARIDADES DE LAS -- ROCAS EN EL ESTABLECIMIENTO DE UNA PRESA DE ALMACENA-- MIENTO.

Las condiciones estructurales no son siempre favorables--  
en la construcción de una presa de almacenamiento.

#### 3.1.- ROCAS SEDIMENTARIAS.

En el caso de las rocas sedimentarias, aquellas en las cuales--  
el echado es hacia aguas arriba, pueden considerarse como las más apro--  
piadas tanto desde el punto de vista de la estabilidad, como de la im--  
permeabilidad.

Un caso menos favorable es el de las rocas en echados hacia --  
aguas abajo ( se supone que el rumbo es paralelo al eje de la cortina)--  
lo que hasta cierto punto permitiría infiltraciones que aflorarían a --  
aguas abajo del sitio de la cortina, lo que presenta problemas de difícil  
y costosa solución. El problema es aún más grave cuando rocas de magni--  
fica resistencia se encuentran interestratificadas (empacadas) con mate--  
riales arcillosos, ya que hay posibilidades de que al contacto con el -  
agua haya deslizamientos.

Las capas horizontales ofrecen en general buenas condiciones de estabilidad, pero pueden sin embargo dar lugar a infiltraciones.

Uno de los casos más desfavorables es aquel donde las capas presentan un rumbo paralelo al curso del río, es decir normal a la cortina, ya que constantes derrumbes e incluso deslizamientos de tierra -- hacen extremadamente difícil la construcción. Esto es en general lo -- que se puede decir acerca de algunas características estructurales.

Pasando ahora a nombrar algunos tipos de sedimentos que son -- sin duda los más difíciles de tratar en la zona de cimentación de una cortina, pues ellos implican un estudio muy detallado de su disposición estratigráfica, así como numerosas pruebas de campo y laboratorio, tanto sobre sus propiedades mecánicas, como sobre su composición y permeabilidad.

Este tipo de sedimentos son: las arcillas, los limos, las arenas y las gravas.

En lo que respecta a las arcillas, desde el punto de vista mecánico son sedimentos que forman rocas impermeables y muy comprensibles cuando se les aplica una carga. Sus propiedades mecánicas son dependientes del contenido de agua, del arreglo y la estructura de sus partículas constituyentes.

Por ejemplo una arcilla con un contenido de agua cercano a su límite líquido, es susceptible a presentar un escurrimiento plástico en el momento de aplicarle una carga. Si se tiene en cuenta la comprens-

bilidad de las arcillas es un fenómeno debido a la expulsión del agua que separa las partículas, las arcillas con un contenido de agua muy elevado son muy comprensibles.

En cuanto a su composición, las arcillas del tipo bentonítico que tienen gran avidez por el agua, tendiendo a aumentar su volumen al saturarse.

En lo que respecta a los materiales como las arenas, los limos y las gravas, igualmente que con las arcillas, es indispensable conocer con precisión el arreglo o acomodo de los fragmentos que constituyen el depósito así como de sus propiedades mecánicas. Esta característica tiene una influencia preponderante en la permeabilidad del depósito. En los depósitos de origen aluvial constituidos por estos materiales la permeabilidad es más grande en el sentido horizontal que en el vertical, lo que es debido a la disposición en capas de los aluviones.

#### LUTITAS Y MARGAS.

Las lutitas son arcillas litificadas y transformadas, aunque menos comprensibles que las arcillas, tienen características semejantes.

Por lo que estas rocas pueden alterarse e hincharse al contacto con el agua e inclusive con el medio ambiente, sin embargo cuando no están alteradas tienen una resistencia al esfuerzo cortante y a la compresión más grande que la arcilla, pues son más duras y compactas a causa de su menor contenido de agua.

Algunas lutitas que parecen excelentes en el curso de la realización de una perforación, en el momento de ponerlas en contacto con el agua se desintegran instantáneamente. Esta característica es muy

notable sobre todo en las lutitas muy deleznales.

Para determinar su comportamiento, es necesario hacer pruebas de laboratorio tanto sobre su compresibilidad y resistencia al esfuerzo cortante, como sobre su alterabilidad.

Las margas (lutitas ricas en carbonato de calcio) son rocas de una calidad superior a la de las lutitas, no obstante algunas veces son muy alterables, compresibles y susceptibles de hincharse a pesar de su masa compacta y de su dureza.

#### CALIZAS.

En las calizas densas no fracturadas puede construirse una presa de almacenamiento con éxito ya que la gran mayoría de ellas tienen una resistencia tan grande como el concreto. Son estas rocas ciertamente, en las cuales el volumen excavado es reducido al mínimo (por supuesto después de haber limpiado el material de talud que puede ser potente o el acarreo). Desgraciadamente se le encuentra con mucha frecuencia interestratificadas con otro tipo de roca o karsticas.

Desde el punto de vista de la estabilidad, pueden considerarse satisfactorias si no son defectuosas, (falladas, fracturadas, etc), y las condiciones estructurales son satisfactorias.

Cuando se hable de un terreno calcáreo hay que pensar en rocas que presentan fracturas o diaclasas producidas por acción tectónica, deformadas, falladas, en fin con todas las características que presenta una roca sujeta a esta acción. Además, si tales terrenos se encuentran en una región húmeda la acción erosiva de las aguas subterrá-

neas en circulación y su poder disolvente puede haber producido un alargamiento en las fracturas, planos de estratificación y diaclases, formando cadenas y dando lugar a terrenos con topografía karstica. En las calizas simples fracturas superficiales pueden esconder enormes cavidades en el subsuelo. La presencia de dolomías y calizas cavernosas es el principal problema al que hay que temer, a causa de infiltraciones y que posiblemente siga en aumento la disolución y las cavernas aumenten en consecuencia de tamaño, en el área que será inundada por las aguas del vaso y aún en la zona del eje de la boquilla.

