

Universidad Nacional Autónoma de México

14
16A

FACULTAD DE INGENIERIA

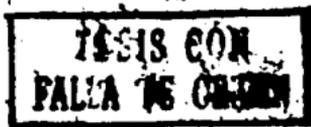
*"Estudio Geológico del Proyecto Hidroeléctrico
Itzantun Río Tacotalpa, Edo. de Chiapas"*

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
INGENIERO GEOLOGO
Presenta

EDUARDO JIMÉNEZ FERNÁNDEZ

México, D. F.



1990



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 está 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.

I N D I C E.

I INTRODUCCION.

- I.1. Generalidades.
- I.2. Antecedentes sobre el Area.
- I.3. Método de trabajo.
- I.4. Descripción general del proyecto.

II. GEOGRAFIA GENERAL.

- II.1. Localización geográfica y extensión.
- II.2. Vías de comunicación.
- II.3. Clima y vegetación.
- II.4. Población y cultura.

III. FISIOGRAFIA.

- III.1. Fisiografía.
- III.2. Hidrografía.
- III.3. Geomorfología.

IV. ESTRATIGRAFIA.

- IV.1. Grupo Caliza Sierra Madre (Cretácico Medio y Superior).
- IV.2. Formación lutitas y Margas Soyaló (Paleoceno).
- IV.3. Formación El Bosque (Eoceno)
- IV.4. Formación Mompuyil (Oligoceno Inferior y Medio).
- IV.5. Formación Simojovel (Oligoceno Superior).
- IV.6. Formación Tulijá (Mioceno).
- IV.7. Depósitos fluviales y de talud (Peistoceno).

V. TECTONICA.

- V.1. Tectónica Regional.
- V.2. Tectónica Local.
 - V.2.1. Anticlinal El Azufrito.
 - V.2.2. Sinclinal San Pedro.

V.3. Geología Histórica.

VI. OBRA CIVIL.

VI.1. Geología del cañón de Itzantún.

VI.1.1. Introducción.

VI.1.2. Estratigrafía.

VI.1.3. Estructura geológica del cañón de Itzantún.

VI.1.4. Estabilidad de Laderas.

VI.1.5. Permeabilidad del vaso e hidrogeología.

VI.2. Geología de la boquilla.

VI.2.1. Morfología y estructura.

VI.2.2. Estratigrafía.

VI.2.3. Margen izquierda.

VI.2.4. Margen derecha.

VI.2.5. Cauce del río.

VI.2.6. Falla Itzantún.

VI.2.7. Fracturamiento.

VI.2.8. Fracturamiento margen izquierda.

VI.2.9. Fracturamiento margen derecha.

VI.3. Geotécnia, obras en la boquilla.

VI.3.1. Cortina.

VI.3.2. Obras anexas.

VI.4. Exploraciones realizadas en la boquilla.

VI.4.1. Exploración superficial.

VI.4.2. Exploración del subsuelo.

VI.4.2.1. Barrenación.

VI.4.2.2. Pruebas de permeabilidad tipo-Lugeon.

VI.4.2.3. Índice de calidad de la roca.

VI.4.2.4. Recuperación.

VI.5. Geología del túnel derivador.

VI.5.1. Introducción.

VI.5.2. Morfología.

VI.5.3. Estratigrafía.

VI.5.4. Geología estructural del sitio del túnel.

VI.5.4.1. Anticlinal El Azufrito.

VI.5.4.2. Sinclinal San Pedro.

VI.6. Obras auxiliares.

VI.6.1. Introducción.

VI.6.2. Obra de toma.

VI.6.3. Túnel derivador.

VI.6.3.1. Barrenación.

VI.6.4. Pozo de oscilación.

VI.6.5. Casa de máquinas.

VI.7. Materiales de construcción.

VI.7.1. Grava arena.

VI.7.2. Arcilla.

VI.7.3. Enrocamiento.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VIII. BIBLIOGRAFIA.

R E S U M E N .

El objetivo de este trabajo consiste en determinar aquellas características o propiedades físicas de las rocas y estructuras geológicas que favorezcan o causen perjuicios a la obra hidroeléctrica por realizar en la región de Itzantún, Chis. Además en los sitios elegidos para las obras, se detectarían aquellos atributos de las rocas susceptibles a generar diversos problemas durante la construcción de dichas obras, para preparar con tiempo, la solución adecuada.

La Comisión Federal de Electricidad ha clasificado al País por su potencial hidroeléctrico, en varias zonas. El Estado de Chiapas tiene el 40%. Los Ríos Grijalva y Usumacintas son las corrientes claves de dicho potencial hidroeléctrico.

El Grijalva cuenta a la fecha con tres presas hidroeléctricas: La Angostura, Netzahualcóyotl y Chicoasén, estando las dos primeras en operación y la tercera en construcción. Dichas presas tienen usos múltiples.

El sitio del proyecto Itzantún, se localiza en el norte del Estado de Chiapas, sobre el Río Tacotalpa, afluente --

del Río Grialva. La cortina quedará empotrada en un cañón alto y estrecho, cuyas rocas se estiman resistentes a los empujes que generará el agua por almacenar. También se ha proyectado la construcción de un túnel derivador, de unos 12 km de longitud y 7.5 m de diámetro; este atravesará rocas de variadas calidades, que varían desde calizas arenosas, tenaces y de corte estable, hasta sedimentos arcilloarenosos delicados susceptibles a presentar caídos que generen sobreexcavaciones de gran magnitud, así como que deformen las dimensiones del corte.

El ensamble quedará alojado sobre el sinclinal San Pedro en donde existen condiciones ideales de impermeabilidad de las rocas que aseguran la conservación del almacenamiento, ya que en la zona de mayor carga hidráulica afloran lutitas con 800 m de espesor medio.

La casa de máquinas externa, se colocará a la salida del túnel derivador, para obtener la mayor cantidad de electricidad por metro cúbico de agua vertida.

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

I.1. GENERALIDADES.

México es un país con elevadas y escarpadas montañas. Estas montañas son modeladas por numerosos ríos jóvenes; dichos ríos labran angostos cañones que son lugares favorables para la construcción de presas hidroeléctricas.

Uno de estos relieves favorables para proyectos hidroeléctricos existe donde las altas montañas están drenadas por las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta.

La Comisión Federal de Electricidad, para su estudio; ha dividido a esta región en cuatro cuencas: La cuencia del río Usumacinta, la del río Grijalva, la del río Tulijá y la del río Tacotalpa.

La cuenca del río Usumacinta tiene una extensión de 55,700 km²; la del río Grijalva 52 500 km²; en este valor se incluye el área correspondiente a las cuencas del río Tulijá con 6 000 km² y a la del río Tacotalpa con 8 000 km².

La cuenca del río Grijalva es la más importante por su potencial hidroeléctrico. Su total aprovechamiento se ha planeado alcanzar mediante cuatro presas, la primera fué la Netzahualcoyotl, iniciada en 1960 y terminada en 1969, la cual ha empezado a generar energía eléctrica. Esta presa desde hace unos años ha venido reduciendo al mínimo las inundaciones en el Estado de Tabasco, así como irrigando numerosas hectáreas de La Chontalpa.

La segunda presa, La Angostura fué construída en 1969- a 1974 y está generando 900 MW.

La cuarta presa en proyecto es Peñitas, con una capacidad de 400 MW.

En la cuenca del Tacotalpa se construirá la obra Itzan tún con fines múltiples: generar entre 300 y 500 MW en su primera etapa; evitar inundaciones en el Estado de Tabasco y producir proteínas animales mediante la captura de peces de agua dulce.

1.2. ESTUDIOS GEOLOGICOS PREVIOS.

Los estudios geológicos del área efectuados hasta la fecha son muy pocos. Los de carácter regional confiables, son los elaborados por PEMEX; los relacionados al tema hidroeléctrico, son los realizados por C.F.E. Otros trabajos consulta-

dos, que aportaron una ayuda muy limitada, aparecen enlistados en la bibliografía.

1.3. METODO DE TRABAJO.

Los métodos que se emplearon son los siguientes:

1.3.1. PLANO FOTOGEOLOGICO.

Para su elaboración se utilizaron fotografías aéreas verticales de:

- a) DETENAL, Escala 1:50 000, marzo 1973.
- b) Aerofoto, Escala 1:75 000 , 1979.
- c) Aerotécnica Mexicana, Escala 1:25 000, 1972 por el cauce del río Tacotalpa.

La fotointerpretación geológica que se realizó, se vació a las cartas topográficas DETENAL: "Simojovel, Amatán, Sa banilla y Jitotol", con lo cual se obtuvo el plano fotogeológico básico.

Sobre el plano fotogeológico, se ubicaron las obras -- civiles, para apreciar las ventajas comparativas de los sitios elegidos o bien modificar su trazo, para proponer una alternativa con mejores características a nivel preliminar.

I.3.2. CONTROL TOPOGRAFICO Y GEOLOGICO.

Teniendo como base el plano fotogeológico, se procedió a pasar la información a los planos topográficos preliminares como son los de DETENAL Escala 1: 50 000 y GYMSA Escala 1: -- 10 000, comprobándose dicha información con estudios geológicos de campo.

Se hicieron poligonales a lo largo de toda la sierra - para poder determinar mejor su estructura geológica, para ello se levantó casi simultáneamente la geología como: rumbos y echados de: estratificación, fallas, fracturas, contactos - geológicos y espesor de las unidades.

I.4. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO.

Cortina.- Se construirá una presa de arco con desplante a 180 m.s.n.m. El NAMO estará a 430 m.s.sn.m. El NAMINO - admitido será a 390 m.s.n.m. Esta cortina tendrá una longitud de la cortina de 256 m. Estará enclavada en el macizo rocoso de Itzantún, cuya longitud desde aguas arriba hasta aguas abajo es de 500 m.

El que la cortina sea de arco obedece a que el tiempo y costo de construcción será menor que si se construye de enrocamiento.

Tunel.- Se construirá un tunel con una longitud de 12-km que atravesará la cordillera a la izquierda del embalse. - Debido al rumbo de las capas el tunel se excavará lo más perpendicular que se pueda al rumbo de anticlinal.

La obra de toma se ha proyectado a la elevación 353 m. s.n.m. Estará ubicada a 15 km al oeste de la boquilla cerca - de la colonia "La Competencia", el portal de salida y pozo - de oscilación estarán en el río Amatán afluente del Tacotal--pa.

El diámetro del tunel revestido será de 7.5 m, el gasto que llevará será de $170 \text{ m}^3/\text{seg}$ con una velocidad de 3.85 m/ - seg. Para evitar problemas de drenaje el tunel tendrá doble-pendiente.

El embalse, abarcará un área aproximada de 100 km^2 . Di-cha área está compuestas por rocas arcillosas (lutitas), las-cuales se estiman impermeables.

II. GEOGRAFIA GENERAL.

II.1. Localización (Lam. 1).

La boquilla del proyecto Hidroeléctrico Itzantún se localiza en el norte del Estado de Chiapas, muy cerca de los límites con el Estado de Tabasco. Sus coordenadas geográficas son:

17° 12' de latitud norte.

92° 41' de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

Las coordenadas geográficas del área incluyendo embalse y casa de máquinas son de:

17° 00' a 17° 22' de latitud norte, y

92° 25' a 92° 50' de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

La sierra donde se construirá el túnel derivador se -



localiza al W-NW de la boquilla de Itzantún.

II.2. Vías de comunicación.

A la zona de trabajo se puede llegar por la carretera Federal 195, que comunica las ciudades de Tuxtla Gutierrez, Chis., con la de Villahermosa, Tab., pasando por los poblados de Ixtapa, Soyaló, Bochil, Jitotol y otros. Después del poblado de Bochil existe una desviación hacia la población de El Bosque, Simojovel y Huitiupan, éste último cercano al proyecto. El recorrido total es de 150 km desde Tuxtla Gutierrez, Chis, a la boquilla.

Existen varias pistas de aterrizaje para avionetas en las poblaciones inmediatas.

II.3. Clima y vegetación.

La región tiene dos tipos de climas: Am y el (A) c -- (fm) 1'g (carta climática DETENAL). El tipo Am significa un clima cálido - húmedo con lluvias en verano, con un % de lluvia invernal entre 5 y 10% de la anual, teniendo una precipitación del mes más seco (febrero) menor de 60 mm. El tipo (A)C (Fm) 1'g es un clima semi-cálido húmedo con temperatura media anual mayor de 18°C y la del mes más frío menor de 18°C.

Debido a esta temperatura y a la gran cantidad de lluvia, la vegetación es exuberante del tipo selvático y bosque tropical, teniendo en la zona árboles de maderas preciosas como: cedro, caoba y frijolillo que se explotan.

Sobre toda la sierra se tiene un follaje espeso que dificulta la explotación geológica de la superficie.

II.4. Población y cultura.

El área de estudio incluye a los siguientes municipios del Estado de Chiapas que son: Simojovel, Amatán, Pantheló y Huitiupan.

Los grupos étnicos existentes en la región son: tzotziles y choles. Los primeros se localizan en los municipios de Simojovel, Huitiupan, Amatán y Pantheló, mientras que los choles se localizan hacia los municipios de Tila, Sabánilla y Yajalón.

Las poblaciones más importantes son: Simojovel y Huitiupan, cabeceras municipales, con 6,000 habitantes el primero y 3,500 el segundo aproximadamente.

En el municipio de Huitiupan se encuentran los poblados más afectados por el embalse, que serán indemnizados --

por la C.F.E., ayudándoles a mejorar su nivel de vida, son: El mismo Huitiupan que será cambiado de lugar a una cota más alta, colonias La Catarina, Competencia, Zacartic y un sinnúmero de rancherías, contandose 1216 casas aproximadamente las afectadas.

Su material de construcción es el siguiente:

756 casas con paredes de madera de guarumbo, techos de zacate y pisos de tierra.

354 casas con paredes de caña brava, techos de zacate y pisos de tierra.

68 casas con muros y paredes de ladrillo, techos de lámina galvanizada y pisos de cemento.

38 casas con muros y paredes de piedra unidas con mezcla de cal y arena, techo de teja y piso de cemento.

A continuación se da una lista de los bienes afectados por el embalse (Estudio Agroeconómico del Proyecto Hidroeléctrico Itzantún, Area Geología y Minería C.F.E., 1978).

I N D E M N I Z A C I O N E S .

BIENES AFECTADOS.

- 1216 casas de diferentes tipos de material.
- 24 aulas de diferentes tipos de material.
- 4 canchas de basketball (cemento).
- 9 templos de diferentes tipos de material.
- 25 kilómetros de camino de obra de mano.
- 2 puentes de losa.
- 1 puente de piedra.
- 9 puentes hamaca.
- 1 vado de piedra.
- 9763 hectáreas de tierra.
 - 4 instalaciones pecuarias.
 - 2 instalaciones metereológicas.
- 13000 plantas de café variedad bourbón.
- 4500 plantas de plátano variedad roatán y macho.
- 9200 plantas de cítricos, naranjo variedad criolla.

Que reportan un monto total aproximado de 200 millones de pesos.

III. F I S I O G R A F I A. (Lam. 2).

III.1. E. Raíz dividió al Estado de Chiapas en 6 provincias que son:

1. Planicie Costera del Pacífico.
2. Sierra Madre de Chiapas.
3. Depresión Central de Chiapas.
4. Meseta Central de Chiapas.
5. Sierras Plegadas de Chiapas.
6. Planicie Costera del Golfo de México.

1. Planicie Costera del Pacífico.

Es una franja angosta de terreno ubicada a lo largo de toda la costa pacífica del Estado de Chiapas. Se caracteriza por tener una topografía plana suavemente inclinada hacia el océano. Los ríos que bajan de la sierra Madre, cruzan a lo ancho a esta provincia y desembocan en el mar, o bien en lagunas y zonas pantanosas.

2. Sierra Madre de Chiapas.

Otros autores le llaman Sierra Cristalina. Es una cadena de montañas orientadas de noroeste a sureste, paralela a la costa del océano pacífico. Hacia su extremo noroeste - la sierra tiene una elevación promedio de 900 m.s.n.m. que aumenta hacia el sureste en la frontera con Guatemala donde tiene una altura promedio de 2,500 m.s.n.m.

La cresta de la sierra sirve de parteaguas continental. Los ríos que bajan hacia la planicie costera del pacífico son cortos y su cauce definido por una pendiente longitudinal de mayor valor que la de los ríos que desaguan en el Golfo de México.

3. Depresión Central de Chiapas.

Esta provincia es una faja de terreno que se extiende desde los límites con Guatemala, donde la elevación es de 600 m.s.n.m., hasta los límites con el Estado de Oaxaca donde la elevación promedio es de 400 m.s.n.m. En la parte noreste se encuentran mesetas inclinadas que descienden lenta y gradualmente de suroeste a noreste.

4. Meseta Central de Chiapas.

Se caracteriza por sus altas montañas con elevación -

promedio de 2 000 a 2 400 m.s.n.m. Se observa una rápida elevación en los límites con de Depresión Central y en su -- parte intermedia forma largas mesetas con la elevación ya - citada.

5. Sierras Plegadas de Chiapas.

También llamada Sierras Frontales de Chiapas. Se orientan de noroeste a sureste. La forma de estas sierras vistas en planta parecen ser largas canoas volteadas. En esta provincia corren rios caudalosos que forman angostos cañones - con sierras altas y largos valles, los cuales pueden ser aprovechados para proyectos hidroeléctricos.

6. Planicie Costera del Golfo de México.

Se caracteriza por una llanura de gran extensión donde los rios Grijalva y Usumacinta escurren en cursos divagantes, con una velocidad baja y alto contenido de arcillas en suspensión. Tambien contiene pantanos, lagunas y lagos - (cursos abandonados y charcos por derrame de avenidas).

III.2. Hidrografía. (Lam. 3).

El área de estudio se subdividió en 7 unidades hidrográficas las cuales se describen a continuación.

UNIDAD "A".

Se caracteriza por un modelo de drenaje no integrado en el cual los arroyos tienden a ser de forma radial centrífeta. Dichos arroyos evolucionan a subdivisiones dentríficas que desembocan en dolinas.

Esta unidad tiene modelos típicos de corrientes que no se han separado en subdivisiones y solo se mencionarán ejemplos típicos:

a) Modelo de drenaje en el cual un arroyo se pierde en una dolina (fig a-1), aquí dicho arroyo tiene bien labrado su cauce. Este se nota claramente por las entrantes angulares de las curvas de nivel. Otros tributarios radiales no tienen bien labrado su cauce, sólo tienen surcos sobre el suelo por lo cual las curvas de nivel no muestran sus entrantes y salientes.

(carcavas) corrientes que apenas afectan al suelo.



corrientes que han labrado surco.

Fig. a-1.

Otro ejemplo más evolucionado es aquel donde una corriente se ha ramaleado. (fig. a-2)



Fig. a-2.

b) Es un modelo de drenaje más evolucionado que el anterior, en donde la corriente principal es arborescente.



Fig. b-1.

c) Modelo de drenaje en el cual se tiene una corriente principal larga de curso anguloso con afluentes arborescentes. (Fig. c-1).



Fig. c-1.

d) Este modelo de drenaje se incluyó en la unidad A -

ya que su perfil longitudinal parece indicar que son corrientes arborescentes que desembocan hacia una dolina, la cual a su vez fue capturada por las corrientes de las unidades adyacentes. (fig. d-1).

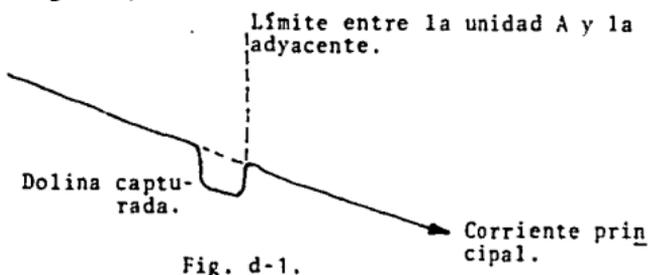


Fig. d-1.

e) Este modelo es de drenaje más complejo y evolucionado que los anteriores, en donde las corrientes principales son rectangulares y terminan en una dolina. (fig. e-1).