A este respecto, el estudio geológico del área del vaso, boquilla y valles vecinos deben ser lo más preciso posible ya que es necesario determinar las características estratigráficas y estructurales de las rocas a fin de reconocer si existen posibilidades de escurrimientos subterráneos de las aguas del vaso hacia aguas abajo de la cortina proyectada hacia un valle vecino, si es que este se encuentra a una cota inferior; en algunas ocasiones se puede apreciar a simple vista las huellas y cavernas de disolución.

En estos casos, uno de los factores más importantes es determinar la situación de la primera capa impermeable abajo de las rocas fisuradas, lo que permitirá o no las infiltraciones fuera del vaso.

Cuando los terrenos calcáreos tienen un drenaje superficial muy pobre desprovisto o no de vegetación y en una región muy húmeda, lo más probable es que haya circulación de aguas subterráneas, sobre todo si hay manifestaciones superficiales. Sin embargo, los testigos más

significativos y más espectaculares de estas circulaciones son naturalmente los manantiales.

Si la circulación de aguas subterráneas está situada en cotas inferiores a la del vaso, sea en el valle principal aguas abajo de la presa o en los valles vecinos, habrá no una certeza absoluta, pero sí un gran riesgo de pérdidas, evidentemente llenar la presa totalmente no traerá ningún riesgo de disolver las calizas y de crear nuevas redes de circulación, pero sí puede poner en actividad redes preexistentes, a veces totalmente secas y parcialmente selladas con material arcilloso.

#### YESO Y ANHIDRITA.

Los yesos y particularmente las anhidritas, a causa de su tendencia a transformarse en yeso son rocas temibles por decirlo así en el sitio de construcción de una presa tanto en lo que respecta a su permeabilidad como a su estabilidad. En estas rocas igualmente que en las calizas se forman enormes cavernas que vuelven imposible la construcción de una presa de almacenamiento por el costo elevado de impermeabilización. Por otra parte no hay que olvidar que las aguas en contacto con rocas sulfatadas ejercen una acción muy agresiva sobre los cementos ordinarios de tipo portland.

#### ARENISCAS.

Independientemente de las características estructurales que presenta un cuerpo de arenisca, su resistencia mecánica en la construcción de una presa de almacenamiento depende tanto de su homogeneidad y

naturaleza de los granos, como del material cementante y grado de cementación.

Teniendo en cuenta que el cuarzo es un mineral indeformable y que solo presiones muy elevadas pueden triturarlo, las rocas formadas por este mineral como es el caso de la mayoría de las areniscas, ofrecen las mejores condiciones de estabilidad.

Por otra parte su naturaleza granular les dá un ángulo de fricción interna muy elevado. Sin embargo en aquellas areniscas donde el cementante está constituido por arcilla o carbonato de calcio y que son materiales deformables, puede producir un desplazamiento de los granos bajo la acción de fuertes presiones. Igualmente en las areniscas interestratificadas con lutitas la superficie de contactos es una zona potencial de deslizamientos, si hay circulación de agua en el cuerpo de la roca; en el contacto con la lutita el agua produce en efecto una acción lubricante como consecuencia del reblandecimiento de la arcilla.

Una arenisca en estas condiciones está sujeta a la acción de deslizamiento o asentamiento, claro está que dependiendo de su posición estructural estos movimientos podrán ser atenuados o nulos.

En general las areniscas son rocas favorables en el sitio de la construcción de una presa, salvo si están fracturadas (aunque esto no sea determinante hasta saber el comportamiento de las fracturas) o interestratificadas, con materiales arcillosos, siendo la cortina del tipo flexible la más apropiada.

### 3.2.- ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS.

En general las rocas ígneas intrusivas son iguales desde el punto de vista de su impermeabilidad, no siendo lo mismo con éstas rocas en el área de cimentación de la cortina puesto que tienen gran facilidad para descomponerse y alterarse bajo ciertas condiciones como consecuencia de su desarrollo cristalino; presentan a menudo en la construcción graves problemas debido a la gran profundidad (en algunos casos) de la zona alterada.

Las rocas ígneas intrusivas son atacadas por los agentes atmosféricos tanto mecánicos como químicos. Ahora bien, la profundidad y la extensión de acción de éstos agentes depende de varios factores entre los cuales los más importantes son el espaciamiento entre fracturas o diaclasas e historia fisiográfica avanzada.

En un área de fisiografía avanzada, la alteración es más importante si las pendientes en general son suaves.

La acción destructiva de los agentes de intemperismo comienza por una alteración producida a lo largo de las fracturas y diaclasas en las rocas, y se continúa por la destrucción progresiva de los elementos cristalinos, los feldespatos y sobre todo las micas.

#### GRANITO.

Es una roca compuesta por cristales de cuarzo, feldespato, ortoclasa y mica; pero también pueden hallarse presentes en pequeñas cantidades otros minerales como la hornblenda. La ortoclasa es generalmente de color rosado, el cuarzo es incoloro y la mica generalmente es-



de colores claros (muscovita) u oscuros (biotita); la hornblenda es un mineral ferromagnesiano que destaca por su color oscuro sobre la masa de cuarzo.

Estando el granito macizo, sano en gran masa es impermeable y muy resistente ( 1000 a 1400 Kg. por Cm<sup>2</sup>.), su densidad media es de 2.6 a 2.7, sus juntas y grietas suelen cerrarse a profundidad, intemperiza en clima húmedo y se altera fácilmente llegando a ser la alteración muy profunda; las arenas provenientes de la desintegración del granito son gruesas y a través de ellas puede circular el agua fácilmente. Un corte en este tipo de roca debe ser revestido, tanto para evitar derrumbes como para evitar su alteración.

La roca sana es muy dura, su exploración y explotación requiere fuerte gasto de explosivos y es muy marcado el desgaste de herramientas.

### 3.3.- ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS.

Los problemas presentados por éstas rocas (riolita, andesita, basalto, etc.) son notables por el número de fracturas de enfriamiento y por las zonas de contacto escoriáceas. La construcción de presas en terrenos basálticos, exige primeramente la determinación del nivel de aguas freáticas con respecto al curso del agua y el nivel máximo del futuro almacenamiento, así como el estudio de las condiciones estructurales y topográficas que controlan el escurrimiento de los mantos acuíferos.

RIOLITA.

Es una roca ácida y de aspecto fluidal de donde deriva su nombre, pero su característica principal es que los cristales de cuarzo que la acompañan están alineados sobre una pasta fundamental, en dirección de la corriente (el flujo). Esta característica la distingue de otro tipo de rocas que suelen presentar estructuras fluidal pero que carecen de cuarzo. Es el correspondiente extrusivo del granito.

Es muy frecuente encontrar la roca sin ese aspecto fluidal y también es relativamente fácil identificarla por los cristales de cuarzo diseminados en medio de una matriz de grano fino generalmente.

Es una roca dura y resistente apropiada generalmente en la construcción. Cuando se tritura, sus fragmentos presentan aristas agudas lo que es motivo de molestias para su uso en el concreto; es ideal para ser usada en mampostería. Es impermeable y sus fracturas generalmente cierran a profundidad.

ANDESITAS.

El nombre de esta roca proviene de la cordillera de los Andes. Es muy difícil encontrarla en estado sano pues es muy susceptible a la acción de la intemperie; es una roca intermedia.

Según el estado de la roca puede ser usada en mampostería aunque no de primera clase. En si la roca y sus productos clásticos son impermeables y fácilmente se pueden usar para construir canales

sin revestimiento alguno. Compuesto por plagioclasas.

#### BASALTO.

Roca básica generalmente oscura, con un peso específico promedio de 3.0. Se presenta en forma de grandes masas, en forma de corrientes de aspecto lávico típico o en forma de grandes columnas. Puede presentar un grano muy fino y tener aspecto de roca maciza, resistente y dura, hasta el grado de que al explotarla requiere un gran gasto de explosivos y de herramientas de perforación. En otras ocasiones cuando ha sufrido presiones se encuentra en forma de "lajas"; puede presentar estructura vesicular o amigdaloidal y si es muy porosa o escoriácea se llama tezontle.

El basalto como roca maciza en si tiene una permeabilidad primaria nula pero como casi siempre está dividido en bloques o "lajas" se vuelve sumamente permeable lo que lo hace muy peligrosa a la roca en el caso de estar presente en las márgenes de una obra de almacenamiento. En cambio es muy útil en cimientos y enrocamientos. El olivino generalmente está presente y sus cristales son relativamente fáciles de identificar por su color característico verde olivo.

#### 3.4.- ROCAS METAMORFICAS.

Son rocas preexistentes que han sufrido transformaciones texturales, estructurales y mineralógicas bajo la acción de efectos de presión, temperatura y efectos mineralizantes.

Las rocas metamórficas de origen sedimentario si tectónicamente no han sido alteradas ofrecen condiciones satisfactorias para efectuar

una cimentación. Los esquistos cristalinos que tienen un gran número de fisuras y una foliación muy delgada si no son micáceos, pueden también considerarse como buenos en el establecimiento de una presa de almacenamiento. Los esquistos micáceos tienen la desventaja de alterarse fácilmente al contacto del agua y el aire.

En los esquistos la dirección de la esquistocidad es muy importante ya que si esta es normal al eje de la cortina existe la posibilidad de deslizamiento a lo largo de esos planos y es el caso menos favorable; por el contrario, los esquistos con una foliación paralela al eje de la estructura presenta buenas condiciones de estabilidad.

#### CUARCITA.

Es el resultado del metamorfismo de areniscas formadas por granos de cuarzo, es sumamente dura en la que se llega a distinguir los granos de que está formada, lo que permite hacer una distinción entre ellas y la arenisca, pues mientras que en la arenisca una fractura sigue el contorno de los granos en la cuarcita esa fractura corta los granos. Su dureza presenta problemas para la explotación.

#### GNEISS.

Varias rocas pueden dar lugar a la formación del gneiss, entre ellas el granito y la diorita. En el gneiss se pueden distinguir fácilmente los cristales claros de cuarzo y feldespato, de grano más bien grueso, alineados en capas más o menos paralelas y separadas entre si por capas de mica en cristales pequeños agrupados. Por su dureza presenta problemas para su explotación pero es aceptable en el establecimiento de una presa de almacenamiento.

Ahora se mencionará brevemente algunas características de las rocas como materiales de construcción.

#### AGREGADOS DEL CONCRETO.

Como la calidad del concreto depende en gran parte del agregado, hay que tratar de obtener siempre materiales que reúnan las condiciones siguientes: que den lugar a la fabricación de un concreto que no sea atacado por la alcalinidad de algunas aguas.

Que no reaccionen con los elementos químicos del concreto.

Que posean una calidad tal que el agregado pueda resistir la dilatación y contracción producidas por la acción de los agentes atmosféricos.