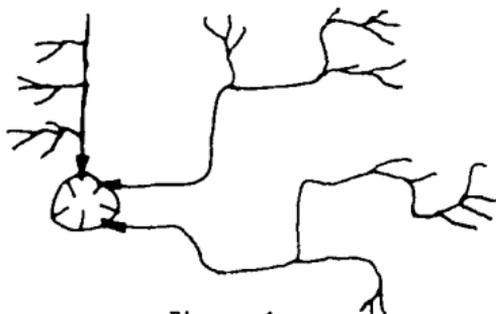


Fig. e-1.

Este tipo de drenaje no afecta al embalse ni a las obras civiles. Es la que tiene las dolinas más grandes y por lo tanto se infiere más permeabilidad.

UNIDAD "B".

Las corrientes principales son paralelas con surcos sinuosos y sus márgenes son aproximadamente simétricas, los afluentes medianos son dendríticos y en menor proporción enrejado. La cantidad de arroyos es más o menos uniforme, aunque en el río San Pedro, donde se encuentra el portal de entrada del túnel es un poco más denso que el río Tacotalpa inmediato al noreste.

El significado de este modelo es que la roca sobre la que se delimitó a esta unidad hidrográfica es resistente a la erosión y poco permeable.

UNIDAD "C".

Esta unidad se encuentra al oeste de Simojovel y corresponde a una pequeña unidad en la cual se tiene un modelo de drenaje angular, cuyos afluentes tienen la forma de pluma de ave. (fig. 1-C).

Interpretación. Este modelo se ha desarrollado sobre una unidad de rocas en la cual se alternan gruesas capas resistentes a la erosión con delgadas capas blandas y todo el paquete está inclinado en sentido del escurrimiento medio de los tributarios mayores.

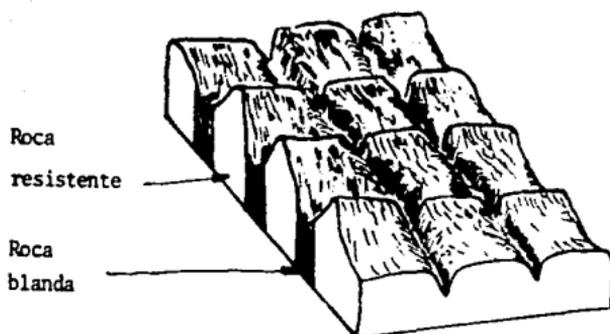


Fig. 1-C.

UNIDAD "D".

Modelo de drenaje dendrítico en donde los afluentes - que convergen en la corriente principal tienen la tendencia a concertarse en lugares específicos, es decir, tienden al radial concéntrico (fig. 1-D). El número de arroyos por centímetro cuadrado muestra asimetría, pues en una de las márgenes, los tributarios menores son muy abundantes y tienden a converger en un punto, mientras que en la otra margen los arroyos son subparalelos con un bajo número de éstos, conteniendo tributarios no integrados al sistema fluvial.

Este modelo de drenaje manifiesta el desarrollo de una estructura geológica de tipo sinclinal. por lo cual los tributarios tienden a converger hacia la corriente principal y en las zonas radiales se localizaría el buzamiento de la es---

estructura. Las partes con un gran número de tributarios menos corresponde al área de rocas blandas e impermeables. -- Los puntos donde convergen corresponden a cambios litológicos y las zonas con modelo subparalelo corresponden a rocas resistentes y medianamente permeables.

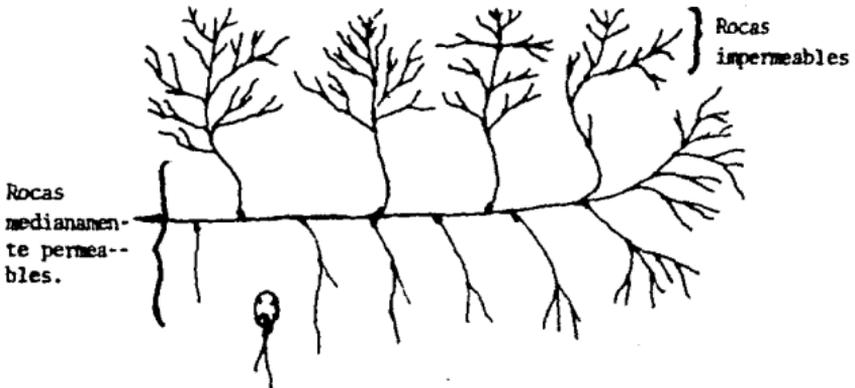


Fig. D-1.

Al sur de la zona de estudio se encuentra también el modelo de drenaje dendrítico. Aquí se tienen tributarios arbolados que descienden hacia el río principal.

Se interpreta como unidad poco permeable correspondiendo a un solo tipo de litología, la cual es resistente a la erosión.

UNIDAD "E"

Es un modelo de drenaje anular. Al suroeste de Pueblo

Nuevo las corrientes mayores tienen la tendencia a formar a nillos es decir a escurrir en cursos en forma de arcos de - círculos (a). Los afluentes menores tienen un curso radial-divergente (b) y algunas de estas ramas individualmente son dendríticas (c). El número de arroyos por centímetro cuadra do es frecuentemente igual o mayor que el de la unidad A y - B, los escurrideros (afluentes menores) son de una longitud corta.

Este modelo se ha labrado en rocas impermeables y es-
 tructuras en formas hemisféricas (dómic), de tal manera --
 que al erosionarse la parte superior , la corriente escorre-
 en el contacto de la media superior erosionada en (fig 1)
 la inferior. Estas estructuras se dan en rocas volcánicas -
 impermeables.



Fig. E-1

UNIDAD "F".

Las corrientes principales tienen cursos poligonales,

es decir, tramos rectos que bruscamente cambian de dirección los afluentes secundarios confluyen en ángulos rectos y con cambios bruscos de dirección, los tributarios menores tienen confluencias angulares y en ocasiones rectangulares, -- formando pequeñas áreas en enrejado.

El modelo se interpreta como desarrollado en una roca resistente a la erosión, pero controlado por sistemas de -- fracturas regionales y locales. También está controlado por estratos de diferente naturaleza. Por lo tanto, este sistema en la parte media del tunel derivador junto con un pequeño representante de la unidad A pueden generar problemas de inestabilidad y presencia de agua subterránea.

UNIDAD "G"

Las corrientes subprincipales se encuentran alineadas y desembocan en la corriente principal que es el río Chacté. Dicho río forma meandros muy sinuosos con cambios bruscos de dirección. Los tributarios tienen confluencias angulosas en una unidad intermedia entre el arborescente y el pluma--ave.

Este modelo se desarrolló en diferentes tipos litológicos de rocas, también por sistemas de fracturas regionales y locales. Este sistema no generará problemas para las-

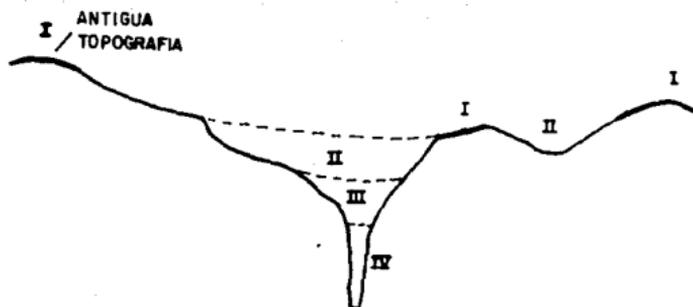
obras ni para el embalse, al contrario lo beneficiará ya que sus tributarios corren hacia una corriente principal central y la unidad se considera impermeable. Se manifiesta el modelo como una estructura geológica de tipo sinclinal, donde los tributarios convergen hacia una corriente principal.

III.3. GEOMORFOLOGIA.

En la zona del proyecto se encuentran presentes las siguientes estructuras morfológicas.

Sierra de Simojovel y Sierra de la Pava; son paralelas, presentan un rumbo general E - W, con elevaciones hasta de 1,600 m.s.n.m. que descienden hasta su correspondiente valle, con una pendiente aproximada de 100% por lo que tienen forma de "V". Están compuestas por rocas de diferente dureza, predominando las areniscas y las lutitas, por lo que se forman en la laderas triangulares. En general se observa una morfología en etapa de juventud.

VALLE DE SIMOJOVEL. - Está delimitado por las sierras anteriores, por lo que se tiene un valle alargado de cerca de 50 km. en etapa de juventud, constituido por rocas impermeables; sobre este valle corren los ríos San Pedro (de poniente a oriente) y Tacotalpa o Chacté (de oriente a ponien



ETAPA I. El río tiene un curso de gran amplitud y deja testigos de - antigua topografía.

ETAPA II El río forma dos cauces.

ETAPA III El río erosiona en un solo - cauce.

ETAPA IV Hay un fuerte levantamiento - del cuerpo calcáreo, existiendo una rápida erosión de la - roca por parte del río.

te). Son casi rectos con meandros en inicio de desarrollo, quedando ubicada la boquilla cerca de su confluencia. Sobre el valle quedará alojado el embalse de este proyecto.

BOQUILLA.- La morfología actual de la boquilla, es el resultado del continuo trabajo erosivo que ha efectuado el río sobre el macizo calcáreo. Los efectos fluviales han sido de diferentes intensidades, lo que nos ha dado varias formas del relieve. El continuo levantamiento del bloque ha dado origen a varias etapas de erosión de largo y variado efecto fluvial, lo que dió como resultado a cuatro etapas de erosión, las cuales tienen diferentes relaciones de velocidad y erosión.

La etapa inicial consiste: en una antigua topografía donde las partes más elevadas se encuentran en forma de domos, señalando ésto una zona estable, en donde el río tenía un curso de gran amplitud.

La segunda etapa tiene dos cuencas o zonas por donde fue posible que el río corriera. Aquí la velocidad lateral de erosión fluvial es mayor que la velocidad de erosión vertical.

En la tercera etapa, existe un levantamiento del cuerpo calcáreo más rápido que en los anteriores, siendo la ve-

lidad vertical de erosión fluvial, igual o mayor que la -
velocidad lateral.

Entre la cuarta etapa hay un brusco levantamiento del
bloque, en donde la velocidad de erosión vertical es mucho-
mayor a la lateral.

En las dos primeras etapas, la erosión actuó en la --
Formación superior (Simojovel) la cual fue erosionada por -
completo. El río también erosiona a la Formación Mompuyil y
deja unos testigos de antigua topografía (etapa inicial) exis --
tiendo una mayor erosión en la segunda etapa. En estas dos
etapas la erosión no actuó o se concentró sobre un sistema-
de fracturamiento ni sobre planos de estratificación, pero-
ya en la siguientes etapas (3 y 4) es probable que la ero--
sión fluvial haya estado influenciada (no necesariamente) -
por algún sistema de fracturamiento. Esto se puede notar en
el curso del río, ya que dicho río cambia de rumbo, es de--
cir primeramente tiene un rumbo norte sur, luego al noreste
y al final otra vez vuelve a ser norte sur. Aunque el río -
necesariamente tendría que haber pasado en el cañón, en es-
ta última etapa al parecer a seguido zonas de fracturas y -
planos de estratificación. Podemos también decir que, las -
fracturas en esta parte son de una intesidad de 80° a 90° ;-
es decir subverticales y verticales.

IV. E S T R A T I G R A F I A. (Lam. 4).

En el área de estudio, la secuencia aflorante corresponde a los sistemas: Cretácico, Terciario y Cuaternario. A continuación se describe dicha secuencia estratigráfica.

IV.1. SISTEMA CRETACICO.

Grupo: Caliza Sierra Madre:

Definición. El nombre original de la Caliza Sierra Madre fue dado por Bosse en 1905, cuya litología corresponde a un paquete de calizas litográficas en parte dolomitizadas.

Litología y Sedimentología. Este grupo está constituida por calizas-litográficas con nódulos de pedernal y algunas intercalaciones de calizas dolomitizadas, de estratificación delgada a gruesa, de color café claro a oscuro - que intemperiza a café parduzco. La roca es resistente a la erosión y bastante tenaz. Se caracteriza por presentar abun

dante carsicidad. Contiene fósiles como *Caprina* sp, y *Touca* *sia* sp, encontradas al noreste de Cintalapa.

Por sus caracteres litológicos y faunísticos, se le ha considerado de un ambiente de depósito marino de plataforma somero.

Distribución, Espesor y Edad.- La caliza Sierra Madre es una de las más ampliamente distribuidas en el Estado de Chiapas. En el área de estudio, aflora al NE de la boquilla, cerca de la población de Teapa Tab. Al oriente solo -- aflora en una pequeña porción; mientras que hacia el Sur se expone en una extensión bastante considerable.

Al embalse y a las obras de construcción esta Formación no las afecta, puesto que no se trabajará en ella.

Su espesor no se midió por aflorar alejada de la zona de estudio, pero en área vecinas se le ha estimado un -- espesor de 800 a 1150 m.

La edad que se le ha asignado a este grupo, por su litología, posición estratigráfica y contenido faunístico es: Cretácico Medio y Superior.

IV.2 SISTEMA TERCIARIO

Paleoceno

Formación: Lutitas y Margas Solayó.

Definición.- La localidad tipo de esta Formación se encuentra en el poblado de Soyuló del cual toma su nombre - (informes inéditos de PEMEX) y corresponde a sedimentos derivados de un antiguo continente cercano (Lutitas y Margas) depositados en aguas someras.

Litología y Sedimentología.- Está representada por una alternancia de lutitas y margas, donde las lutitas se encuentran en capas laminares, son blandas y físisles; varía su color del gris oscuro al gris verdoso con ligeros tintes cafés, intemperizan en café oscuro, Las margas se encuentran en estratos de 3 a 30 cm de espesor, de color gris verdoso, son tenaces a muy tenaces. Se le intercalan algunos delgados cuerpos de calcarenita del mismo color que las margas.

Por su litología se ha considerado que estos sedimentos se depositaron en un ambiente de aguas someras, donde los mares iniciaban una retirada.

Distribución, Espesor y Edad .- En el área de estudio ésta Formación aflora al NW de la boquilla en el Estado de Tabasco; al SW de la zona, hacia la población de Soyatló; al NE de la zona, cerca de donde estará en tunel derivador, aflora en una pequeña porción, y al S y SE de la zona, aflora en una extensión de regulares dimensiones.

Esta Formación será cortada por el tunel derivador, solo en una pequeña porción. Se esperan problemas de excavación solo en las lutitas ya que las margas son mas resistentes y por lo tanto de mejor calidad para trabajar con ellas, aunque es probable que existan problemas por deslizamientos de bloques a lo largo de los planos de estratificación en donde se concentra arcilla.

Se correlaciona hacia el NE y SE con las calizas sin Nombre del Paleoceno, las cuales son arcillosas.

Sobreyace concordantemente a la Formación Caliza Sierra Madre del Cretácico Superior y subyace discordantemente a la Formación El Bosque del Eoceno.

La edad que se le asigna a esta Formación debido a su posición en la columna estratigráfica es del Paleoceno.

IV.3. Eoceno.

Formación: El Bosque.

Definición.- Bosse en 1905 observó una secuencia de areniscas, lutitas y limolitas. El Ingeniero Luis Benavides en 1948 la observó al sur de Palenque y determinó su edad del Eoceno Medio y Superior. El nombre aceptado fué dado -- por el Ingeniero López Vega en 1962, para rocas que afloran en el área de Simojovel, Chis.

Litología y Sedimentología.- La Formación El Bosque está constituida por una serie alternante de limolitas, lutitas, areniscas y en ocasiones conglomerados polimicticos.

Las areniscas son de color gris verdoso y café rojizo, de grano medio a grueso, en muchas partes se vuelve conglomerática.

La fracción conglomerática está constituida por clásticos de tamaño de gravas derivadas de rocas igneas volcánicas ácidas, granitos y gneisses. El tamaño de las partículas varía de 2 a 5 cm. de diámetro mayor y son subangulosos y subredondeados. Estos sedimentos gruesos están incluidos en una matriz arcillo-arenosa, con valores variables de tenacidad, desde la que se rompe con dificultad al golpe del-

martillo hasta la que se desmorona.

Las areniscas contienen abundantes fragmentos de rocas riolíticas, cristales de cuarzo y feldespato; son micáceas (muscovita). Sus estratos varían de 5 a 20 cm. de espesor, mismo para una capa que se conserva casi invariable por longitudes de varios cientos de metros, en otras secciones una capa puede cambiar rápidamente de espesor en donde la sección tiene estratificación cruzada. Alterna con lutitas y limolitas de color gris verdoso y rojizo llegando en ocasiones a un color violeta, siendo también estas micáceas. Se presentan en estratos de 10 a 40 cm. de espesor con estratificación cruzada.

Su composición litológica nos indica un ambiente delitoral debido a los levantamientos en el continente.

Distribución, Espesor y Edad.- En el área de estudio está Formación aflora al NW de la boquilla sobre el río Amantán, así como al NE de la misma sobre la falla Itzantún y al sur del poblado del mismo nombre (El Bosque). Dicha Formación será cortada por el túnel derivador y se espera encontrar problemas de estabilidad por lo que se tendrá que ademar después del corte.

Sobre la sierra donde quedará el túnel derivador se-

la ha calculado un espesor de 600 m.

Descansa discordantemente sobre las calizas arcillosas del Paleoceno y dada su posición estratigráfica se le asigna una edad del Eoceno Medio y Superior.

IV.4 Oligoceno Inferior.

Formación Mompuyil.

Definición.

La formación Mompuyil tiene su localidad tipo al norte de la zona de estudio en la población de Mompuyil en el estado de Tabasco. Su litología esencialmente es un paquete de calcarenitas y calizas biógenas.

Litología y Sedimentología.

La formación Mompuyil está constituida por calizas biógenas de estratificación gruesa a masiva, de color gris-cremoso que intemperiza a café amarillento. Se observan abundantes ostreas con tamaño de 5 a 10 cm, conteniendo además gran cantidad de foraminíferos (lepidociclinas). Contiene también calizas microcristalinas, calcarenitas y calizas biógenas algo arcillosas del mismo color. Son bastante te-

naces y resistentes a la erosión. Se le observan ligeros rasgos de disolución. Sobre este cuerpo calcáreo se ubica el proyecto hidroeléctrico Itzantún.

Por los fósiles encontrados y por su microfauna, se le considera de un ambiente marino de poca profundidad.

Distribución, Espesor y Edad.

Esta formación se encuentra distribuída ampliamente en la zona norte del Estado de Chiapas y en el Estado de -- Tabasco. En el área de estudio aflora en el horst de Itzantún, en el sitio en que se empotrará la cortina. Aflora -- también al NW y NE de la boquilla, en el anticlinal El Azufrito y el sur cerca de la población El Bosque.

Se correlaciona al norte en el Estado de Tabasco con la Caliza Macuspana donde al parecer es la misma.

Su espesor completo no ha podido medirse por encontrarse afallado sobre el flanco del anticlinal y en la misma boquilla, pero se le considera un espesor aflorante de 600 m.

Sobreyace discordantemente a la Formación El Bosque y subyace concordantemente a la Formación Simojovel del Oli

goceno Medio y Superior.

Por su posición estratigráfica y por su microfauna - estudiada en láminas transparentes de roca, se le asigna -- una edad del Oligoceno Inferior.

IV.5 Oligoceno Medio y Superior.

Formación Simojovel.