En general para la construcción de una presa de concreto es recomendable utilizar materiales resistentes y que no se rompan en fragmentos poliédricos y que no dejen residuos arcillosos al momento de romperlos; materiales menos resistentes o relativamente alterables pueden ser empleados a condición de evitar en ellos toda circulación de agua por medio de una granulometría y una dosificación de cemento juiciosas, buscando siempre una adherencia entre el cemento y el agregado.

Para algunas presas de gravedad, de arco, etc., los materiales a utilizar son: el basalto que no deja residuo arcilloso y que se rompe en fragmentos poliédricos; la cuarcita que desgraciadamente debido a su dureza es de difícil aplicación; el granito que es fá -

cilmente triturable pero que produce si es muy rico en feldespatos, una adherencia ( a causa de sus alteraciones) deficiente; las dolomitas y las calizas pues la adherencia del carbonato de calcio con los elementos ordinarios es excelente; las areniscas compactas sobre todo si se encuentran en bancos gruesos; finalmente los aluviunes, sin residuo arcilloso y en si el material de acarreo en los cauces (teniendo una buena granulometría y en caso contrario mejorandola).

Las rocas porosas y principalmente las rocas arcillosas pueden ser consideradas como poco utilizables como agregados del concreto, ya que en las condiciones de saturación de concreto en la roca porosa trae como consecuencia la desintegración de los materiales debido a los cambios de temperatura; los materiales arcillosos favorecen igualmente la desintegración del concreto.

Si se trata de rocas para enrocamiento en las presas donde se utiliza en fragmentos gruesos, es necesario conocer el grado de alteración y alterabilidad, siendo conveniente que las dimensiones de la aureola alterada sea despreciable con respecto a la dimensión total del fragmento.

Las rocas de antiguos derrumbes, nos proporcionan una buena información de éstas a la acción de los agentes erosivos.

En general todas rocas ígneas cristalinas pueden ser consideradas como utilizables en la construcción de presas, ya sea como agregados del concreto, como mampostería o simplemente para enrocamiento.

Las rocas que en el momento de explotarse se fraccionan con abundancia de polvo y astillas deben excluirse.

#### 4.- RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO EN LA ZONA DE CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE CONDUCCION Y DISTRIBUCION.

En una forma somera se tratará del reconocimiento geológico realizado en las obras de conducción y distribución. Dicho reconocimiento consiste en observar a lo largo de los canales previamente localizados las formaciones geológicas existentes, señalando si tales formaciones pueden por su naturaleza dar lugar a pérdidas de agua por infiltración, siendo necesario revestir dichos canales. Por otra parte si un canal está localizado en el flanco de una montaña deberá observarse si existe la posibilidad de derrumbes o la roca es muy deleznable entonces se procederá a formar un pequeño muro de contención o un zampeado según sea necesario para estabilizar; de igual manera se procederá en la construcción de un túnel donde primero se tiene que efectuar un minucioso estudio geológico de las condiciones estructurales y del estado de las rocas para proceder a estabilizar las rocas en caso de estar alteradas ó deleznales por medio de zampeados, muros de construcción, además pernos de anclaje, etc.

#### 5.- APLICACION DE LA GEOLOGIA EN LA INGENIERIA CIVIL.

La geología llanamente definida es la ciencia que trata del estudio de la tierra, siendo común que el Ingeniero Civil en el ejercicio de sus actividades solo le interese la tierra como base o

ubicación de sus obras, o como fuente de materiales para construir las, teniendo como única mira la resistencia o permanencia de ellas en el lapso de vida útil, es decir no tiene más preocupación que la estabilidad de las mismas.

Con éste sencillo punto de vista el Ingeniero Civil no le preocupa saber si el terreno en que opera pertenece a tal o cual edad geológica, o si la roca que utiliza en su construcción tiene ésta o aquella clasificación, ya que las condiciones que busca en el terreno o en materiales que emplea para él son tributo exclusivo de la naturaleza.

Más frecuentemente es resistencia aducida en todos los aspectos lo que requiere el Ingeniero; pero en las obras hidráulicas el concepto resistencia generalmente se añade a otro no menos importante, el de la impermeabilidad. Es todo lo que el Ingeniero pide para el sitio en que va a erigir una obra de este tipo o que cuando menos tales cualidades puedan impartirsele por medios artificiales cuando no las tiene en su estado natural.

La resistencia que busca el Ingeniero puede ser y es en algunos casos la que dan a conocer las pruebas de laboratorio, y sobre éstas existen numerosas pruebas y datos, pero cuando se trata de la resistencia que ofrece un terreno al esfuerzo que se le aplica, generalmente ésa no es de utilidad práctica, ya que en ambos son condiciones diferentes aunque se trate del mismo tipo de terreno. Una muestra de roca probable en experiencia de laboratorio acusa una resis-



cia a la compresión de varios centenares de kilogramos por centímetro cuadrado, puede a causa de su disposición en el terreno fallar ante un esfuerzo considerablemente menor. Esta disminución en la resistencia es frecuentemente debida a la presencia de estructuras primarias y/o secundarias que afectan a la formación y a la peculiar disposición de tales accidentes geológicos con relación al empuje. Puede afirmarse que no hay formación exenta de estos accidentes, unos primarios y peculiares de su naturaleza como los planos de estratificación en las rocas sedimentarias; otros secundarios como fallas y fracturas originadas durante movimientos tectónicos, o las juntas de contracción al consolidarse las lavas, como la cavernosidad que origina la circulación de agua en las rocas solubles, etc.

Si no se puede encontrar formación rocosa carente de una a otro tipo de estructura y aún de ambos si se puede en cambio, sobre todo cuando no existe una localización obligada para la obra, elegir un sitio para levantarla que tales inconvenientes sean mínimos o donde sus efectos sean susceptibles de corregir o aminorarse; en último caso cuando la localización es obligada el conocimiento previo de las condiciones estructurales del terreno, capacita al Ingeniero para elegir un tipo de construcción adecuada en cuyo tipo la influencia de tales estructuras sea nula o tolerable.

Fallas, fracturas, juntas, planos de estratificación, cavernosidad, etc., juegan un papel importante en la destrucción de la

roca ya que a través de ellos penetran los agentes de alteración y desintegración modificando, casi siempre desfavorablemente las condiciones y propiedades de la misma.

En el empleo de las rocas como materiales de construcción, si son de utilidad práctica los datos que acerca de sus propiedades suministran las pruebas de laboratorio, y las rocas aprovechables hay en todas las edades geológicas y en las tres grandes divisiones que las agrupan.

Es interesante una breve exposición de las propiedades de las rocas utilizadas como material de construcción y que tienen interés para el ingeniero. Tales propiedades como ya se indicó son las relacionadas principalmente con la estabilidad, permeabilidad y ocasionalmente el aspecto, eliminando éste último que es solo asunto de ornato, las principales propiedades pueden reducirse a las siguientes: resistencia, dureza, tenacidad, durabilidad, densidad y porosidad.

Una roca es un conjunto de minerales y estos son compuestos químicos con propiedades bien definidas, que bajo condiciones propias adopten formas cristalinas definidas también. El medio ambiente sufre constantes cambios que influyen sobre los minerales, alternándolos y dando nacimiento a otros que a su vez quedan sujetos al mismo proceso. En esta forma, la sola acción del intemperismo es suficiente para la total transformación de las rocas cambiando sus propiedades, lo que no ocurre de una manera brusca, sino en forma gradual de los

caras expuestas a tal acción actuando hacia el interior de la roca.

El intemperismo obra a la vez química y físicamente, y la roca es más apreciada como material de construcción cuando mayor es la resistencia que opone a los agentes de erosión, y transformación.

Se entiende comunmente por resistencia de una roca a la capacidad de la misma para soportar sin ruptura una carga que se le aplica y que puede obrar comprimiendola, flexionandola y de esta manera se habla de resistencia a la compresión, a la flexión y al esfuerzo cortante.

Cuando los elementos constitutivos de una roca, es decir los cristales, presentan una orientación definida, la resistencia es variable según el ángulo que la línea de aplicación de la fuerza forma con la dirección y orientación de dichos cristales.

En las rocas ígneas esta orientación es motivada por el escurrimiento de las lavas, por el movimiento de los magmas a lo largo de las cavidades o conductos dentro de la corteza terrestre; en las rocas sedimentarias por la forma de las partículas y por las condiciones de depósito; en las rocas metamórficas la orientación es resultado del esfuerzo de compresión que da lugar a la laminación de los cristales de las rocas ígneas o de los granos de las sedimentarias, para producir texturas apizarradas o esquistosas.

La resistencia de la roca depende de la trabazón natural de esos elementos y por lo mismo es de esperarse y así ocurre, que sea generalmente mayor en las rocas ígneas que en las sedimentarias y metamórficas.

La textura también tiene influencia sobre la resistencia pudiéndose asentar, de una manera general que las mayores resistencias se registran en las rocas de textura media, las mínimas en la textura fina y los valores medios en las rocas de textura gruesa.

La dureza de una roca es su resistencia a la abrasión y a la raspadura y depende de los minerales que la constituyen y de la cohesión entre los cristales o granos. Esta dureza se determina por-comparación en la escala de Mohs que comprende los diez términos siguientes.

GRADO DE DUREZA	METAL TIPO	METODO DE IDENTIFICACION APROXIMADA.
1	talco	se raya con la uña
2	yeso	" "
3	calcita	se raya fácilmente con-- -una navaja e inclusive - con la uña.
4	fluorita	se raya con navaja
5	apatita	" "
6	feldespato	difícilmente se raya con- navaja
7	cuarzo	raya al vidrio
8	topacio	raya al cuarzo
9	corindon	raya al topacio
10	diamante	raya a los anteriores

La dureza suele presentar variaciones en un mismo mineral según la cara que se examina, entre los anteriores se encuentra el yeso.

La densidad y la composición química afectan la dureza; en general, se observa que los minerales más duros se encuentran entre los óxidos y los silicatos. A esto se debe la gran dureza de los granitos en cuya constitución entran dos de los minerales más duros:

cuarzo y feldespato.

La tenacidad es la resistencia al impacto. En las rocas depende de los minerales que la constituyen, de la forma de los cristales o granos y de la manera como se entrelazan. Este entrelazamiento se presenta mejor en las rocas ígneas cuyos elementos adoptan formas cristalinas gruesas, que en las sedimentarias integradas generalmente por granos arredondados y de tamaño uniforme, en las que la interpretación es imposible y el aglutamiento nulo a veces. Desde el punto de vista de la tenacidad un mineral puede ser frágil cuando se desmenuza o tritura hasta su pulverización. Sécil, cuando puede rebanarse y flexible cuando se dobla sin ruptura y permanece doblado al cesar el esfuerzo.

La durabilidad de las rocas es la resistencia que oponen a su destrucción, es decir la acción del intemperismo y la erosión. Esta destrucción puede ser, originada por un agente mecánico en cuyo caso tiene lugar la desintegración de la roca que es reducida a fragmentos; o bien por un agente químico que origina su descomposición y su transformación en un producto distinto a la roca original.