Definición:- La localidad tipo de ésta Formación se encuentra en el poblado de Simojovel, Chis. (informes inéditos de PEMEX). Su litología consiste en una secuencia alterna de areniscas, lutitas y calcarenitas biógenas.

Litología y Sedimentología.

La Formación, está constituida por una alternancia - de lutitas, areniscas, calizas biógenas, las cuales tienen diferentes propiedades físicas.

Las lutitas son algo arenosas con colores que van -- desde el gris verdoso, gris azulado hasta el café rojizo, - el espesor de los estratos de lutitas varía de 0.50 a 3 m;- es muy plástica, erosionable y fisil. En algunas partes se observan intercalaciones de limolitas de color rojizo.

Este cuerpo por su inestabilidad se tendrá que ademar en la zona del tunel derivador.

Las areniscas son de color gris claro con tintes amarillentos que intemperiza a cafe amarillento. Contiene fragmentos de rocas volcánicas ácidas, cristales de cuarzo, feldspato y hojuelas de muscovita; el tamaño de sus granos es de medio a grueso, Contiene además ambar, así como láminas y lentes de carbón. Los estratos de esta arenisca varían de 1 a 4 m, de espesor el cual se conserva por varios cientos de metros, también se le nota una ligera estratificación graduada y cruzada. Es porosa y sus espacios intergranulares están rellenos por materia arcillosa y carbonato.

En algunas partes ésta arenisca se vuelve conglomerática de color cafe a violeta en estratos de 2 a 3 m. de espesor, sus granos son del mismo material que la arenisca.

La arenisca será cortado por el tunel y puede acarrear problemas de agua, sobre todo en los contactos con otras rocas, por lo que se tendrá cuidado al trabajar en ella.

Las calizas son biógenas de color gris oscuro a gris claro, intemperizan a cafe amarillento y crema, su estratificación es gruesa y ondulante de 1 a 3 m, de espesor con

estructura nodular; se observa poca disolución a través de sus fracturas y planos de estratificación. En una parte las fracturas están selladas por calcita. En la parte superior de esta Formación se observan horizontes coralinos incluidos en la caliza biógena.

La caliza es resistente a la erosión, tenaz y de corte estable. Se espera que a profundidad la roca sea de buena calidad para cuando sea excavado el tunel.

Los variados cambios de litología encontrados en esta Formación nos indican que el continente sufría una serie de pulsaciones (levantamientos y hundimientos) que se manifestaron por regresiones y transgresiones de la costa con predominancia del primero.

La línea de costa se encontraba muy cercana, dando por resultado un tipo de ambiente deltáico. Este tipo de ambiente incluye también a playas, barreras, cauces de ríos, llanuras de inundación, pantanos y depósitos nerfíticos, comprobándose esto con las capas de carbón y ambar encontrados en las areniscas.

Distribución, Espesor y Edad.

Esta formación se encuentra ampliamente distribuida

en la zona de estudio. Cubre casi en su totalidad al anticlinal El Azufrito, se extiende aguas abajo y arriba de la boquilla y al NW y SE de dicho anticlinal.

El espesor estimado de esta Formación es de 2,750 m.

Debido a su posición estratigráfica, a esta Formación se le asigna una edad de Oligoceno Medio Superior.

IV.6 Mioceno

Formación Tulijá.

Definición.- Se le asigna el nombre de Formación Tulijá a una secuencia de lutitas y areniscas (informes inéditos de PEMEX) las que se localizan en los sinclinales y valles alargados de casi toda la secuencia sedimentaria de Simojovel, formando un paquete sedimentario impermeable --- ideal para el almacenamiento de agua.

Litología y Sedimentología.

Litológicamente es una serie alternante de lutitas y areniscas, las cuales se describen a continuación:

Las lutitas son de color gris verdoso y gris oscuro-

con estratos de 3 a 30 cm. de espesor, intemperiza a café claro y ocre; es impermeable y fisil.

Estas lutitas se encuentran cubriendo casi todo el embalse, siendo una buena roca para ocupar el fondo de los almacenamientos de agua.

Las areniscas son de color gris claro a café grisáceo, en ocasiones violeta, que intemperiza a un color más claro que el de la fractura fresca, produciendo a la roca por este intemperismo un descascaramiento. El tamaño del grano de esta arenisca varía de medio a grueso, estos son fragmentos de roca volcánica ácida y cuarzo. La estratificación es de 0.20 a 3 m, de espesor. Es una roca porosa y de una permeabilidad media por su matriz algo arcillosa.

En la obra de toma, el túnel cortará a esta roca en los primeros metros, por lo que, la roca estará alterada y tendrá que ser revestida.

Contiene también estructuras primarias como rizaduras y surcos de corrientes con intercalaciones de lutitas gris verdosas y gris oscuras con pequeñas laminaciones de carbón. Presenta algunas zonas lenticulares de conglomerados finos en donde los guijarros tienen diámetros de 3 a 10 mm.

El tipo de estratificación es graduada y cruzada.

Por el contenido de material arenoso, por los lentes de carbón y de conglomerados así como por las estructuras primarias encontradas en esta Formación podemos suponer que; estos cuerpos se depositaron en un ambiente de litoral.

La estratificación graduada y cruzada entre las areniscas y las lutitas, así como en litología, permiten definir una estructura mayor de tipo deltaica.

Distribución Espesor y Edad.

En el área de estudio se encuentra distribuida a lo largo del sinclinal San Pedro, aguas arriba de la boquilla; hacia aguas abajo, se distribuye sobre el río Tacotalpa. -- Por lo general esta Formación se encuentra en los valles y depresiones formando mantos impermeables. El espesor que se le asigna a esta Formación es de 800 m.

Sobreyace concordantemente a la Formación Simojovel del Oligoceno Medio y Superior y subyace discordantemente a los depósitos de talud y aluvión del Reciente. Por lo anterior se le asigna una edad del Mioceno.

IV.7 SISTEMA CUATERNARIO

Depósitos de Talud, Aluvi6n y Suelos.

Estos dep6sitos se consideran de edad del Plioceno - al Reciente. Los dep6sitos de Talud son depositados al pie de las elevaciones del terreno. Con frecuencia estan cubiertos por gruesas capas de suelo y en los cauces, por los sedimentos fluviales.

Los dep6sitos de aluvi6n son acarreados por los r6os; son gravas de caliza y arenas sueltas de cuarzo, les cuales forman bancos, islotes y playones. Se consideran de edad - Reciente.

Sobre los r6os San Pedro y Chacte se tienen dep6sitos de gravas y arenas de r6os de 2 m. de espesor y de 100- a 200 m, de longitud, los cuales est6n cubiertos por una capa de suelo residual arcilloarenoso

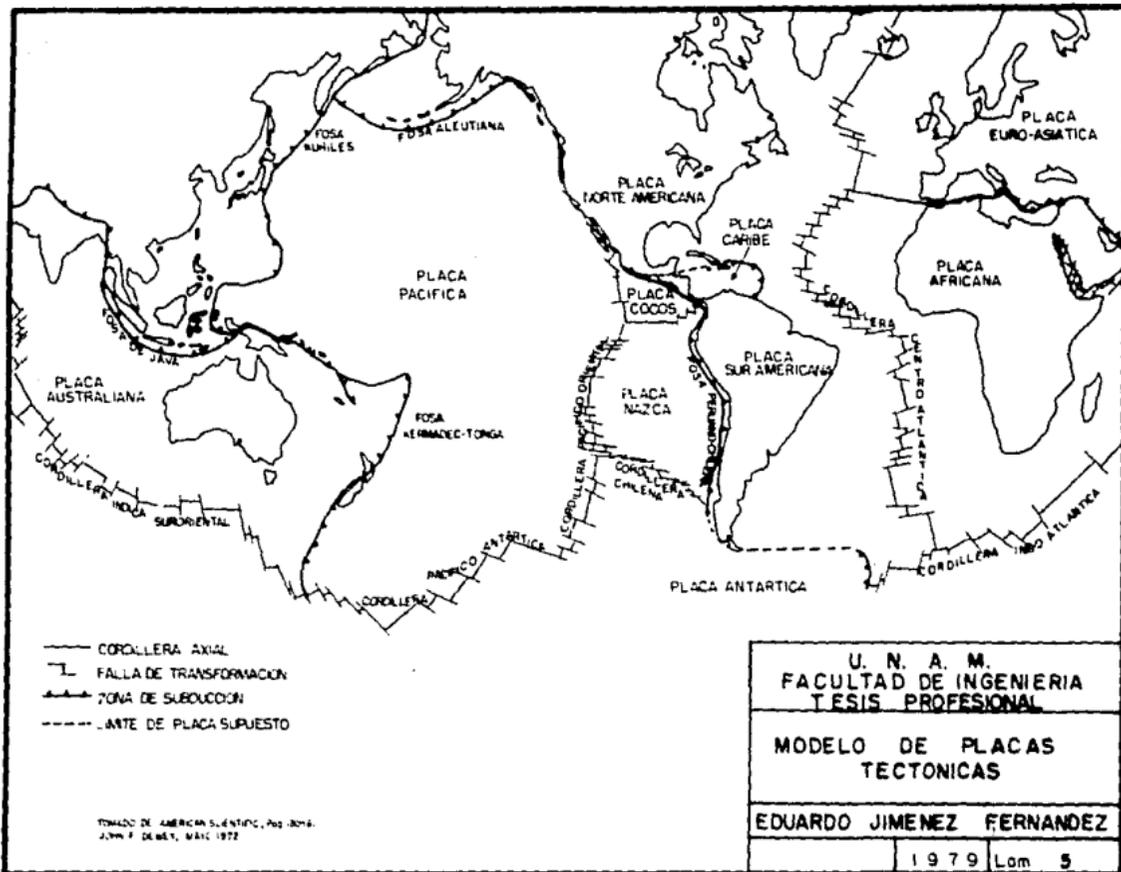
CAPITULO V

TECTONICA

V.1. TECTONICA MUNDIAL (Lam 5)

Podemos diferenciar en la litósfera terrestre a una serie de placas de gran extensión, las cuales, de acuerdo con la teoría de la tectónica de placas se encuentran en constante movimiento relativo. Dicho movimiento es originado por corrientes de convección provenientes del interior del Manto, produciéndose celdas convectivas a lo largo del manto, las que a su vez generan, celdas convectivas a lo largo de toda la litósfera.

Por lo anterior, en algún lugar de la corteza terrestre se debe originar un nuevo fondo oceánico, mientras que en otros sitios el fondo se debe sumergir y destruir. En el primero de los casos; en las cordilleras axiales meso-oceánicas, como la cordillera centro Atlántica, se genera nuevo fondo oceánico a través de grietas tensionales ocasionadas



nada por la separación de placas. Este material proveniente del manto superior sufre cambios simétricos de polaridad (según el campo magnético existente en ese tiempo) a uno y otro lado de la sutura o centro de la cordillera axial, dando por resultado que el material del fondo oceánico mientras más retirado se encuentra del centro de la sutura más antiguo será.

Con respecto a lo segundo, se puede decir que: mientras que en algunos lugares se está continuamente renovando el fondo oceánico, en otro sitio tiene que estar absorbiendo, de otra forma, la tierra crecería enormemente en pocos años. Así pues, existen zonas donde los materiales más pesados (simáticos) se sumergen debajo de los materiales más livianos (síálicos) produciendo largas fajas donde las placas convergen; cuya expresión superficial corresponde a depresiones profundas largas y angostas como la trinchera Peruana-Chilena, paralela a cadenas de montañas altas, largas y angostas como los Andes.

Existe un tercer tipo de límite de placas que es donde éstas se deslizan unas con respecto a otras, sin que alguna de estas placas gane o pierda corteza oceánica. A este tipo de límite de placas se le denomina Conservativo como ocurre en la falla de San Andrés en el Golfo de Baja California y la costa pacífica de los Estados Unidos de Norte

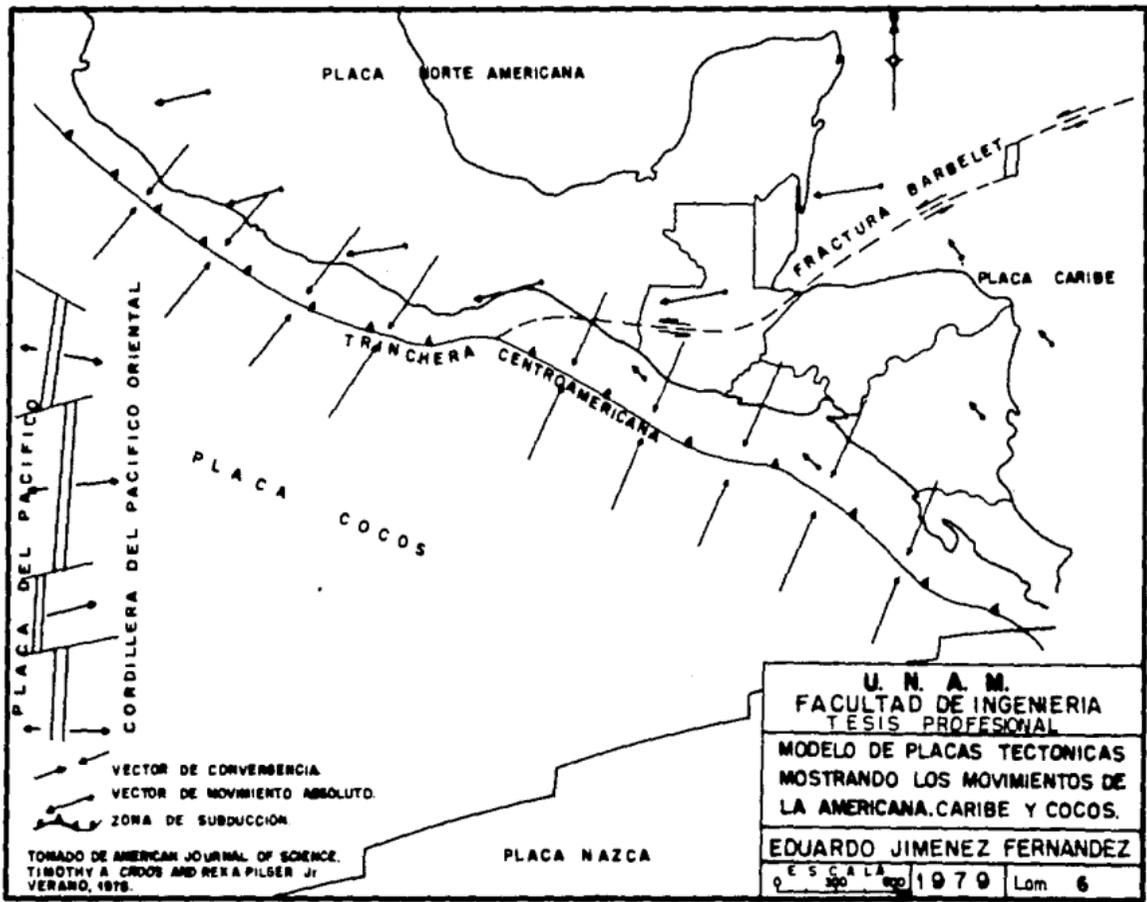
américa.

El cuarto tipo de límite de Placas es donde los continentes siálicos, chocan el uno con el otro por desaparición del fondo oceánico debajo de una placa siálica, formando así una colisión de placas siálicas. A este tipo de límite de placas se le denomina Destructivo, como ejemplo tenemos a la cadena montañosa de Himalayas. (Lam. 5)

V.2 Tectónica Regional.- (Lam 6)

Nuestra zona de estudio se encuentra ubicada en la región sur suroeste de la placa continental Norteamericana- (Dewey 1972, p 181-182) cerca de la placa de Cocos (ubicada al oeste y suroeste de la anterior). Dicha zona está afectada por los movimientos de la placa Norteamericana sobre la de Cocos y Pacífico. La placa Norteamericana tiene un movimiento absoluto hacia el oeste, la placa de Cocos tiene un movimiento relativo al noroeste. (lam No. 6).

Las investigaciones realizadas por diferentes autores (Minster y otros 1974 y Jordan 1975. Timothy A. Croos y -- Rex A. Pilger Jr. 1978) dieron por resultado que, de las anteriores placas solo la del Caribe permanece prácticamente estacionaria estando marcado claramente al límite de placa en una zona de debilidad conocida con el nombre de Fractura



U. N. A. M.
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 MODELO DE PLACAS TECTONICAS
 MOSTRANDO LOS MOVIMIENTOS DE
 LA AMERICANA, CARIBE Y COCOS.
 EDUARDO JIMENEZ FERNANDEZ
 ESCALA 1:200 1979 Lam 6

Barbelet. Esta fractura está constituida por un conjunto de fallas, entre ellas el sistema Pochic-Motagua en Centroamérica, el cual tiene una dirección preferencialmente de este a oeste y penetra en México por el sur del Estado de Chiapas cerca de la población de Motozintla, siguiendo hacia el pacífico hasta terminar en la trinchera centroamericana.

En el sureste de México, el sistema Polochic-Motagua está representado por el sistema San Cristobal, Hixtan y Chicoasén que presentan una dirección sensiblemente Este-Oeste, es decir, casi paralelas a las estructuras geológicas que se localizan en las cercanías del límite entre las placas Norteamericana y Caribe.

En la placa Caribe se ponen de manifiesto desplazamientos horizontales hasta de 50 km. en el sistema Polochi-Motagua (Guzmán 1976, Romero M. 1977 Tesis Profesional), mientras que el de Chicoasén tiene como máximo 4 km.

V. 3 Tectónica local. (Lam. 7)

Al término de los depósitos miocénicos sobre las fosas, viene un plegamiento originado por el choque de la placa de Cocos con respecto a la de Norteamérica. Los esfuerzos provenientes del noreste (placa Norteamericana) encontraron unas capas calcáreas en el Antiplano de Chiapas, con --

las que se formaron sierras Frontales o Plegadas de Chiapas, con una dirección noroeste-sureste.

Inmediatamente después del plegamiento, se inicia un fallamiento de tipo inverso, originado por los mismos esfuerzos anteriormente citados. Dicho fallamiento es de este a oeste sobre los ejes de los anticlinales cuyo rumbo es de SE a NW.

V.3.1 Anticlinal "El Azufrito".-

El anticlinal El Azufrito forma parte de lo expuesto anteriormente. Se orienta de noroeste a sureste; en su núcleo afloran las calizas Cretácicas del grupo Sierra-Madre. Hacia el noroeste, la sierra se eleva a 1600 m.s.n.m. y tiene una zona de debilidad exactamente en el cañón de Itzantún. Al suroeste del anticlinal, la elevación de la sierra llega hasta los 2000 m.s.n.m. y aflora en su eje partes de las Formación El Bosque y Mompuyil estando sobre los flancos la Formación Simojovel.

El anticlinal es asimétrico, con el plano axial inclinado hacia el SW pues la inclinación de las capas es de 55° a 75° en su flanco SW, mientras que los echados son menos intensos de 25° a 35° en el flanco NE. Este anticlinal se encuentra afectado por varias fallas que lo atraviesan -

en diferentes direcciones.

Al SE del anticlinal donde quedará alojado el embalse, las capas tienen una intensidad de 50° a 70° al SW.

V.3.2 Sinclinal San Pedro.

Este sinclinal se encuentra enclavado sobre rocas -- Miocénicas y Oligocénicas de la Formación Tulijá y Simojovel respectivamente con depósitos del Pleistoceno y Reciente sobre los ríos San Pedro, Cucul6 y Tacotalpa.

Dicho sinclinal corre con una dirección de NW a SE-- estando sus capas orientadas con el rumbo anteriormente citado y con una intensidad de 15° a 35° hacia el SW, en el flanco compartido con el anticlinal El Azufrito. En la colonia La Competencia, Mazantic y el poblado de Huitiupan, - hay magnitudes de echados similares a las indicadas pero en rumbo opuesto, por lo que el sinclinal es simétrico'

Este sinclinal tiene una longitud de 50 km. con una altura sobre el nivel del mar de 220 a 300 m.