La atmósfera con sus variaciones diarias y estacionales de temperatura, con la acción de los gases y vapores, contenidos en ella, con la de los vientos, la acción de la vida orgánica, todos son elementos que cooperan a la destrucción de la roca.

Para el ingeniero, concretando, la durabilidad de una roca es la capacidad de ésta para conservar su resistencia, forma o ta

maño y apariencia originales durante un lapso de tiempo suficiente para cubrir la vida útil de la obra en que se emplea.

El intemperismo comprende todas las modificaciones que pueden sufrir las rocas expuestas a los agentes atmosféricos, con la excepción de las debidas a la acción mecánica del viento (erosión).

Es químico en la oxidación, la hidratación, la carbonatación, etc., y mecánico en los efectos de las altas temperaturas de las heladas, en general, en los cambios originados por las variaciones de temperatura, en la modificación del talud de equilibrio de las rocas, etc.

La descomposición de la roca por los agentes naturales es un fenómeno generalmente muy lento, y la desintegración, aunque siempre sea más activa, no lo es en sumo grado, salvo el caso de ser originada por la actividad volcánica, por movimientos de la corteza terrestre, por deslizamientos de grandes masas o por fenómenos similares casi siempre instantáneos o de duración limitada. A esa lentitud se debe indudablemente la carencia de datos concretos a cerca de la durabilidad de las rocas, y también a lo complejo del fenómeno de desintegración, porque muchos agentes variables con el tiempo y de lugar a lugar obran simultáneamente.

Algunos datos sobre la probable durabilidad de las rocas pueden obtenerse por su examen en el yacimiento mismo, datos que son más útiles cuando se trata de buscar sitios de cimentación, es decir, cuando la roca va estar sujeta a la acción del mismo medio; pero si este va a cambiar como es el caso de los materiales de construcción,

tal exámen no puede suministrar sino ideas generales.

Tanto en las rocas de cimentación como en las empleadas -- como materiales de construcción, lo ideal es prescindir de la alterada y de la que presenta principios de desintegración. Cuando una roca ha sido convenientemente seleccionada para los fines a que se destina atendiendo a sus otras propiedades, su durabilidad cubre un amplio márgen de la vida útil de la obra.

En algunos casos, y de acuerdo con las condiciones del medio en que la roca va a ser empleada, se puede recurrir al uso de preservativos que, sino anulan por completo los efectos de un agente determinado, pueden mitigarlos notablemente.

La densidad o peso específico de una roca es la relación de su peso al volumen igual de agua. Depende de la densidad de los minerales que la constituyen y de la porosidad que a su vez del agrupamiento molecular.

En general puede afirmarse que las mayores densidades se encuentran en las rocas ígneas, intrusivas o extrusivas y entre las metamórficas con predominio de elementos oscuros (máficos).

La porosidad es la capacidad de las rocas para almacenar agua en sus intersticios. Se expresa en porcentaje y es la relación del volumen de espacios vacíos al volumen total de la roca que se examina. También se hace referencia a la porosidad cuando se habla del poder de absorción de agua.

Es creencia común que una roca porosa es forzosamente permeable. Esto es falso, la permeabilidad implica intercomunicación entre los espacios vacíos de manera que el agua pueda circular en el seno de la roca hasta atravesarla, lo que es cierto, es que una roca permeable forzosamente es una roca porosa.

La porosidad de la roca varía entre límites muy amplios, desde un mínimo de cerca de 0.5 % en las rocas cristalinas, hasta 50% ó más en las arenas y gravas.

La porosidad de las rocas depende de los siguientes factores:

- a).- Composición mineral y estructura original
- b).- Distribución mineral y estructura de las cavidades
- c).- Volumen total de las cavidades
- d).- Alteración y descomposición de las rocas.

En general, las rocas intrusivas son menos porosas que las extrusivas y éstas menos que la generalidad de las rocas sedimentarias.

Entre estas últimas la porosidad depende de varios factores los cuales son los más importantes la forma y disposición de los granos.

La roca como material de cimentación de obras hidráulicas debe reunir dos requisitos indispensables.

Tener la resistencia necesaria y ser impermeable dentro de los límites prácticos, pudiendo suceder que estas propiedades-



las posea en estado natural, lo que no siempre sucede, o que se le impartan, mediante un tratamiento que debe ser al mismo tiempo eficiente y económico.

Con relación a la resistencia de las rocas en un sitio--determinado, no es suficiente conocer la que a un esfuerzo dado presenta esa misma roca en especímenes aislados, porque sobre toda el área --de cimentación, en toda la zona en que van a desarrollarse esfuerzos --pueden ocurrir accidentes geológicos en los que el terreno puede fallar no precisamente por ruptura o desintegración de la roca, sino por simple movimiento de acomodación de grandes bloques, por reducciones considerables de volumen debidas a compactación, por alteración de las --condiciones originales causadas por el cambio de medio, etc.

En resumen, la resistencia que una formación determinada opone a un esfuerzo dado, no depende exclusivamente de la resistencia --de la roca que constituye esa formación, sino también y en forma notable de las condiciones estructurales de la misma.

La geología estructural tiene cinco ramas:

- 1.- La que se ocupa de los elementos químicos
- 2.- La que estudia la combinación de esos elementos para la --formación de minerales (Minerología).
- 3.- La que se ocupa de la asociación de los minerales para la producción de la roca (Petrografía).
- 4.- La que estudia las asociaciones de las masas rocosas en --su estado original (estructura primaria) y las modificaciones que sufre ésta por deformaciones y otra influencia (estructura secundaria), Geología estructural propiamente dicho.

5.- La que se ocupa de las formas resultantes de las actividades de los agentes destructivos y constructivos que se revelan en las peculiaridades topográficas (Fisiografía).

Las rocas ígneas proceden de la consolidación, por enfriamiento de un magma fluido, consolidación que puede tener lugar a profundidades variables en el interior de la corteza terrestre, o sobre la superficie de ésta, las primeras constituyen las rocas ígneas intrusivas; las segundas ígneas extrusivas llamadas también efusivas o volcánicas.

Las condiciones de consolidación se manifiestan en la textura; las rocas que se consolidan a profundidad y en las que el enfriamiento fué necesariamente lento, tienen una textura granular tanto más gruesa cuanto más lento haya sido équel y por lo mismo, cuando mayores hayan sido las oportunidades de los distintos minerales para sumir sus formas cristalinas características; en cambio, las rocas efusivas o extrusivas sufrieron un enfriamiento rápido cuya consecuencia fué el desarrollo de texturas finas y aún vítreas en caso extremo. El tipo más común de roca intrusiva en nuestro país es el granito que ocupa grandes extensiones en la costa del Océano Pacífico y en la Península de Baja California. Entre las extrusivas el basalto parece ser el más abundante probablemente por ser el producto de la actividad volcánica más reciente.

El material piroclástico que es expulsado por el cráter de un volcán en erupciones violentas está constituido por fragmentos -

de lava endurecida de una emisión previa que obstruya la chimenea, por partículas de roca arrancadas por girones de lava líquida y por fragmentos arrancados de rocas preexistentes expulsados por la fuerza de las explosiones, enfriados y solidificados en su tránsito por la atmósfera. De acuerdo con su tamaño estos fragmentos se clasifican en bombas y bloques (mayores de 32 mm.); Lapilli ( de 4 a 32 mm.), cenizas volcánicas (menores de 4 mm.).

Estos materiales dan origen a las siguientes rocas piroclásticas: brecha volcánica formada por bloques; aglomerado volcánico--formado por bombas, y tobas formadas por cenizas y lapilli.

Las rocas sedimentarias son aquellas derivadas de ígneas metamórficas e inclusive de otras sedimentarias que hayan sufrido procesos de erosión, transporte y depositación; y de acuerdo al tamaño de los granos (elementos) que la constituyen tales rocas pueden tener una textura gruesa, intermedia o fina.

Las formaciones cuya posición de depósito ha sido transformada por un esfuerzo determinado aparecen en la superficie plegadas inclinadas, fracturadas, etc.

Una formación queda definida por su rumbo y su buzamiento o echado en el que hay que distinguir magnitud y dirección.

Rumbo.- El rumbo es la dirección de la línea que forma la intersección de la capa o estrato con un plano horizontal imaginario.

Echado.- En cuanto a su magnitud se mide por el ángulo que forman el plano horizontal y la capa o estrato. En cuanto a su dirección es normal al rumbo y con el sentido en el que se "clavan" las capas.

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

Flint, F.R., Longwell, R.CH. "Geología Física", (1965)  
Limusa-wiley, México.

S.A.R.H. Dirección General de Obras Hidráulicas para el Desa -  
rrollo Rural, Dirección de Programas  
"Actualización del Inventario".

Billings, Marland P., "Geología Estructural", (1964) EUD&BA.

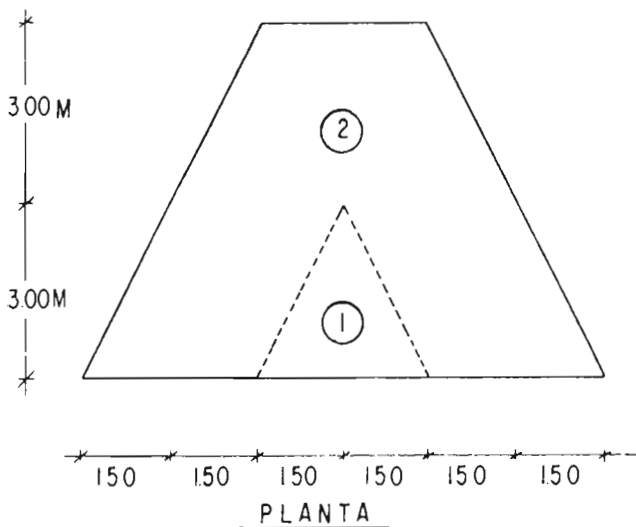
S.A.R.H. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica,  
Dirección General de Obras Hidráulicas e Ingeniería -  
Agrícola para el Desarrollo Rural,  
Subdirección Técnica de Ingeniería Hidráulica  
Ing. Salvador Marín Córdova.

Legget Robert F., "Geología para Ingenieros", (1964) Gustavo -  
Gili, S.A., Barcelona.

Tyrrel G.W., "Principios de Petrología", (1965), C.E.C.S.A.