V.3 GEOLOGIA HISTORICA.

La reconstrucción de la geología histórica del área-

se inicia a partir del Cretácico Medio, cuando los mares -- transgresivos, de poca profundidad, cubrieron grandes áreas incluyendo a la plataforma de Yucatán y al macizo de Chiapas, dando lugar a que se depositaran rocas carbonatadas -- del Grupo Sierra Madre, en un ambiente de depósito de plataforma la mayor parte del área y condiciones de cuenca en -- otras áreas de menores dimensiones.

A fines del Cretácico y principios del Terciario la placa Norteamericana cabalga sobre la Pacífica produciendo un levantamiento del fondo marino, lo cual a su vez hizo -- que los mares iniciaran una regresión con pequeñas transgresiones hacia el norte. Al mismo tiempo que esto sucedía, -- se depositaban en casi todo el Estado de Chiapas sedimentos arcillosos y calcáreos sin interrupción, mientras que -- al noroeste del mismo Estado se depositaban en un ambiente de plataforma de aguas someras, calizas arcillosas durante el paleoceno.

Probablemente al final del Paleoceno se originó un -- nuevo levantamiento en Chiapas, debido a un choque de placas que trajo como consecuencias un incremento en la actividad tectónica representada por facies tipo molasse de la -- Formación El Bosque en el Eoceno.

A principios del Oligoceno los mares vuelven a inva-

dir la zona norte del Estado de Chiapas y el Estado de Tabasco, depositándose una gruesa secuencia de rocas carbonatadas de la Formación Mompuyil en el primero, mientras que al norte, (Tabasco) se depositaba la Caliza Macuspana, en condiciones de mares nerfíticos de aguas templadas.

En el Oligoceno Medio y Superior se registraron ligeras oscilaciones representadas por regresiones y transgresiones, las que originaron la depositación de la Formación Simojovel. Dicha formación se depositó en la zona norte de Chiapas y Tabasco.

En el Mioceno Inferior y Medio se genera la placa de Cocos y ésta levanta a la Norteamericana, produciéndose en la superficie el rápido retiro de los mares y, dejando a su paso depósitos arcillo-arenosos de la Formación Tulijá en el norte de Chiapas y las Formaciones Amate, Belem y Encajonante en Tabasco,

Al terminar los depósitos del Mioceno, vienen fuertes plegamientos y fallamientos provocados por los empujes provenientes del norte y noroeste (placa norteamericana sobre la de Cocos) representados por la Orogenia Cascadiana. En Chiapas no hay depósito de sedimentos, mientras que en Tabasco se depositan capas de arenas y arcillas sin fósiles.

En el Cuaternario, los ríos San Pedro, Cuculú y Tacotalpa inician el depósito de aluviones compuestos por fragmentos de caliza y sedimentos limo-arenosos. En el reciente, estos ríos cortan sus aluviones y forman terrazas, en cuyas partes inferiores se depositan gravas y arenas limpias; en la parte subaéreas, se acumula una gruesa capa de suelo vegetal.

C A P I T U L O V I .

OBRA CIVIL.GEOLOGIA DEL CANON DE ITZANTUN.VI.I.I. Introducción.-

El río Tacotalpa corre en la zona de estudio de SW a NE (cañón de Itzantún) atravesando casi normalmente a una estructura de tipo anticlinal! Deja expuesta en su flanco sur aguas arriba de la boquilla, la secuencia estratigráfica que más adelante se detalla.

La parte inferior de la ladera de la sierra, aguas arriba del cañón, está constituida por una serie alternante de rocas duras y suaves, que producen un relieve en forma de dientes de sierra de carpintero. En el centro del anticlinal, aflora un paquete homogéneo de calizas competentes formando así una garganta bastante estrecha en donde se ubica la boquilla y en donde se forman paredes verticales hasta de más de 200 m de altura.

El cañón en este sitio, tiene en el cauce una amplitud de 15 a 20 m en la base y de 100 a 120 m en la parte superior.

La zona estrecha del cañón tiene un rumbo de norte a noroeste y 500 m de longitud. La altura de sus laderas disminuye de aguas arriba hacia aguas abajo por la inclinación de las capas. (lam. 8)

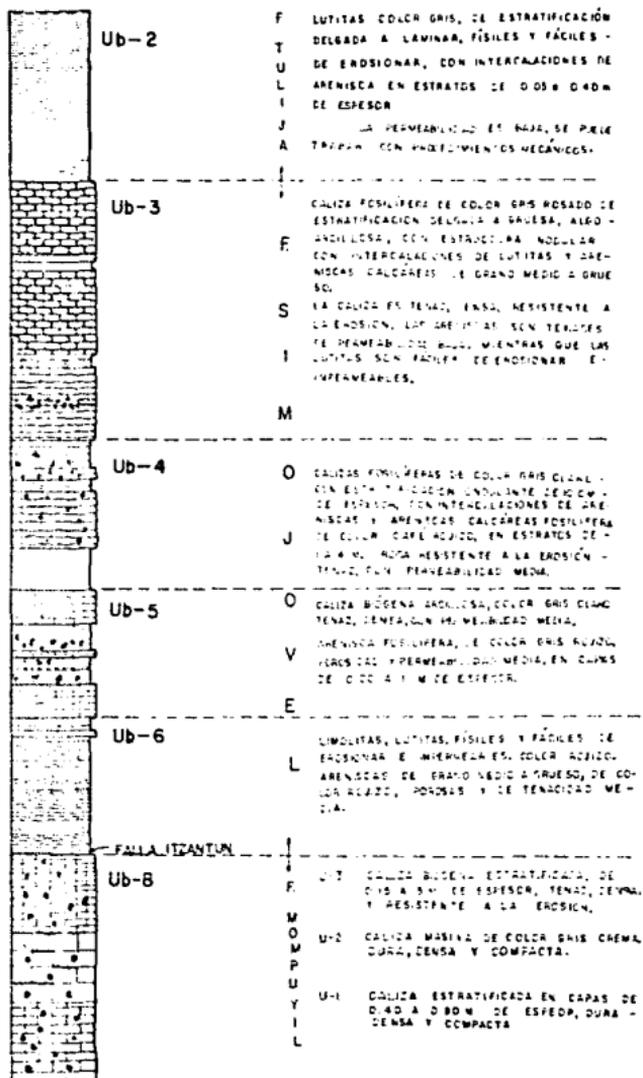
Estratigrafía. (lam. 9)

Formación Tulijá (Ub-2)

Desde el río San Pedro (2.5 km aguas arriba de la boquilla) se tiene una secuencia de capas que pertenecen a la Formación Tulijá.

Solo alfora en este lugar la unidad inferior, puesto que el superior alfora más adelante hacia el área del Portal de entrada del Túnel. Está constituido fundamentalmente por lutitas ffsiles de color gris que intemperizan a --- gris amarillento. Tiene intercalaciones de arenisca en estratos de 5 a 40 cm de espesor, su grano es medio, su color es gris claro y amarillento, intemperiza a amarillo más --- fuerte que el de la fractura fresca y su matriz es arcillosa.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA



El espesor de esta unidad es de 800 m por lo mismo - una garantía de impermeabilidad para el vaso.

Esta unidad es susceptible de excavarse con procedimientos mecánicos.

Formación Simojovel

En el cañón de Itzantún se reconocieron cuatro unidades litológicas, las cuales se describen de la más joven a la más antigua:

Unidad 3 (Ub-3)

Esta constituida de calizas fosilíferas gris rosadas en capas que van desde 0.50 a 3 m con estructura modular, son tenaces y resistentes a la erosión. Contiene intercalados algunos horizontes coralinos de 5 a 10 m de espesor, -- así como algunos cuerpos de arenisca calcárea, en estratos de 0.60 a 2 m de espesor de color café oscuro, son resistentes a la erosión y tenaces. Se le intercalan también lutitas algo calcáreas, de estratificación laminar, de color -- gris verdoso, son fáciles de erosionar y fisiles. El espesor de esta unidad es de 450 m.

Los espesores de las areniscas y lutitas son delga--

dos, por lo que esta unidad se considera como una caliza biógena con estructura nodular.

Unidad 4 (Ub-4)

Consiste de una alternancia de calizas fosilíferas - de estratificación ondulante de 10 cm de espesor, contiene facies coralinas en estratos alargados de un metro de espesor, con turritelas y bivalbos. La roca es de color gris - crema a rosado, intemperiza en un color más oscuro que el de la fractura fresca. Es muy resistente a la erosión y tenaz. Alterna con areniscas calcáreas fosilíferas en estratos de 1 a 4 m de espesor de grano medio, de color café y gris pardusco, es tenaz y resistente a la erosión. La unidad tiene un espesor de 270 m.

Unidad 5 (Ud-5)

Consiste en una alternancia de calizas litográficas, calizas biógenas y areniscas fosilíferas.

En la parte superior se tiene una caliza litográfica de color gris claro que intemperiza en el mismo color. Sus capas son de 0.50 a 1.50 m de espesor con planos de estratificación semiondulados. Contiene intercalaciones de material arcilloso. La roca es muy resistente a la erosión y -

de alta tenacidad. Es una roca de permeabilidad baja.

En la parte media son areniscas de grano medio-a grueso, de color gris claro, ligeramente amarillenta en estratos de 0.20 a 1 m. de espesor, contiene fósiles (pec-tens) y concreciones de hematita de 5 cm a 2 cm de largo. Es una roca de tenacidad y porosidad media su resistencia a la erosión es más baja que la de la caliza biógena. Contiene intercalaciones de caliza biógena de color gris oscuro en capas de 0.40 m resistentes a la erosión.

Hacia su base son calizas biógenas de color --- gris amarillento en estratos de 0.40 a 2 m de espesor con - diseminaciones de pirita y calcita. Es de una tenacidad -- alta y muy resistente a la erosión.

El espesor total de esta unidad es de 260 m.

Unidad 6 (Ub-6)

Consiste básicamente de limolitas, y lutitas, - con algunos cuerpos de areniscas y areniscas conglomeráti- cas. Toda esta secuencia es de color rojizo, gris rojizo -- con estratificación graduada y cruzada.

Las limolitas y lutitas son de color rojizo con es- tratificación cruzada y laminar, son ffsiles, impermeables-

y fáciles de erosionar.

Las areniscas contienen cuarzo y fragmentos líticos de rocas volcánicas ácidas, son de grano fino a medio en capas de 10 a 20 cm de espesor de color gris verdoso y café que intemperizan a un color ocre. La roca es de una tenacidad media, es poco resistente a la erosión y permeabilidad media.

La arenisca conglomerática es de grano grueso, de color café rojizo. Los clásticos son de cuarzo y fragmentos originados por rocas metamórficas, graníticas y volcánicas ácidas, son subredondeados a redondeados. Su matriz es arcillosa y con cementante calcáreo por lo que la hace porosa pero no permeable.

Los trabajos que se hagan en esta unidad habrá que hacerlos por procedimientos mecánicos y se tendrán que ademar para mejorar su sustentación.

Formación Mompuyil

Está compuesta por calizas de Oligoceno Inferior, -- hacia su base la componen calcarenitas de color gris oscuro, fosilíferas (Lepidocyclina sp) en estratos que van de --- 0.15 a 3 m de espesor. En su porción media esta constituf-

da por una caliza biógena de color gris cremoso resistente a la erosión y de estratificación gruesa a masiva; constituye gran parte de la zona estrecha del cañón y de la boquilla.

Hacia su parte superior afloran calizas biógenas de color gris claro en capas de 0.40 a 0.80 m de espesor y forman parte de las laderas superiores del cañón.

En general todo el paquete rocoso, presenta planos de estratificación rugosos, y sus características generales predominantes son: alta tenacidad, resistencia a la erosión densa y baja permeabilidad. El espesor aproximado de esta Formación es de 600 m.

VI.1.3 Estructura Geológica del Cañón de Itzantún

El cañón de Itzantún tiene una longitud aproximada de 5 km, el cual es atravesado por el río Tacotalpa. Dicho río corta transversalmente a la secuencia estratigráfica ya descrita. En el centro del cañón se formó el horst de Itzantún, limitado por dos fallas las cuales se formaron de la siguiente manera: (Fotografía 1)



Fotografía No. 1. Cañón de Itzantún mostrando el sitio de la boquilla.

Al depositarse la última Formación en el área (Formación Tulijs fig-1), se plican los sedimentos depositados en dicha área. Este plegamiento se debe probablemente a esfuerzos compresionales provenientes del nor este (fig-2), los cuales al seguir actuando sobre las rocas, producen un fallamiento inverso (Falla Itzantún) (fig-2 y 3). Al cesar los esfuerzos compresionales sobre las rocas se originan esfuerzos tensionales, dando por resultado una falla normal, situada al norte de la inversa (fig-4). Estos esfuerzos afectaron a la falla inversa que tuvo un descenso, produciendo así movimientos tensionales de menor magnitud que los compresionales en dicha falla.

Debido a estas dos fallas (inversa agua arriba y nor

FIG. 1

F. TUMBE	LUTITAS ARENISCAS
F. SIMOJOVEL	ARENISCAS LUTITAS CALIZAS
F. MOMPUTIL	CALIZAS
F. EL BOSQUE	LIMOLITAS LUTITAS ARENISCAS

FIG. 2

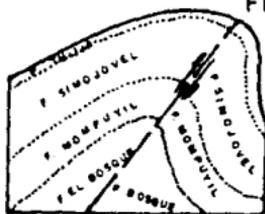


FIG. 3

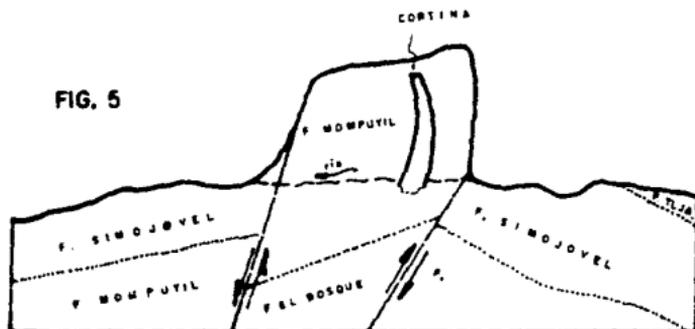


FIG. 4



— = MOVIMIENTO INICIAL
- - = MOVIMIENTO FINAL

FIG. 5



mal aguas abajo) se ha formado el horst calcáreo de Itzantún (fig-5) constituido por la Formación Mompuyil.

La secuencia estratigráfica aguas arriba de la falla Itzantún descansa en forma inclinada con un buzamiento de 60° a 70° al SW, esto hace que se beneficie el embalse al no existir fugas de consideración sobre esta secuencia de rocas (fig-6). Las rocas de la boquilla están dispuestas en forma contraria buzando al N 30° E con una inclinación de 24° . Estas rocas se consideran de buena calidad para colocar la cortina y para soportar los empujes del agua almacenada en el embalse. Las rocas aguas abajo de la falla normal tienen un rumbo de N 12° E con una inclinación de 15° a 17° , con lo que se tienen una menor inclinación que el bloque Itzantún. Estas rocas descansan sobre el bloque Itzantún, haciendo que dicho bloque sea estable.

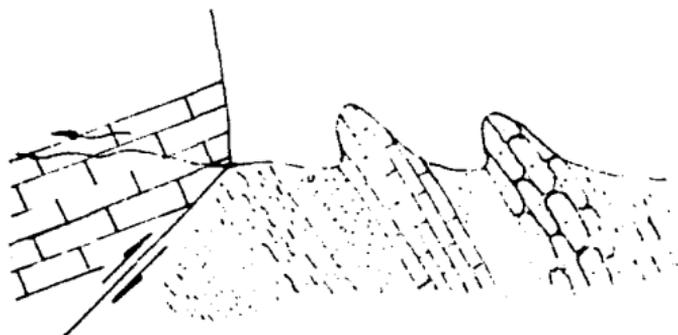


Figura 6

VI.I.4. ESTABILIDAD DE LAS LADERAS.

En la boquilla la estabilidad de las laderas es como sigue: sobre la margen izquierda se tiene una zona decomprida de unos 30m de ancho en su base la cual se acuña hasta la elevación 270 m.a.n.m. Esta zona será necesaria remover la pues se encuentra muy fracturada e inestable. En esta misma margen, a 250 m del río se tiene una zona inestable formada por fracturas con dirección NE y NW, la cual se tendrá que eliminar y usarse como material de construcción o anclarla para mejorar su sustentación.

Sobre la margen derecha no se encuentran rasgos inestables de importancia.

Hacia aguas arriba de la boquilla, sobre ambas laderas, se tienen materiales de derrumbe que oscilan entre 8 y 27 m de espesor; estos materiales son bloques de caliza en tamaños que varían desde unos cuantos cm hasta más de 10 m de diámetro, empacados en material arcillo-arenoso (fig 7). Estos materiales descansan sobre lutitas limolitas y areniscas y tienen a deslizarse hacia el cauce del río considerándose de poca importancia pues no causarán problemas serios a la obra, ya que su volumen se estima de poca importancia.

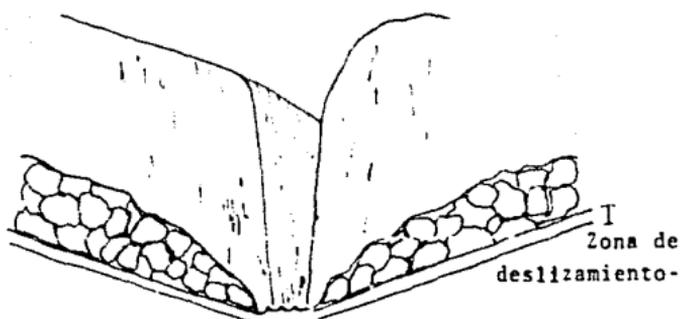


Figura 7.

VI.1.5 Permeabilidad del Vaso e Hidrogeología.

El embalse abarcará una superficie aproximada de --- 10,000 ha, con una elevación al nivel 430 m.s.n.m. su volumen será de 10,000 millones de m³.

Dicho embalse quedará ubicado geológicamente en una estructura de tipo sinclinal, compuesta por rocas sedimentarias arcillo-arenosas que en conjunto son impermeables y de condiciones óptimas para el almacenamiento. Estas rocas arcillo-arenosas pertenecen a la Formación Tulijá, que cubren a todo el sinclinal San Pedro. (fotografía 2)



Fotografía No. 2. Vista panorámica aguas arriba de la boquilla mostrando la zona del embalse.

En la boquilla, el vaso hará contacto con el macizo de Itiantún donde se ha medido niveles freáticos en barrenos de la margen izquierda y derecha. Dicho nivel asciende desde el nivel del río con una pendiente de 15 % hacia la ladera, sobre ambas marges, por lo que requerirá una pantalla de inyección para evitar fugas en el macizo.

Las posibles fugas a través de las fallas Itzantún se estiman muy bajas, ya que las rocas infrayacentes así como las del plano de falla están compuestas por materiales arcillosos y cementante calcáreo. Además, las rocas de la unidad tres tiene valores de permeabilidad menores de 5 Lugeones.

El Horst calcáreo está rodeado por rocas impermeables de la Formación Simojovel permitiendo el cierre del embalse y haciendo que la única salida sea la del cañón.

Sobre la margen derecha del cañón, aguas arriba de la boquilla, se tiene un manantial con un gasto de 100 litros/seg que aflora arriba de la elevación de 1000 m.s.n.m. lo que indica una baja permeabilidad del terreno por debajo de esta altitud y la porción permeable queda arriba, a esta condición se le conoce con el nombre de acuífero colgado.-- (fig-8).