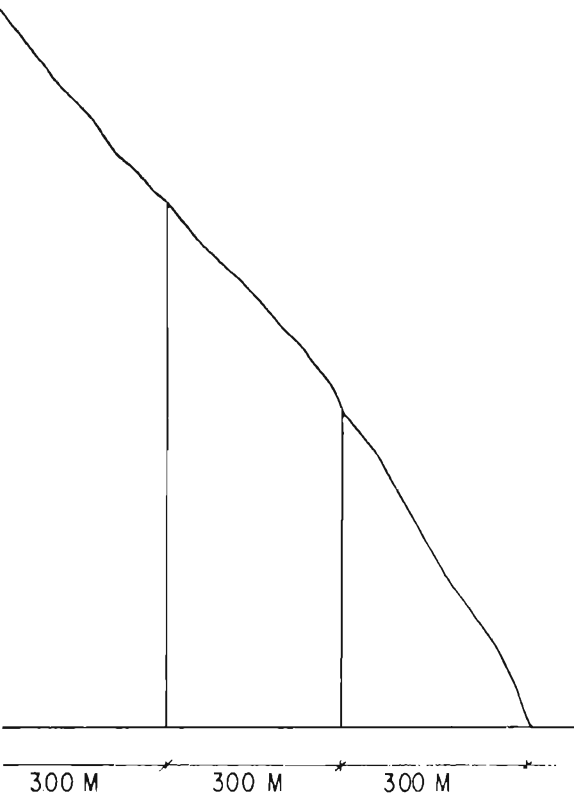
S.A.R.H. "Instructivo para exploración de pruebas de bancos de -  
roca" Ing. V. Manuel Victoria Sánchez de la Dirección de Cons -  
trucción de la Dirección General de Irrigación y Control de -  
Ríos.  
Ing. Geólogo Eduardo Del Rio Muñoz Cote de la Dirección de Geo -  
logía.

FIG ①



10.00 M  
MINIMA

LOS NUMEROS INDICAN EL ORDEN DE DETONACION

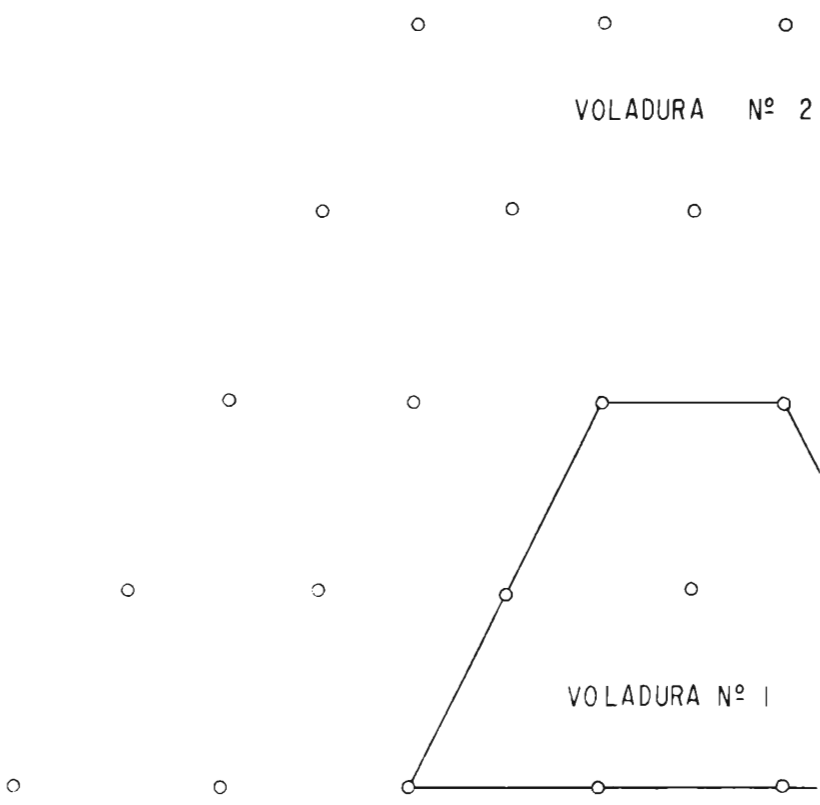


PERFIL

FIG (2)

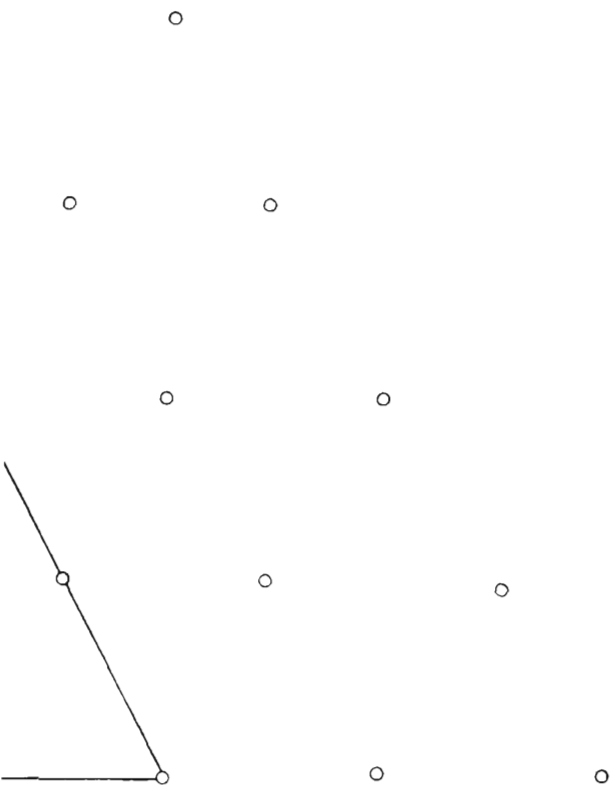
VOLADURA N° 2

VOLADURA N° 1





ESPACIAMIENTO Y CARGA  
MODIFICADOS SEGUN EXPE-  
RIENCIA DE VOLADURA N°1



Esta Tesis se imprimió en Enero de 1980  
empleando el sistema de reproducción Foto-Offset;  
en los Talleres de Impresos Offsali-G, S. A., Av.  
Colonia del Valle No. 535 (Esq. Adolfo Prieto),  
Tels. 523-03-33 y 523-21-05 México 12, D. F

Representante en San Luis Potosí: Alejandro Ramírez G.  
Quintana Roo 105 Tel. 3-04-22