Podemos decir, que donde se alojará el vaso del proyecto posee condiciones hidrogeológicas favorables para con tener el agua por almacenar, teniendo pocas filtraciones en el macizo calcáreo en las unidades U1, U2, U3 donde la permeabilidad máxima es de 10 U. Lugeon localizada solo en -- las fracturas de los primeros metros. Estas fugas en las -- fracturas se evitarán con la plantilla de inyección.

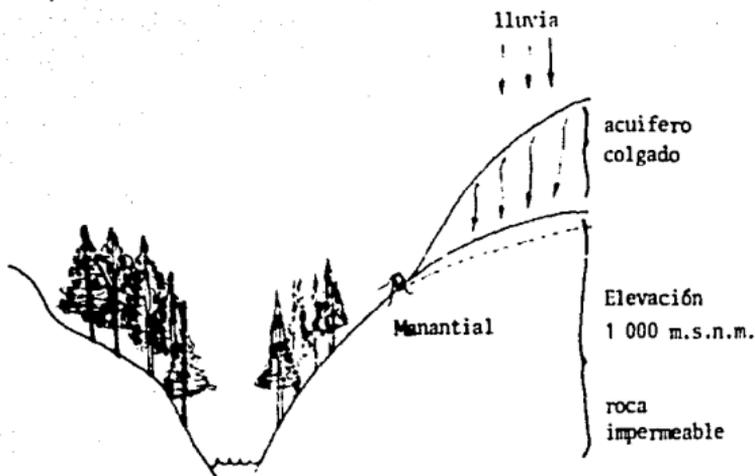


Figura 8

VI.2.- Geología de la Boquilla

VI.2.1- Morfología y Estructura.

La boquilla tiene un perfil asimétrico con 250 m de altura en la margen izquierda y hasta 400 m de la derecha.-

Sus laderas son paredes casi verticales y simétricas hasta la cota 380 . A partir de esa elevación, la margen izquierda se abre con una pendiente de 30 \downarrow mientras que la derecha continúa ligeramente menos vertical. En el cauce del río, la amplitud es de 40 m. En la parte alta de la cortina, donde la margen izquierda se abre con la pendiente ya señalada se tiene una longitud de 120 m de ancho de la margen izquierda a la derecha. El cauce del río cerca de la atagüfa aguas abajo es la parte más angosta del estrechamiento, con 12 a 15 m de ancho.

El origen de esta garganta es debido a efectos erosivos del río al abrirse paso através de la roca caliza afectada por los sistemas de fracturas de las familias ∞ y β .

Las rocas de ambas margenes son tenaces, solo presentan ligeros efectos cársicos en la superficie de las laderas. (fotografía 3).



Fotografía No. 3. Boquilla Itzantún mostrando en ambas laderas rocas calcáreas.

VI.2.2.- Estratigrafía.

La Formación Mompuyil, se ha dividido en la boquilla en tres unidades para su mejor conocimiento, que a continuación se describirán.

U-1.- Aflora únicamente en la parte alta de la margen derecha. Consiste en una caliza biógena de color gris.

claro algo cremosa que intemperiza en el mismo color, en estratos de 0.30 a 1.50 m de espesor. Es dura, densa y compacta, contiene abundantes fósiles en forma de lentejas. Se anotan las fracturas superficialmente abiertas y sobre sus paredes existen pocos canalillos de disolución por el escurrimiento de agua de lluvia sobre ellas; no se observaron efectos de disolución en los planos de estratificación. El espesor total de esta unidad es de 350 m aproximadamente.

Los resultados de las barrenaciones hechas en esta unidad nos indican que; la recuperación de las muestras son de orden de 85% a 95%, el RQD tiene un promedio de 80%. las unidades Lugeon dan valores de 5 U.L. considerando a la roca como poco permeable.

Unidad U-2.- Aflora en ambas margenes. Consiste en una caliza de color gris claro a oscuro que intemperiza en un color amarillento; es fosilífera, está ligeramente recristalizada; es dura, densa y maciza. Es una capa sin planos de estratificación dentro de sus límites, presenta línea estilolíticas y fracturas rellenas de calcita, algunas de ellas con ligeros efectos de disolución. Su espesor es de 180 m.

En los sondeos hechos se tienen recuperaciones de 95% a 100% teniendo casi en su totalidad lo máximo de mues-

tra recuperada,. El índice de calidad de la roca (RQD) alcanza un promedio de 90% a 95%, con lo que ésta unidad es de excelente calidad para la cimentación de la presa. Los valores de las unidades Lugeon son del orden de 5 U.L. Solo se encontraron valores de 10 a 15 U.L. en zonas de fracturas, pero en tramos muy cortos.

Unidad U-3. - Forma la parte inferior de la boquilla y el fondo del cauce, es una caliza biógena de color gris, dura, densa y maciza. Tiene estratos bien definidos de .15 a 3 m de espesor.

La roca está poco fracturada y sus fracturas se encuentran selladas por calcita, sin presentar efectos de disolución.

Su espesor aproximado es de 250 m, teniendo en su parte inferior algunas facies arcillo-arenosas que significan la base impermeable a la que hay que llevar el inyectado.

Cerca de la boquilla, el barreno 1-A vertical cortó el contacto de esta unidad con la falla Itzantún a 180 m -- abajo del cauce del río.

El barreno 1-A vertical y los demás hechos en esta -

unidad, nos indican que la recuperación de la roca es del orden de 90% hasta 100%. El RQD es de 85% a 90% y las unidades Lugeon dieron valores de 5 a 10 U.L. cerca de la superficie y menos de 5 U.L. de los 40 m hacia abajo. Por lo que la roca se considera poco permeable hasta llegar a ser impermeable.

VI.2.3 Margen Izquierda.

Sobre esta margen de la cota de la corona al cauce, solamente afloran las unidades U-2 y U-3, estando la U-1 -- arriba de la futura cortina. La unidad de roca U-2 aflora desde la elevación 450 hasta la cota 270 m.s.n.m. la unidad de roca U-3 aflora desde la elevación anterior hasta el con tacto con la falla Itzantún.

Los barrenos verticales cortaron en los primeros metros de 20 a 30 m de roca alterada y después roca sana, -- afectada solo por algunas fracturas selladas por calcita -- y/o material arcilloso, en menor cantidad.

La carsicidad es de poca importancia, localizandose solo en las fracturas. El echado de estas predomina hacia el rfo, con magnitudes burdamente paralelas a las paredes actuales. Se asemeja al crucero (clivaje) de las rocas, que al tendera estabilizarse, el plano de debilidad se abre ---

unas micras y el agua de lluvia penetra alterando la roca en la superficie. Este no es el espesor de limpia, pues la alteración no es tan intensa como para que exija su remoción.

En esta margen se han hecho 11 barrenos: 3 en la parte alta y 8 en la parte baja. Las pruebas de permeabilidad nos indican valores inferiores a 10 U.L. También se han excavado 5 socavones ubicados en diferentes elevaciones (ver plano de socavones). Los resultados de estas exploraciones nos dicen que la roca de esta ladera está decomprimida hasta una profundidad de 20 m posteriormente sigue roca sana alterada solo por fracturas selladas por calcita.

VI.2.4 Margen Derecha.

Sobre el eje de la boquilla, afloran las siguientes unidades de roca: (U-1) se encuentra desde la parte superior de la ladera, (cota 570) hasta la cota 410; la U-2 aflora desde la elevación antes mencionada hasta la cota 230; la unidad 3 (U-3) aflora de la 230 a la 55, donde se pone en contacto con la falla Itzantún.

Tanto la geología superficial como la barrenación y los socavones hechas en esta margen, nos muestran que las condiciones físicas de la roca son superiores a la de la --

márgen izquierda, encontrándose la zona de roca comprimida a una distancia de 10 m de la ladera. Existen también un menor número de fracturas, que en su mayoría se encuentran selladas por calcita.

Lo anterior se debe a que los planos de debilidad -- (cruce) se inclinan hacia adentro de la ladera y no se -- abren con la tendencia a reducir su ángulo de reposo por in temperismo mecánico (fig. 9)

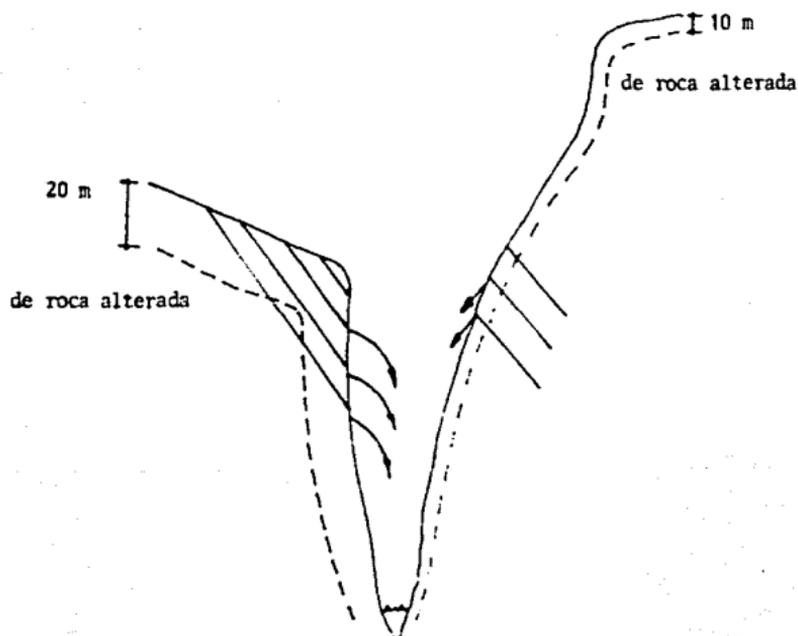


Figura 9

VI.2.5. Cauce del Río.

El cauce del río labrado sobre rocas de la unidad 3- (U-3) de la Formación Monpuyil que consiste en una caliza arenosa, biógena, dura, densa y compacta.

En este sitio, se han hecho 4 barrenos inclinados -- hacia el fondo del cauce no habiéndose localizado fracturas de importancia que concuerdan con el patrón de fracturamiento y no se encontraron materiales de acarreo. (fotografía 4)



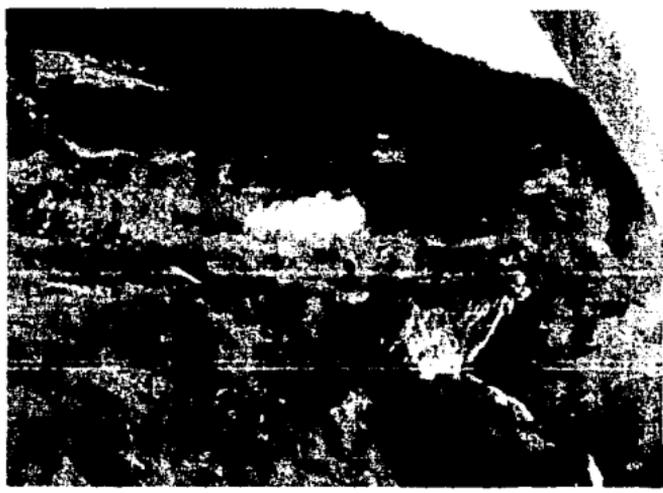
Fotografía No. 4. Cauce del río sobre rocas calizas.

Las pruebas de permeabilidad en los barrenos hechos hacia el cauce reportan valores de 5 unidades Lugeon como máximo, con tendencias a disminuir hacia la profundidad. En la falla Itzantún, la prueba Lugeon nos registró una permeabilidad baja.

VI.2.6 Falla Itzantún.

La falla Itzantún es la discontinuidad geológica y morfológica más importante del proyecto. Su traza corre de oriente a poniente y tiene una longitud de 15 a 30 km aproximadamente; en la zona de la boquilla y hacia el oriente queda bien expuesta, mientras que hacia el poniente se encuentra oculta por depósitos de talúd y aluvión del río San Pedro.

Los resultados de la exploración geológica superficial nos indica que esta falla se orienta con un rumbo de NW 75° a 80° SE y una inclinación de 57° a 60° al NE. (fotografía 5).



Fotografía No. 5. Vista de la falla Ircantón.

Los barrenos que se han llevado a cabo (1 A, 1A'' 1b², 1A'' 30°, 13-30°, 13-bis 30°, 14 y 15) con el fin de cortar la falla, así como las galerías de exploración 8 (márgen -- izquierda) y (9 márgen derecha), han confirmado que dicha - falla se inclina hacia aguas abajo con el mismo rumbo y --- echado arriba señalado.

La falla pone en contacto tectónico a la calcarenita biógena de la U5 con arenisca, lutitas y limolitas e inclusiones de yeso de la formación Simojovel, que son rocas incompetentes. Los barrenos han cortado también (abajo de --

las areniscas, lutitas y limolitas) a unas calizas microcristalinas con estructura brechoide. La falla aflora a 100 m aguas arriba de donde se empotrará la cortina y a 200 m de profundidad.

Los socavones 8 y 9 contienen en la traza de la falla lentes y nodulos de yeso deformado de 10 a 20 cm de ancho y 0.50 m a más de largo, así como material arcillosos milonitizado en un espesor de 40 a 50 cm. Los espejos de fallamientos separan láminas de milonita de 0.3 a 1 cm, de grueso. La zona de falla alcanza un espesor variable desde 80 cm en el socavon 9 a 2 m en el socavono 8.

En yeso que se encuentra dentro de la zona de falla proviene de la formación Simojovel infrayacente. En esta formación el yeso es de origen singenético. Este yeso se encuentra en lentes intercalados en lutitas, limolitas y areniscas de color rojizo de 40 a 60 cm, de espesor.

ACTIVIDAD DE LA FALLA ITZANTUN

Ellis y Ryan Lane. (1977) definen "falla activa" como: Aquella que ha tenido deslizamiento durante el régimen sismotectónico actual, por lo tanto ha tenido y tiende a tener renovados deslizamientos en el futuro. Para fines de Ingeniería Civil, es la que a sufrido movimientos desde los

Últimos 10,000 años hasta hoy en día.

La actividad de la falla debe estar indicada por evidencias geofísicas que demuestren que dicha falla se comporta activamente.

Los rangos de actividad pueden variar desde muy bajos con prolongados intervalos de recurrencia en su movimiento, a muy altos, con intervalos cortos de recurrencia.

Hasta ahora, sobre la taza de la falla Itzantún (en superficie) no se han observado evidencias morfológicas de actividad, como son: Desplazamiento en materiales, repetición y formación de taludes frescos sobre su traza. Por lo que se piensa que dicha falla no ha tenido actividad por lo menos en los últimos 10 000 años.

VI.2.7.- Fracturamiento.

Las rocas en la zona de la boquilla están afectadas por 4 familias de fracturas, que se observan tanto en superficie como en las obras subterráneas.

1.- FAMILIA ∞

Familia con dirección general al NE 40°SW e inclina-

ción de 70° a 80° hacia el NW; un gran número de ellas son --
verticales.

Estas fracturas son las más importantes y las de ma-
yor longitud (como 300 m de longitud) y las de un relleno -
comparativamente más grueso que las de los otros sistemas, -
aunque se cierran a profundidad, muchas de ellas afloran --
verticalmente, corren paralelas a las laderas del cañón.

El fracturamiento ∞ se relaciona íntimamente con --
las zonas decomprimidas de las paredes del cañón.

2.- FAMILIA B

Familia con dirección N-S. Las fracturas de esta fa-
milia se encuentran por lo general cerradas o selladas por
calcita. Presentan inclinaciones subverticales, con una --
longitud media de 100 m. Afectan a las unidades 2 y 3 en -
el cauce del río. Las verticales no son tan largas como --
las anteriores y se les considera de menor importancia.

3.- FAMILIA A

Familia con dirección general NW 50° SE, e inclina-
ciones de 50° a 75° al SW. Este sistema afecta predominantemente a la unidad 2 en donde se observan mejor. En los -

primeros metros se encuentran abiertas y rellenas de material arcilloso y orgánico proveniente del suelo de las mismas laderas, pasando de los 10 m de profundidad las fracturas se encuentran cerradas y/o selladas por calcita. Tienen una longitud media de 150 m visto en la parte alta de la margen izquierda.

4.- FAMILIA δ

Familia con dirección E-W. Presenta inclinaciones de 75° hacia el Sur, siendo casi normales a los planos de estratificación del macizo calcáreo. Se observan estrías en posición horizontal y ligeros rasgos cársticos sin importancia. Estas fracturas se originaron por movimientos o esfuerzos de descomposición en la zona de la falla Itzantún, con la que tiene cierto paralelismo, tiene una longitud --- aproximada de 100 m.

Las familias ∞ y ρ son claramente visibles en el macizo calcáreo, mientras que en las γ y δ ocurre lo contrario por lo que se consideran de menor importancia.

La mayoría de las familias de fracturas no presentan continuidad a profundidad y las que lo tienen se encuentran selladas por calcita. Las 4 familias están abiertas solo en los primeros metros, y/o rellenas de material arcilloso,

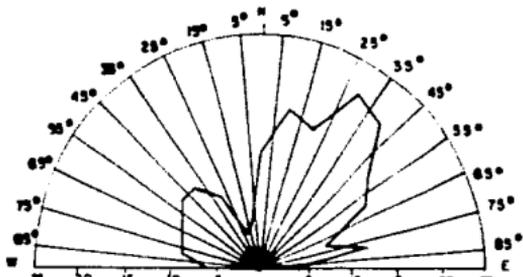
para después sellarse por calcita y por último desaparecen a profundidad.

VI.2.8 Fracturas Margen Izquierda (lam 10 y 11)

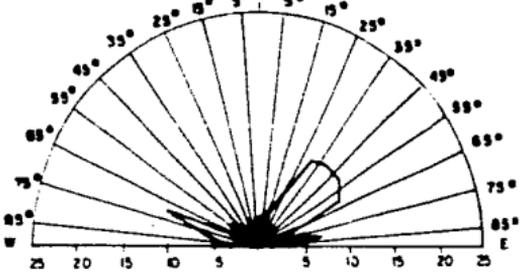
Las familias ∞ , β y γ son las que predominan en esta margen. La unidad U2 contiene el mayor número de fracturas por metros de sección. La familia ∞ corre casi paralela a la ladera del cañón con inclinaciones de 75° a 85° al NW y verticales.

En la parte superior y como a 300 m de la ladera del cañón hay una fractura a la que se le nota un pequeño escarpe de aproximadamente 50 m, estando éste en el contacto de la unidad U1 con la unidad U2. Tiene una abertura máxima de 50 cm que probablemente selle a profundidad y es vertical. La carsicidad en este sistema de fracturas es escaso de la cortina hacia aguas arriba, pero es probable que fuera de ella, hacia aguas abajo, se encuentren cavernas de disolución ayudado por la posición de la estructura.

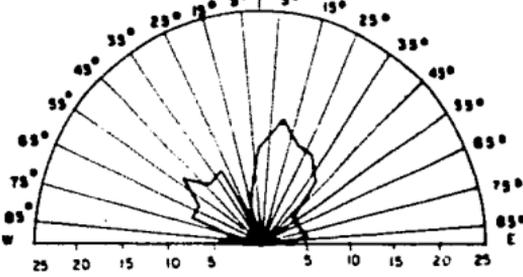
Los tres sistemas de fracturas que afectan a la unidad dos desaparecen en el contacto con la unidad 3; solo -- las fracturas de mayor tamaño como el fracturamiento ∞ y -- poco el fracturamiento β predominan, mientras que las de menor importancia sufren desviaciones en diferentes direcciones, antes de desaparecer.



ROSETA DE FRACTURAMIENTO GENERAL DE LOS SOCAVONES.



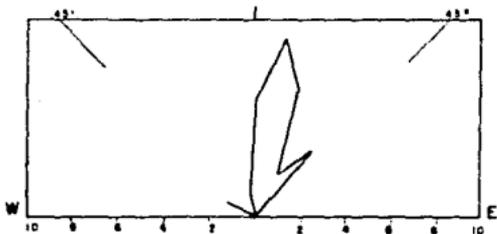
ROSETA DE FRACTURAMIENTO DE LA MARGEN IZQUIERDA



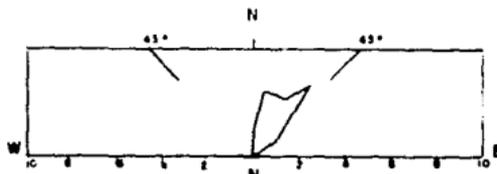
ROSETAS DE FRACTURAMIENTO DE LA MARGEN DERECHA

U. N. A. M.		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
ROSETAS DE FRACTURAMIENTO		
DE LOS SOCAVONES		
DEL P. M. ITZANTUN		
EDUARDO JIMENEZ FERNANDEZ		
	1979	Lam 10

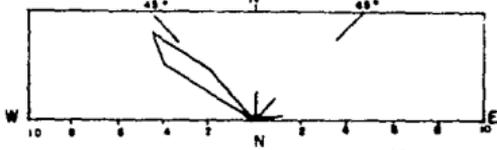
ROSETAS DE FRACTURAMIENTO



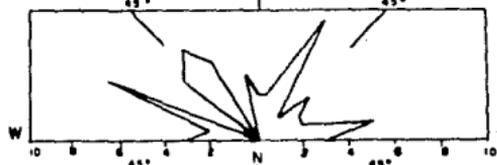
SOCAVON No 5
M.D.



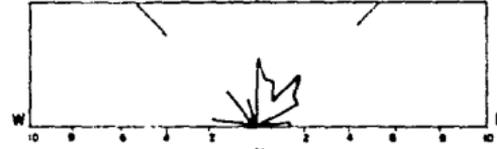
SOCAVON No 5'
M D.



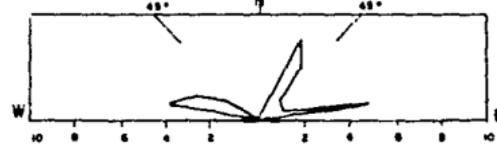
SOCAVON No 7
M.D.



SOCAVON No 9
M. D.



SOCAVON No 4
M. I.



SOCAVON No 8
M. I.

NOTA: M D = MARGEN DERECHA
M I = MARGEN IZQUIERDA

El fracturamiento \uparrow predomina solo en la parte superior de la ladera. Conforme se baja hacia la cota inferior estas se cierran y/o se sellan por calcita perdiendo importancia.

En la unidad U3 cerca de la falla Itzantún, el sistema de fracturamiento mas notorio es el δ (E-W) (lam 11 y 12, ver plano de socavones). Este sistema no representa peligro alguno porque está fuera del área de construcción de la cortina y de las obras auxiliares.

VI.2.9 Fracturamiento Margen Derecha.

En esta margen los sistemas de fracturamiento predominantes son el ∞ y \uparrow . El sistema δ predomina solo cerca de la ladera (socavón 5 y 5'). El sistema δ se localiza en la unidad U3, cerca de la falla Itzantún (socavón 9) al igual que en la margen izquierda.

El sistema ∞ corre paralelo al cauce del río. Las fracturas con dicha dirección después de los 10 y 15 m de profundidad se encuentran selladas por calcita. En el socavón no. 10 sobre su eje, corre una fractura importante, la cual tiene 30 cm de abertura y ligera carsicidad en los primeros metros, después de los 47 m se encuentra cerrada y sellada por calcita. A 150 m ya en la superficie esta misma

fractura sale y forma un escarpe de 80 m con una abertura - de medio metro.

El sistema de fracturamiento δ se observa más nti- damente en la parte superior de la caliza masiva U2 en la - zona más angosta del cañón donde se localizan los socavones 7 y 7'. Al llegar al contacto de la caliza masiva U2 con - la caliza estratificada de la U1 este fracturamiento se des- vanece.

De lo anterior podemos decir y suponer que: Cerca de la falla Itzantún y de la falla normal (aguas abajo) pode- mos encontrar el sistema de fracturamiento "delta" δ y tal vez el "alpha" ∞ , pero este segundo que es compresional - estará cortado por el primero que es tensional.

VI.3 Geotecnia, Obras en la Boquilla

VI. Cortina (lam 8 y 12)

Se construirá una cortina de arco cuyo eje radial -- perpendicular a la boquilla y un rumbo de N 22°E tendrá las- siguientes coordenadas en el centro: X= 27 062 e Y= 24 776. La corona quedará a una altura de 436 m.s.n.m. mientras que el desplante abajo del cauce del río quedará en la cota --- 180 m.s.n.m.

Esta cortina se empotrará sobre la caliza Mompuyil, en las siguientes unidades de roca.

MARGEN IZQUIERDA

La obra quedará apoyada en las unidades 2 y 3 cuyo contacto se encuentra a la elevación 234 m.s.n.m.

MARGEN DERECHA.

Sobre esta margen, la obra quedará apoyada en las unidades 1, 2 y 3, el contacto inferior de las unidades 2 y 3 está en la cota 230 m.s.n.m. y el superior de las unidades 1 y 2 en la 410 m.s.n.m.

El desplante de la cortina la cual quedará en la elevación 180 m.s.n.m. se empotrará en la unidad 3. Sobre esta unidad se empotrarán de 50 a 55 m de cortina; sobre la unidad 2, 180 m de cortina; los últimos metros quedarán sobre la unidad 1.

La cortina tendrá una forma de arco bóveda, cuyos arcos serán parabólicos y éstos serán simétricos para ajustar la a una boquilla asimétrica. El volúmen de concreto que se consumirá en la construcción de dicha cortina junto con el espólon de la margen izquierda se ha estimado alrededor-

de 530 000 m³.

VI.5.2 Obras anexas.

Túnel de desvío.

Para iniciar el desplante de la cortina se construirá enseguida una atagüfa tipo arco con material de concreto a la cota 235 m.s.n.m. Su objetivo es limpieza del cañón.

El túnel de desvío tendrá su portal de entrada a la cota 215 m.s.n.m. Su diámetro será de 15 m y saldrá aguas-abajo en la cota 205 m.s.n.m. Se excavará sobre la margen-derecha y tendrá unos 220 m de largo.

El portal de entrada caerá en el sitio donde cruza la falla Itzantún y se pone en contacto la unidad 3 con la arenisca, lutitas y limolitas de color rojizo. El emportalamiento podrá hacerse sin problemas en la caliza de la U3, las cuales son duras, densas y macizas que buzan hacia ---- aguas abajo.

Con respecto al eje del túnel los primeros 150 m se desarrollarán sobre dicha Unidad 3. Se podrá excavar sin problemas de estabilidad, requiriéndose un mínimo de anclaje donde los estratos se encuentren acufiados; los siguien--

tes 70 m se excavarán en las calizas de la unidad 2 y tampoco requerirán de ningún anclaje. Dicho túnel de desvío no atravesará fracturas de importancia, por lo que no se esperan problemas durante su construcción.

Se construirá una ataguía a 150 m aguas abajo del eje de la cortina para acceso y agilidad de las operaciones en el cauce, y tendrá una altura de 16 m.

VERTEDORES.

Se construirán dos vertedores en la margen derecha - con diámetro de 8 m cada uno. Se colocarán a la cota 417 m. s.n.m., donde estarán las compuertas. Dichos vertedores -- tendrán aproximadamente 30 m de ancho en la entrada, para - después seguir con el diámetro de 8 m citado.

La obra quedará enclavada en la parte superior de la unidad 2, la cual es una caliza masiva dura y competente; - superficialmente presenta efectos de disolución a poca profundidad (5 ó 7 m como máximo) y la zona de roca alterada llega a una profundidad de 15 m.

El vertedor tendrá una distancia de 420 m de longitud y saldrá en la cota 320 m.s.n.m., lo más lejos posible - aguas abajo de la cortina, para que no la altere ó afecte -

en el salto y caída del agua. En los primeros 120 m tendrá un ángulo de 36° con respecto a la horizontal, para después, en los siguientes 300 m tener 4% de pendiente.

En esta zona se encuentran fracturas con rumbo norte y noroeste, superficialmente abiertas con poca disolución - las que tienen a cerrarse hacia abajo.

Durante la construcción de los vertederos no se esperan problemas de excavación.

VI.4 Exploraciones Realizadas en la Boquilla.

VI.4.1. Exploración Superficial.

Para el mejor conocimiento de la estructura geológica, se efectuaron en la boquilla y en los alrededores, exploraciones en todo el macizo calcáreo del cañón, ubicando fracturas en ambos márgenes, contactos geológicos, rumbos, echados y fallas.

Se efectuaron desmontes sobre los márgenes de la boquilla. Sobre las trazas de las fallas se excavaron zanjas para apreciar las propiedades físicas de su relleno y para dejar bien expuesta la roca.

Se han llevado a cabo investigaciones geológicas superficiales fuera de la boquilla, en un radio aproximado de 5 km, para definir las características de las estructuras geológicas y propiedades físicas de la roca.

VI.4.2 Exploración del Subsuelo.

La exploración del subsuelo fue realizada en la boquilla con: Socavones, barrenación y pruebas de permeabilidad, para definir la resistencia e impermeabilidad de la roca y concluir si se puede o no construir económicamente la presa de almacenamiento anteproyectada.

VI.4.2.1 Barrenación.-

Se han realizado 23 barrenos con una recuperación de núcleos, que suman aproximadamente 4100 m de longitud total. Se utilizó para la barrenación tubería NQ o tipo estándar de 3/4 y 1 pulgadas de diámetro, la cual va recubierta por otra tubería de 3" que es la que acciona al empaque mecánico.

La zona explorada la podemos dividir en dos partes: una, la parte inferior hacia aguas arriba de la boquilla y Sur de la falla Itzantún y dos, hacia el Norte de dicha falla donde queda el Horst de Itzantún.

La primera zona, hacia el Sur de la falla, sobre la margen izquierda; se ha perforado 7 barrenos verticales. Todos éstos penetraron rocas del Terciario (lechos rojos).

En la segunda zona, hacia la parte baja de la boquilla, al Norte de la falla Itzantún, sobre la margen izquierda y cauce del río, se han perforado 7 barrenos, en los cuales además de recuperación de núcleos, se hicieron pruebas de permeabilidad tipo Lugeon. De éstos barrenos 2 son verticales y los cinco restantes son inclinados con diferentes ángulos y direcciones. (ver tabla).

Estos barrenos penetran en los primeros metros a la Formación Mompuyil y en seguida, cortan a la falla Itzantún a distintas distancias. Las exploraciones inclinadas hacia el sur, suroeste y sureste cortaron a dicha falla antes que los verticales, comprobándose de esta manera que la falla es de tipo inversa.

La recuperación de la roca fue del orden 87%, mientras que el índice de Calidad de la roca alcanzó un promedio de 82%, por lo que la roca se le considera de buena calidad. La permeabilidad dió valores de 5 a 10 Unidades Lugeon, incluyendo la traza de la falla.

En la parte alta, sobre la margen izquierda, se han-

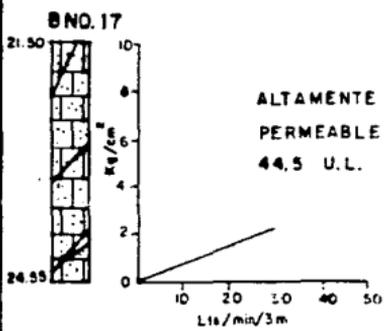
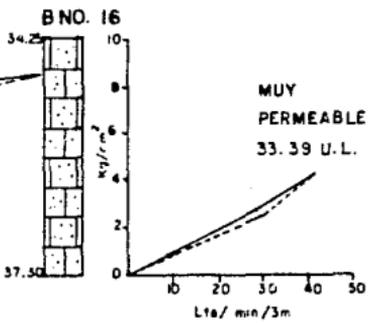
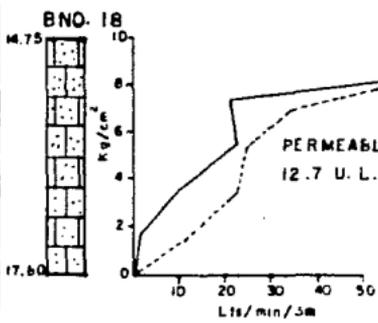
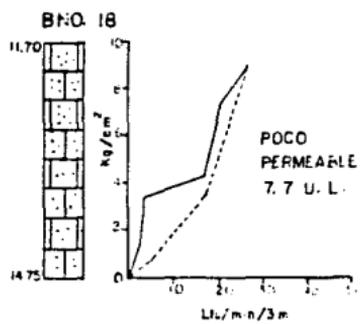
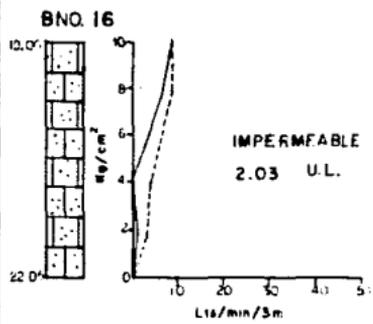
hecho 3 barrenos verticales perforados cerca de la ladera, - los cuales llegan un poquito más abajo del cauce del rfo. - En éstos se recuperan por núcleos, se midió su permeabilidad y se instalaron piezómetros para medir las variaciones del nivel freático.. Los tres barrenos atravesaron en su totalidad a la unidad dos y principios de la unidad tres en el fondo de las exploraciones. La recuperación de estos tres barrenos es del orden de 85%, el RQD (Índice de Calidad de la Roca) tuvo un promedio de 80%. Su permeabilidad es -- del orden de 10 a 15 Unidades Lugeon.

Sobre la margen derecha se han perforado 6 barrenos entre inclinados y verticales, los cuales han cortado las unidades uno y dos y algunos la unidad tres.

VI.4.2.2. Pruebas de Permeabilidad Tipo Lugeon,

(lam 13).

Las pruebas de permeabilidad Lugeon son de vital importancia para el estudio de una presa y se han convertido en determinaciones obligadas en todos los sondeos geológicos. Estas se utilizan con el fin de reconocer los sitios por donde se puede perder el agua que se va a almacenar, -- cuantificar la magnitud de esa pérdida y visualizar el peligro en que se encontrará la estabilidad de la cortina y --- obras hidráulicas accesorias, para tomar las medidas co---



DIFERENTES GRAFICAS DE PERMEABILIDAD EN LOS BARRENOS DE LA BOQUILLA

U.L. = UNIDADES LUGEON.

rectivas a que haya lugar.

La prueba consiste en inyectar agua a presión a través de un tramo de 3.05 de perforación, midiendo los gastos absorbidos a presiones crecientes y decrecientes, el gasto inyectado se mantiene invariable durante 10 minutos en cada una de las pruebas crecientes y decrecientes, hasta que estabiliza el flujo, lo que dá una idea aproximada de la permeabilidad en el sitio.

La unidad Lugeon se define como la absorción de un litro de agua por minuto, por metro de perforación a una presión efectiva de 10 kg/cm^2 aplicada durante 10 minutos. Con los datos se elaboran curvas de gastos de absorción contra presiones de inyección, para estimar los valores comparativos de permeabilidad.

El equipo utilizado en el siguiente: Una bomba John-Beam division con gasto máximo de 74.28 L/min a 700 P.S.I. (bomba de inyección), tanque de control de presiones, válvula de descarga, medidor de gasto de agua, manómetro que se instala en el brocal del pozo, cronómetro, empaque doble de 3.05 m de longitud y tubería de alimentación con diámetros variables de 3/4" y 1". (fotografías, 6, 7 y 8).



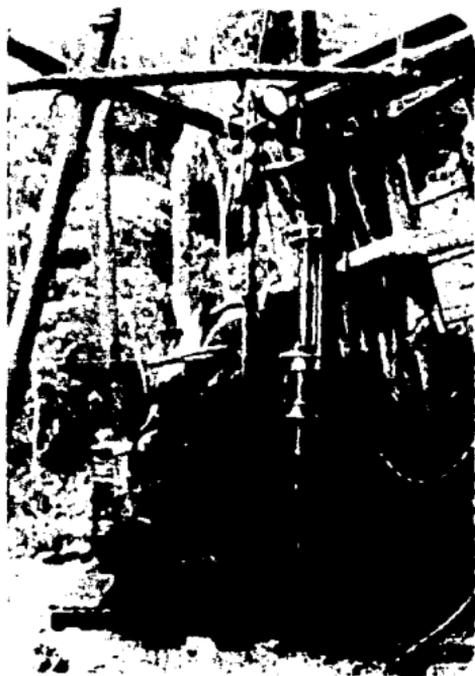
Fotografía No. 6. Bomba de inyección de
agua.



Tanque regulador de presiones, válvula de
descarga, manómetro y medidor de volumen
de agua.

Fotografía No. 7

Fotografía No. 8.



Tubería de Abastecimiento de Agua-
con manómetro en la parte superior.

EXPLORACION DE BARRENOS EFECTUADOS EN LA BOQUILLA DEL P. H. ITZANTUN

Barreno	Inclinación	Rumbo	Profundidad Total (m)	Aspectos Físicos Promedio total de REC %	Premeabilidad Promedio total de RQD %	Premeabilidad U.L.
1	0	--	134.15	80	25	13.40
1-A	0	--	250.00	98	80	0.83
1-A	18°	S 44°E	160.45	98	80	0.95
1-A''	30°	W	123.80	98	90	1.70
2	0	--	100.45	80	20	---
3	0	--	123.00	80	35	---
4	0	--	152.55	97	45	---
5	0	--	82.80	-	-	---
6	0	--	199.15	80	45	0.22
7	0	--	107.50	-	-	---
8	0	--	251.05	85	80	2.10
8-A	0	--	242.70	96	-	1.80
9	0	--	250.00	98	88	2.86
10	30°	S 40°W	325.00	98	85	---
10Bis	30°	E	209.25	95	85	---
13	30°	S 80°W	193.00	95	65	2.00
13Bis	30°	S 12°E	185.00	98	70	2.20
14	30°	S 80°E	149.00	98	75	1.40
15	0	--	150.45	98	80	1.20
16	0	--	299.85	98	85	7.01
17	0	--	200.00	97	90	9.40
18	0	--	280.00	90	85	5.32
19	0	--	251.15	98	90	8.65

Para obtener el gasto de absorción, se varía la presión en un mismo tramo. Primero se incrementa la presión - en el manómetro, desde cero hasta 10 kg/cm^2 , la máxima y -- después regresa a cero. Esta es la forma: 0, 2, 4, 6, 8, 6, 4, 2, 0.

La presión de inyección debe corregirse por pérdidas de carga en la tubería y por la altura del nivel freático - con respecto al tramo probado, mientras que se anotan en el registro los valores de gastos y presiones correspondientes.

Las pruebas se realizan después de terminada la perforación y ya que son lentas y para alcanzar cada presión - debe esperarse a establecer condiciones de flujo constante.

Las pruebas son susceptibles de errores por fugas en los empaques o por flanqueo en rocas muy fracturadas. Cerca de la superficie, la prueba es difícil de realizar debido a fugas de agua.

Para que una roca sea impermeable se necesita que la absorción de agua sea menor a 3 unidades Lugeón. Existe -- una tabla para describir cualitativamente la permeabilidad de las rocas; esta tabla es formulada por la S.A.R.H.

0 - 3 U.L.	IMPERMEABLE
3 - 11 U.L.	POCO PERMEABLE
11 - 23 U.L.	PERMEABLE
23 - 44 U.L.	MUY PERMEABLE
44 - U.L.	ALTAMENTE PERMEABLE

Así tenemos, que en la boquilla las pruebas de permeabilidad nos han dado valores de 0 - 3 U.L. y de 3-11 U.L. en la mayoría de los tramos probados por lo que podemos decir que la roca va de impermeable a poco permeable y solo en zonas de falla y/o fractura los valores son superiores a los anteriores, pero sin llegar a los muy permeables.

Por lo tanto, la roca presenta muy buenas características de impermeabilidad, que la hace recomendable para que se construya una cortina como la anteproyectada.

Las fórmulas para calcular las presiones en un ensayo Lugéon son las siguientes:

$$P_m = P_c + P_e - \frac{H}{10}$$

donde:

P_m = Presión manométrica

$$P_e = P_m + \frac{H}{10} - P_c$$

P_e = presión efectiva

P_c = presión por pérdidas de carga en los empaques, - diámetro de la tubería

y conexiones aguas abajo del manómetro.

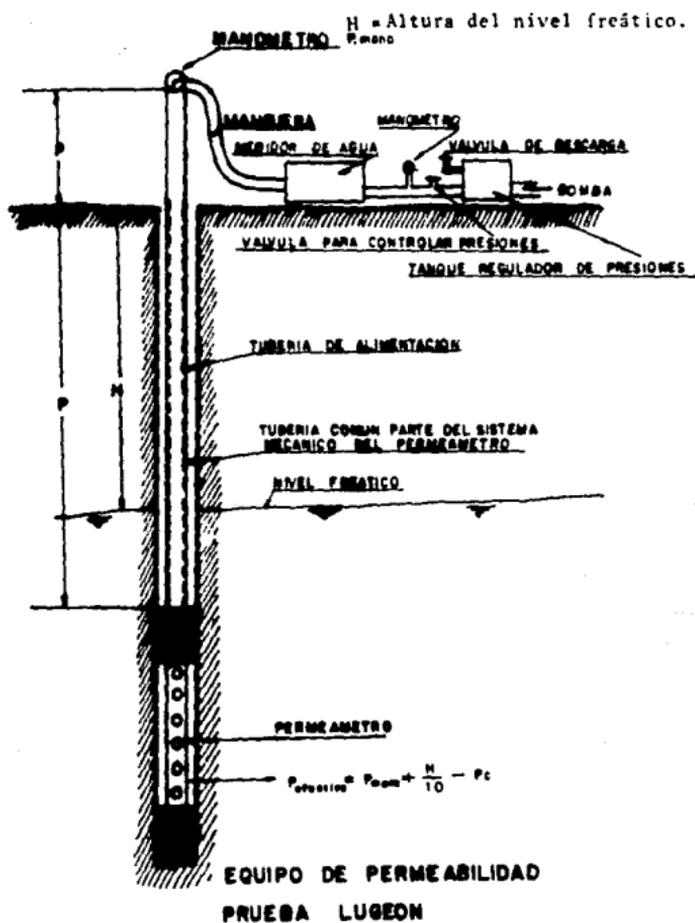


FIG. 10

VI.4.2.3 Índice de calidad de la Roca. (lam. 14)

.V. Deere ha establecido un índice de calidad de la roca ó RQD, con base al fracturamiento, grado de debilidad ó alteración del núcleo muestreado. Para determinarlo se suman los fracturamientos de dicho núcleo en estado sano y compacto con longitud mayor o igual a 10 cm, dividiéndose después esta suma entre la longitud total del tramo (en este caso se utilizan tramos de 3.05 m de longitud). Los valores se representan en porciento.

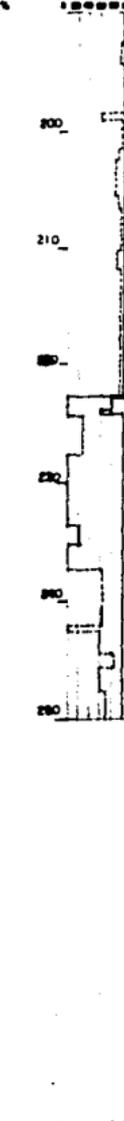
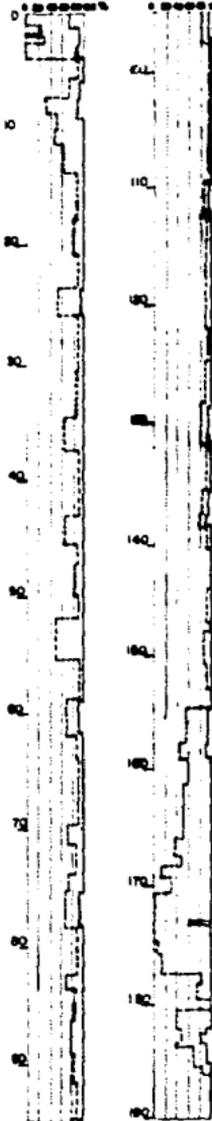
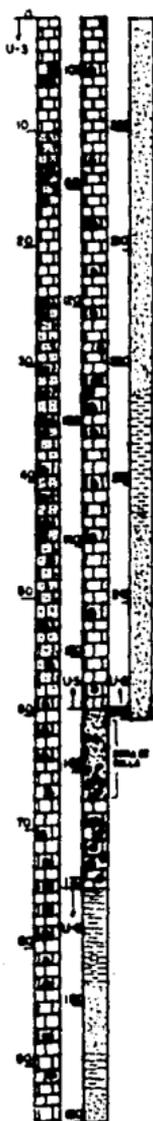
Deere estableció una relación de porcentaje entre el RQD y la calidad de la roca y es la siguiente:

Porcentaje	Calidad de la roca.
0 - 24 %	Muy mala
25 - 50 %	Mala
50 - 75 %	Regular
75 - 90 %	Regular
90 - 100 %	Excelente

Se debe tomar en cuenta que las muestras, al ser sacadas de los tubos, los núcleos muestreadores, generalmente sufren fracturas o, los perforistas al colocar estos núcleos en las cajas rompen las muestras para que tengan la

LITOLOGIA

RECUPERACION Y R.Q.D. MAYOR DE 10cm.



BARRENO 1 A

LITOLOGIA



medida exacta de las cajas. Estas fracturas no deben tomarse en cuenta como límite de fragmentos y no influyen en el tamaño de las muestras mayores de 10 cm para el RQD.

Los valores de RQD se dan en la tabla de barrenos, y se ha tomado solo un promedio del RQD de cada uno de los barrenos.

VI.4.2.4 Recuperación.

Para determinar el % de recuperación, se siguen los pasos siguientes: al sacar a la tubería del tamo perforado, (3.05m) se coloca el barril muestreador en las cajas protectoras de muestras, se mide la longitud de todos los núcleos y se divide entre 3.05, valores que se registra en porcentaje. Si dicha longitud es igual a la longitud del tramo, se tiene un 100% de muestra recuperada.

El RQD y el % de recuperación se debe hacer de preferencia al término del barreno para que los valores sean lo más exacto posible, ya que si se dejan a la intemperie, las cajas de muestras se maltratan y los núcleos sufren alteraciones que afectarían el resultado. Otro factor que es conveniente tomar en cuenta es que los perforistas no tienen el suficiente cuidado para el manejo de dichas cajas, las que se golpean y los núcleos pueden fracturarse y por consi

guiente afectar negativamente la determinación del RQD.

Socavones (lam 15)

Se excavaron en el Horst de Itzantún 13 socavones -- exploratorios con diferentes longitudes, 5 sobre la margen izquierda y 8 sobre la derecha, con una longitud total de 320 m de excavación terminada:

Las elevaciones y longitudes en los 5 socavones de la margen izquierda son las siguientes:

No. de socavón	Elevación m.s.n.m	Longitud metros	Unidad de Roca excavada
1	252.00	25.80	U2
2	232.63	36.70	U3
4	221.93	170.40	U2, U3
6	338.86	95.50	U2
8	211.56	141.50	U3

Las exploraciones hechas en estos socavones mostraron que la ladera de esta margen está decomprimida hasta una longitud de 20 m, al encontrarse en esta zona el mayor número de fracturas, las cuales se consideran peligrosas, ya que están abiertas hasta 20 cm, presentando en unas partes zonas de alteración y en otras rellenos de material arcilloso. Al terminar estos 20 m empieza la roca a ser mu-

cho más sana, solo afectada por fracturas en su totalidad - selladas por calcita.

Sobre la margen derecha se han excavado 8 socavones- en las siguientes elevaciones y longitudes:

No de Socavón	Elevación m.s.n.m.	Longitud metros	Unidad de Roca excavada
3	232.84	60.00	U3, U2
5	221.59	169.25	U2
5'	221.59	93.50	U2
7	355.20	67.50	U2
7*	355.20	57.60	U2
9	211.00	115.00	U3, U2
10	232.84	112.00	U2
10'	234.00	85.00	U2

La roca en esta margen derecha se encuentra menos -- fracturada que la de la margen izquierda y por lo tanto, -- las condiciones de roca son superiores a las de dicha márg-- gen izquierda. La zona de roca decomprimida en los prime-- ros metros de la ladera es de 10 a 15 m. Las fracturas se-- encuentran selladas por calcita y la roca no presenta carsi-- cidad. Solo existe una fractura de consideración, la cual, corre a rumbo en el socavón 10. Esta fractura tiene una -- abertura de 30 cm y se le observa una ligera filtración de--

agua. A los 40 m del portal de entrada dicha fractura se sella por calcita.

VI.5 Geología del Tunel Derivador

VI.5.1. Introducción.

Whilstron (1973 pag. 3) define a los túneles como -- excavaciones lineales subterráneas de pequeña altura y anchura en comparación con su longitud.

El túnel derivador tendrá una longitud de 13 km ---- aproximadamente y 7.5 m de diámetro, cortará a una secuencia de rocas sedimentarias del Terciario Medio, que forman la sierra de La Pava, denominada geológicamente como: Anticlinal "El Azufrito".

VI.5.2 Morfología del Anticlinal "El Azufrito".

Los arroyos que bajan por las cañadas en los flancos del anticlinal, son corrientes consecuentes; algunas de las corrientes son las más largas de la zona estudiada y corren a rumbo de capa, se encuentran en el centro del anticlinal y dirigen sus aguas hacia el río Amatán. Las corrientes de menor importancia son las corrientes obsecuentes localizadas cerca de la casa de máquinas y en el centro del anticli

nal.

Las diferentes resistencias de las rocas a la erosión permite a los arroyos laborar un tipo de relieve bien definido. En los flancos del anticlinal, debido a la alternancia de capas competentes e incompetentes, la acción de dos arroyos consecuentes inmediatos y sus tributarios subsiguientes, producen laderas triangulares, por lo cual, la sierra vista de frente parece tener dientes de serrucho de carpintero super puestas, por tantas salientes triangulares en los parteaguas locales. En la cima de la sierra, las capas competentes en posición más o menos horizontal, generan cuñas de cerros escalonados.

VI.5.3 Estratigrafía.

Afloran 4 Formaciones rocosas, las cuales, de la más antigua a la más reciente son: Formación El Bosque, Mompujil, Simojovel y Tulijá, que tienen edad del Eoceno al Mioceno.

La Formación Tulijá comprende a las unidades U1, y U2; la Simojovel desde la U3 a la U7; La Mompujil la U8, y la Formación El Bosque la U9. Estas unidades que serán cortadas por el túnel derivador se describen a continuación:

Unidad 1 (U1)

Está compuesta principalmente por areniscas de color gris verdoso y café claro, de grano medio a grueso, en estratos de 0.10 a 3 m de espesor; contiene intercalaciones de lutita de color gris oscuro, en estratos delgados.

La tenacidad de la roca es de media a baja se encuentra fracturada, es semicompacta. La permeabilidad de la arenisca es media, mientras que la de la lutita es baja. Estas últimas son (se rompen en láminas) fisiles y fáciles de erosionar. Se espera que el RQD sea bajo por su material arcillo-arenoso y por lo fracturado de la roca. El método de ataque para la construcción del túnel son explosivos con cargas variables. Como esta roca aflora donde se empezará la excavación, será necesario emportalar a la brevedad posible, además del revestimiento que le corresponda en los metros iniciales del túnel.

Unidad 2 (U2)

La unidad está constituida por lutitas gris verdosas, en estratos de 0.03 a 0.15 m de espesor que intemperizan a crema y café claro. Contiene intercalaciones de 0.05 a 0.40 m de espesor, el tamaño del grano varía de fino a medio; es una roca de tenacidad media, con matriz arcillosa y

porosidad media.

Es una unidad fácil de erosionar, con permeabilidad y tenacidad baja, en la unidad como un todo al RQD esperando es malo. En la zona, el túnel se deberá ademar inmediatamente despues del corte ya que se oxidan rápidamente, se contraen y pueden ocurrir caídos de dimensiones no predecibles. Esta unidad se atacará con procedimientos mecánicos y explosivos de carga baja.

Unidad 3 (U3)

Está constituida por una caliza fosilífera algo arcillosa de color gris rosado, que intemperiza a gris claro. - Su estratificación es de 0.50 a 3 m de espesor, llegando en ocasiones a ser mayores de 3 m. La capa como fracción menor de la unidad es algo ondulante con estructura nodular. - Contiene horizontes coralinos de 20 m de espesor.

Se observa poca disolución a través de los planos de estratificación, y un poco más de agua en las fracturas y en los horizontes coralinos.

Es una roca muy tenáz y resistente a la erosión, densa y compacta, la resistencia al corte es alta, es una roca estable con lo que se podrá trabajar con explosivos de car-

ga alta, teniendo cuidado en zonas muy fracturadas y en contacto con unidades adyacentes. El RQD se espera alto y en zona de falla, bajo, debido a lo fracturado del material. - Las posibilidades de contener agua son regulares, sobre todo en el contacto con la unidad 4.

Unidad 4 (U4)

Está compuesta por una alternancia de areniscas, lutitas y calizas biógenas.

Las areniscas son de color gris rojizo, algo arcillosa, con estratificación cruzada y cambios graduales en el tamaño de los sedimentos. Las capas varían de 1 a 4 de espesor. El tamaño del grano es de medio a grueso en la parte superior de esta unidad, y de fino a medio en su parte inferior. Es una roca porosa con matriz arcillosa, en su base cementada; contiene intercalaciones de lutita arenosa en estratos de 0.10 a 0.40 m de espesor de color gris oscuro que intertemperiza a café amarillento. Se intercalan capas de calizas biógenas de color gris oscuro y gris claro que intertemperiza a gris crema, los estratos en esta caliza biógena son de 0.20 a 0.60 m de espesor.

Esta unidad debido a lo heterogéneo y semideleznable de sus rocas es susceptible de contener agua por su lento -

descenso al nivel de saturación. En general la roca tendrá un RQD regular.

El procedimiento que hay que usar en el labrado del túnel es variable, así; en áreas donde el material es plás-tico, se piensa usar procedimientos mecánicos o explosivos con carga baja. En zonas donde hay calizas, como su espe-sor se considera pequeño (30 m de espesor total). Se ten-drá que usar explosivos con carga alta. En donde existan - cuerpos fáciles de desprenderse habrá que ademar.

Unidad 5 (U5)

Consiste en una caliza biógena de color gris obscuro, ligeramente arenosa y arcillosa, que intemperiza a cafe ama-rillento. Los estratos son de 1 a 3 m de espesor, con es-structura semi-nodular. Presenta grietas de disolución y -- fracturas rellenas de calcita.

Es una roca dura, densa y compacta; su permeabilidad y posibilidad de encontrar acuíferos en baja. Por lo que - no se tendrá que ademar, pero sí revestir al terminarse to-do el túnel. La roca se puede atacar con explosivos de car-ga alta.

Unidad 6 (U6)

Consta de una arenisca de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, mal cementada, de color café y violeta, en capas de 2 a 3 m de espesor: Contiene cuerpos cementados con carbonato de calcio.

Esta unidad puede contener agua en zonas mal cementadas, con lo que su porosidad y permeabilidad serán altas. - El RQD se considera malo. La roca es susceptible de ser atacada con procedimientos mecánicos y explosivos de carga-baja.

Unidad 7 (U7)

Son lutitas arenosas de color gris verdoso y gris azulado, en capas de 1 a 3 m de espesor, con intercalaciones de areniscas de 0.10 a 0.50 m de espesor de color café-grisáceo y amarillento. Toda la unidad intemperiza a café-crema y rojizo.

Es una unidad fácil de erosionar, con permeabilidad y posibilidad de encontrar acúfferos en el trazo del túnel, bajos. El RQD se considera malo por el material plástico. - Es susceptible de ser atacada con procedimientos mecánicos, - e inmediatamente después del corte ademarla por ser una uni

dad poco estable.

Unidad 8 (U8).

Está constituida por calizas biógenas con estratificación gruesa a masiva de color gris cremoso que intemperiza a café amarillento. Es una roca dura, resistente a la erosión, compacta muy estable al corte. La posibilidad de encontrar acuífero es alta y más en la zona del portal de salida donde se considera una área con gran disolución, con muchas posibilidades de encontrar cavernas.

En la zona del túnel esta unidad se atacará con explosivos de carga alta.

Unidad 9 (U9).-

Esta constituida por una serie alternante de areniscas de color rojo de grano medio a grueso, en capas gruesas, porosa y de permeabilidad media; lutitas y limolitas de color verde, violeta y rojizo con estratificación cruzada, fisiles, deleznales y fáciles de erosionar.

Esta unidad es fácil de erosionar, su RQD esperado se considera malo, es probable que en el trazo del túnel se pueda encontrar agua, además de que habrá que ademar por su

inestabilidad. Esta unidad se atacará con procedimientos - mecánico.

VI.5.4 Geología Estructural del Sitio del Tunel.

El área de estudio del tunel derivador, de unos 300-
km² de extensión, comprende desde la boquilla hasta el NW -
por toda la sierra. Las rocas que afloran en esta superfi-
cie son: Areniscas, calizas y lutitas, correspondiendo en-
edad al Eoceno, Oligoceno y Mioceno.

Las estructuras que cortará dicho tunel son dos: El
anticlinal, El Azufrito y el Sinclinal San Pedro que a con-
tinuación se describen.

VI.5.4.1 Anticlinal El Azufrito.

El eje de la estructura se orienta de NW a SE; su --
plano axial es asimétrico y se inclina hacia el sur. Se en-
cuentra afectado por varios tipos de fallas: En normales, -
inversas y transcurrentes.

El tunel cortará a esta estructura en su flanco sur,
donde los echados son gran magnitud (55° a 75°), mientras -
que al norte las capas se inclinan con echados menos incli-
nados (25° a 35°). Sobre el eje del anticlinal, la falla -

inversa ha inclinado fuertemente a las capas de magnitud -- normales, es decir, al sur de la colonia Carrizal, sobre el eje del anticlinal, los echados se vuelven subhorizontales y en la colonia Morelos, echados de 17°, 25° y 6° al SW, S y SE respectivamente.

VI.5.4.2 Sinclinal San Pedro.

El sinclinal San Pedro corre de NW a SE formando la parte noroeste del embalse. Su expresión topográfica en la confluencia de los ríos San Pedro y Tacotalpa es muy suave--teniendo una altura de 220 m.s.n.m. que se lleva hacia ---- aguas arriba del San Pedro (cerca de la colonia La Competencia) hasta una altura de 300 m.s.n.m.

Este sinclinal, de eje buzante al NW, es más o menos simétricos con flancos inclinados de 20 a 30°. Dicho sinclinal se encuentra afectado por varias fallas transversales que hacen a su eje se desvía hacia el NE unos 450 m.

VI.6. Obras Auxiliares.

VI.6.1 Introducción.

Entre las obras más importantes que se construirán en el Proyecto Hidroeléctrico Itzantún, está la obra de toma,-

el tunel derivador y la casa de máquinas, situada a orillas del río Amatán afluente del río Tacotalpa, aproximadamente a 25 km aguas abajo de la boquilla, en los límites del Estado de Chiapas con el de Tabasco.

VI.6.2 Obra de Toma

La obra de toma del tunel derivador quedará ubicada frente a la colonia La Competencia, en la orilla izquierda del río San Pedro, sector oeste del embalse.

La roca donde quedará dicha obra será la unidad 1 U1 de la Formación Tulijá, que consiste en estratos gruesos de arenisca de 1 a 3m de espesor de color café claro y grisáceo, semicementada, de porosidad media a alta. Se le intercalan delgados estratos de lutitas ffsiles de color gris -- verdoso.

Se debe tomar en cuenta que la roca en esta obra, se encuentra alterada e intemperizada por lo que será necesario revestir a la brevedad posible, con concreto armado todas las excavaciones que se realicen para ese propósito.



Fotografía No. 9. Portal de entrada del túnel derivador.

VI.6.3. Túnel Derivador. (Las 16, 17)

El túnel derivador tendrá una longitud total de --- 11,300 m a través del anticlinal El Muñito. En los primeros 1,450 m, a partir de la obra de t m, tendrá una cubierta de rocas que va de 100 a 200 m. En los siguientes 8 km, la cubierta variará de 300 a 800 m, dominando los espesores gruesos; en los últimos metros variará de 50 a 300 m de espesor.

La obra cortará diagonalmente al rumbo de la estratificación con ángulo de 35° a 40° . Los estratos en la primera mitad de la obra se inclinarán hacia atrás de la excavación, con echados de 20° a 30° al principio, para después incrementar dicho ángulo hasta 50° y 75° con respecto al

plano horizontal. En el flanco NE del anticlinal los estratos se inclinan hacia el frente con echados 20° a 30° ya en los últimos 1,500 m para volverse a inclinar hacia atrás -- del túnel con ángulos diedros de 20° a 40° .

En el cuadro geotécnico que aparece en la lám. 17 se dan las características litológicas y geotécnicas de las rocas en superficie como: Dureza, textura, abrasidad, fracturamiento, posibilidad de contener agua, tipo y espesor de la estratificación, sus condiciones mecánicas supuestas, -- también se indican las condiciones geotécnicas y geológicas a nivel del túnel.

Las condiciones mecánicas de las rocas que van a ser atravesadas indican que las calizas serán de excelente calidad y no necesitarán de mayor cuidado constructivo. Las otras rocas que contienen arcilla no serán de esa calidad, pero se puede decir que una vez en el interior del macizo, tanto en las lutitas como las otras rocas de esta serie serán de fácil excavación y no presentarán mayores problemas, siempre y cuando se protejan inmediatamente después del corte, para evitar que se desmoronen, al contacto con el aire.

El túnel será de doble pendiente: En los primeros 5 km se construirá con una pendiente de + .2%, es decir subirá 2 m por cada km, mientras que los otros 6,300 m ten---

drán una pendiente de -4%, es decir bajarán 4 m por cada km. con lo cual se descargará un gasto de $170 \text{ m}^3/\text{seg}$ a una velocidad de 3.85 m/seg y generará 510 MW de electricidad. Este gasto será constante ya que el NAMINO admitido está a la cota 390 m.s.n.m. y con el NAMINO de operación a la 400 m.s.n.m. la obra trabajará con el 95% de su capacidad.

Las fallas que atravesará dicho túnel no implicarán problemas, ya que cortará a estas casi transversalmente. -- Estas fallas solo presentarán dificultades locales y la cantidad de agua separada no puede ser tal como para estorbar la excavación.

La primera falla la cortará a los 3,000 m, ésta es de transurrencia, con una dirección NE a SW, casi E-W. La obra la cortará casi normalmente esperando solo problemas de agua, pues la falla caerá sobre calizas con estructura nodular. La segunda falla está a los 7,450 m es de tipo inverso, pone en contacto en la unidad 8 con la unidad 9; el túnel cortará a esta con un ángulo de 20 a 30° en las areniscas, lutitas y limolitas de la Formación El Bosque, siendo ésta una roca blanda por lo que se tendrá que ademar a la brevedad posible su permeabilidad será baja a pesar de su alta porosidad.

Las dos fallas siguientes caen en las longitudes de-

excavación 9,830 y 11,900 m respectivamente. Estas dos fallas son de tipo normal, encontrándose escalonadas y afectando las dos a la Formación Mompuyil. Se considera probable su contenido de agua, también en esta caliza se esperan otro tipo de problemas, al cruzar su potencial carsicidad, ya que se tienen grutas y dolinas en la superficie de esta misma unidad, esperándose dificultades no deseadas durante la excavación del túnel, por impredecibles descargas violentas de agua provenientes del laberinto que forman las cavernas.

Con lo que respecta a la aereación, este túnel tendrá contrapozos que se colocarán en lugares donde la capa que cubra a dicho túnel sea mínima, esto es con el objeto de preveer un desfóque ya sea en el llenado del túnel o cuando el aire se acumule durante la operación.

El túnel tendrá revestimiento de concreto a lo largo de todo su tramo, con espesor mínimo de 35 cm y un espesor promedio de 40 cm. El concreto se sugiere siempre en los tramos de roca de excelente calidad y concreto reforzado donde haya roca mala.

VI.6.3.1 Barrenación.

La barrenación en el túnel derivador solo se encuen-

tra realizada en la obra de toma. Se han perforado 7 barrenos, todos verticales, sobre la unidad uno (miembro superior de la formación tulijá), que son areniscas con intercalaciones de lutitas. Estas areniscas son de mala a regular calidad, a pesar de su recuperación haya sido buena, hasta de un 90%. El fracturamiento de éstas rocas es escaso, incrementándose solo en los primeros metros. El R.Q.D. es bajo porque las capas delgadas de areniscas están intercaladas con lutitas que se recuperan en obleas y porque al poco tiempo de estar expuestas al interperie el núcleo se desmorona. Los valores de R.Q.D., determinados después de vaciar el barril muestreados, son diferentes de R.Q.D, cuando el material se seca.

No. de Barreno	Longitud	Unidad de Roca a Cortar
1	70.85	U-1
2	75.85	U-1
3	90.50	U-1
4	120.00	U-1
5	95.60	U-1
6	107.85	U-2
7	189.80	U-2

Se observa que los sondeos lograron perforar a la unidad 2 (miembro inferior de la Formación Tulijá) constituida por lutitas.

Conforme a los sondeos proyectados, éstos se perforarán a lo largo del túnel siguiendo su traza, dichos sondeos se harán cada 200 m aproximadamente, y si es necesario a menor distancia el uno de otro. En los lugares donde sea inacesible hacer un sondeo, como en los grandes escarpes y donde la distancia a perforar es muy grande, no hacer exploración con máquina.

VI.6.4 Pozo de Oscilación.

El pozo de oscilación se ubicará al final del túnel - sobre la cota 350. Abajo de esta obra se colocará la rampa de la tubería y después la casa de máquinas. Las rocas donde se colocará dicho pozo, son las calizas biógenas de la - unidad 8 U8, donde sus estratos son gruesos a masivos, la - intensidad de sus capas varía de 15° a 25° al NE. Se considera a esta roca resistente a la erosión y tenaz por lo que la colocación del pozo no presentará problemas.

La rampa de la tubería caerá sobre rocas blandas poco competentes, físiles y fáciles de erosionar, estas rocas -- son las lutitas de la unidad 7 U7. Se tiene también una ca

pa de suelo y roca alterada de 5 a 10 m de profundidad que habrá que eliminar hasta llegar a la roca sana. La rampa tendrá una distancia del pozo de oscilación a la casa de máquinas de 955 m y la altura que alcanzará será de 278 m.

VI.6.5 Casa de Máquinas.

La casa de máquinas quedará ubicada sobre la margen derecha del río Amatán, a un costado del arroyo El Retiro. La roca en esta zona corresponde a lutitas algo arenosas de la unidad 7.

La casa de máquinas se tendrá que desplantar sobre roca sana, por lo que las capas de suelo y roca intemperizada se deberán de limpiar.

La cota a la que se desplantará dicha obra será a la 59 m.s.n.m. El arroyo El Retiro será ensanchado y profundizado con pendiente suave, para utilizarlo como canal de desfogue.

Las turbinas descargarán un caudal aproximado de 100- a 200 m³/seg sobre el canal de desfogue y no se esperan problemas en las poblaciones inmediatas al río Amatán por causa del volumen adicional de agua vertido. En este lugar hay espacio para futuras ampliaciones y para la colocación-

de la subestación eléctrica.

Esta casa de máquinas tendrá 3 unidades de 170 MW cada una que harán un total de 510 MW, con una producción anual de 2 100 GWh.

VI.7 Materiales de Construcción.

VI.7.1. Grava-arena.

Estos materiales se encuentran en los ríos Tacotalpa, San Pedro y Cuculó, con volúmenes muy reducidos. Entre estos tres ríos se localiza una terraza aluvial formada por cantos de caliza mal clasificados, en donde abundan los rodados mayores de 10 cm. El tamaño de la arena tiende a ser fina; el limo es abundante. Debido a esta granulometría no es posible que se utilicen como agregados para la construcción, por lo que será necesario un proceso de trituración.

VI.7.2 Arcillas.

Abunda en los suelos y formaciones que afloran en áreas cercanas a la boquilla por lo que no representa ningún problema su localización y extracción. Aguas arriba y abajo de la boquilla se localizan arcillas en las formaciones Simojovel y Tulijá.

VI.7.3 Enrocamiento.

Junto a la boquilla se tienen grandes volúmenes de caliza de las unidades uno y dos las que son bastante duras y competentes. Solo las dos márgenes se tienen grandes cantidades de caídos de estas dos unidades pero es en la margen izquierda por su fácil acceso los que pueden servir como material de construcción. Desde el rfo sobre esta misma margen izquierda, a 250 m sobre la traza Itzantún se tiene una inestable que puede ser aprovechada como material de construcción correspondiendo a la unidad dos. Debido a la resistencia, composición y textura de las unidades uno y dos, al triturarse se podrá elaborar concreto de buena calidad.

CAPITULO VII

Conclusiones y Recomendaciones

En el río Tlacotalpa se ha proyectado la construcción de una presa de arco; la altura de la cortina será de 256 m, el NAME será a la cota 434 m.s.n.m. y el NAMO a la 430 m.2.n.m. Tendrá en la margen derecha 2 vertedores y 1 túnel de desvío. Se construirán ataguas aguas arriba y -- abajo de la cortina para facilitar las maniobras.

La cortina se desplantará en la boquilla de Itzantún, la cual está constituida por calizas duras, densas y resistentes a la erosión.

La casa de máquinas será externa, se colocará cerca del río Amatán afluente del Tacotalpa como a 25 m aguas -- abajo de la boquilla. Para llegar el agua hasta esta casa de máquinas será necesario la construcción de un túnel desde el río San Pedro (en el lado oeste del embalse) hasta el río Amatán, al otro extremo de la sierra, por lo que dicho túnel atravesará a una estructura geológica denominada anti

clinal El Azufrito. El túnel tendrá 12 km de longitud ---- aproximadamente y un diámetro de 7.5 m.

El embalse abarcará una área aproximada de 100 km² - y se localiza sobre rocas arcillosas impermeables.

Debido a su volúmen, el embalse que a la cota 430 m. s.n.m. es del orden de los 10 000 millones de m³, representa un medio efectivo para la regularización total del caudal natural del río Tacotalpa y para el control de las avenidas de inundación que afectan a la región aguas abajo en el Estado de Tabasco.

La Fisiografía nos dá idea de como se encuentra el terreno y de cuales son los lugares favorables para la búsqueda de proyectos hidroeléctricos.

La Hidrografía consiste en saber los diferentes modelos de drenaje y en encontrar zonas que puedan acarrear problemas a las obras que se piensan construir.

En el área de estudio afloran calizas Cretácicas del Grupo Sierra Madre las cuales son tenaces y densas, se caracterizan por tener carso. El sistema Terciario está compuesto por lutitas y márgas de color gris, donde las lutitas --

son ffsiles e impermeables y las margas son mas tenaces y -
resistentes a la erosión; estas rocas pertenecen a la Forma
ción Soyalo del Paleoceno. El Eoceno está constituido por
la Formación El Bosque que son lutitas, limolitas que son -
rocas fáciles de erosionar e impermeables; y areniscas ro--
jas de porosidad y permeabilidad media.

El Oligoceno Inferior está representado por la Forma
ción Mompuyil que son calizas biógenas estratificadas y ma-
sivas, duras densas y resistentes a la erosión. El Oligo--
ceno Superior se representa por una alternancia de calizas,
areniscas y lutitas con variadas propiedades ffsicas. El -
Mioceno se representa por lutitas ffsiles e impermeables, y
areniscas de la Formación Tulijá. El sistema Cuaternario -
es representado por depósitos de talud, aluvi6n y suelos.

La boquilla del P.H. Itzantún está labrada sobre ro-
cas calizas muy duras, densas y competentes; la roca de ---
ambas márgenes presenta pequeños y aislados rasgos de diso-
lución a través de fractuas: La disolución en fracturas es
mejor indicada en la zona de roca de comprimida de las lade
ras.

Las rocas donde se apoyará la cortina de la presa se
han dividido para fines prácticos en 3 unidades:

Unidad 1 Cza (U1).

Son calizas estratificadas, color gris a crema, duras, densas y competentes; en estratos de 0.50 a 1.50 m de espesor a veces masivas no se intercalan capas arcillosas o de lutita entre los estratos. Se localiza en la zona superior de ambas márgenes.

Unidad 2 Cza (U2).

Caliza masiva color gris, dura, densa y compacta: -- Constituye la mayor parte de la boquilla en ambas laderas, es un paquete con 180 m de grosor.

Unidad 3 Cza (U3).

Caliza arenosa, color gris oscuro (calcarenita) fosilífera, bien estratificada; muy dura, densa y compacta; se encuentra en capas de 1.00 a 6.00 m de espesor, constituye la zona inferior de la boquilla y cauce del rfo.

Las tres unidades se disponen sin irregularidad alguna de una margen a la otra con un rumbo NW 50° SE buzando o inclinándose 24° hacia aguas abajo y ligeramente de la margen izquierda a la margen derecha.

El macizo es afectado por 4 familias de fracturas, -- son más típicas tres de ellas: ∞ con dirección N 30°E; β con dirección dominante N-S, γ con dirección NW45°SE; y δ con tendencia E-W. El fracturamiento es de mayor consideración en la margen izquierda. Las fracturas por lo general están selladas por calcita. Los fenómenos cársticos -- son leves y observables aisladamente en algunas fracturas -- donde la disolución ha afectado los rellenos de CaCO₃. La -- permeabilidad de la unidad de calizas U1 y U2 oscila entre 5 y 10 unidades Lugeón y muy aisladamente superior a 15 U.L. -- La unidad inferior de calizas U3 registra valores inferiores a las 5 unidades Lugeón. En el cauce del río no se han encontrado depósitos de aluvión ni fracturamiento importante, la roca U3 es prácticamente impermeable con valores inferiores a 5 U.L.

El rasgo tectónico más notable localizado junto a la cortina de la presa es la falla Itzantún que pasa 100 m -- aguas arriba de la boquilla, paralela al eje de la misma. -- Se trata de una falla cuya traza va de Este a Oeste con un rumbo NW 80°SE; el plano de falla buza 55° a 60° hacia aguas abajo. Según la historia geológica-tectónica de sitio indica que al parecer este accidente tuvo su origen al final -- del Terciario cuando se plegó y se falló las rocas de esa -- región. Sobre su traza no se observan evidencias morfológicas frescas, que sugieran movimientos o posible actividad.

reciente o por lo menos en los últimos 10,000 años. Lo anterior, -- desde luego, podrá ser comprobado instrumentalmente con evidencias de tipo sismológico. La falla Itzantún pone en contacto en la zona estudiada (soc. 8 y 9 sondeos, etc.), las rocas competentes de las calizas arenosas (U3) de la Formación Mompuyil, con rocas incompetentes (U-6). Las primeras se encuentran muy sanas aún junto al plano de dicha falla; la U6 compuesta de roca arcillo-arenosas, yeso, etc, se manifiestan en un espesor de 4 a 6 m todos los efectos de los esfuerzos que originaron el afallamiento.

En el marco geológico regional, la falla Itzantún -- que tiene 5 a 10 km de largo se ubica más al norte de las fallas de Chicoasén-Malpasso, falla muñiz, Huixtán y otras -- que llegan a tener hasta 200 km de largo. Sobre estas grandes fallas se comprobó, mediante estudios radiométricos -- (Estudios para el Proyecto Chicoasén) que los materiales recientes que las cubren, no han sido afectados por movimientos modernos y desde hace más de 5 millones de años y, que dichas fallas han permanecido inactivas. Esos rasgos tuvieron su origen al final de la tectónica Terciaria que ocurrió hace 5 a 10 millones de años, y no han presentado actividad en el régimen sismotectónico actual. La falla Itzantún es pequeña comparativamente a las ya mencionadas y se encuentra más alejada de las zonas sísmicas del pacífico --

donde se generan los temblores del S.E. de México.

El embalse en proyecto quedará alojado sobre una estructura de tipo sinclinal (sinclinal San Pedro y Tacotalpa) constituido principalmente por lutitas, y observa condiciones estructurales y de permeabilidad del terreno ideal para almacenamiento. Las posibles fugas del embalse se localizan solamente a través del macizo o horst calcáreo de Itzantún, sobre el cual se requerirá una pantalla de inyección. El horst de Itzantún está rodeado por el efecto de afallamiento, por rocas arcillo-arenosas impermeables de la Formación Simojovel con lo cual queda asegurado geológicamente el cierre del embalse. En las trazas de las fallas hacen contacto rocas impermeables, y además se encuentra selladas por minerales arcillosos, yeso o calcita que ha sido inyectado o depositado a través de los planos de afallamiento limitado el posible flanqueo de las aguas del embalse. Las fracturas del maciso calcáreo normalmente están selladas por calcita lo cual disminuirá notablemente los volúmenes de inyección requeridos.

Hacia aguas arriba de la boquilla se observan materiales de talud inestables con 8 a 20 m de espesor están formados por bloques de caliza empacados en limo y arcillas sueltas. Aunque la magnitud de estos depósitos no ponen en riesgo las obras del proyecto es conveniente se evalúen con

métodos geofísicos o sondeos de diamante; estos descansan sobre materiales arcillo-arenosos muy plásticos de la U6 -- (lechos rojos).

Junto a la boquilla sobre la margen izquierda se --- observa una zona decomprimida de la ladera con forma piramidal limitada en su base por el contacto entre la U2 y U3 y se acuña aproximadamente a la elevación 270.

Las excavaciones subterráneas podrán efectuarse y en cualquier diámetro en U1, U2 ó U3, sin problemas de estabilidad, preeviendo un mínimo de anclajes para las unidades - 1 y 3.

El vertedor se excavará sobre la margen derecha, su desarrollo será totalmente en la caliza masiva U2, dura y compacta. No se prevee en la obra problemas de estabilidad.

A 4 km del sitio para la cortina, en la confluencia de los ríos San Pedro y Cuculó se tiene materiales de bo---leos y grava con poca arena con un volúmen aproximado de 1- millon de m³; este material requiere clasificación y trituramiento para poder utilizarse en agregados para concreto. Las calizas U1 y U2 trituradas podrán utilizarse como agregados de concreto. En sitios cercanos a la obra de toma, -- túnel y casa de máquinarias se cuenta con depósitos con ma-

terial de boleo grande con grava y arena.

Los estudios geológicos de superficie en la zona del túnel y los sondeos efectuados permiten a la fecha disponer de una clara interpretación acerca del modelo geológico de-estructura y tipo de roca que se cortarán al nivel del túnel.

La obra se excavará bajo una estructura anticlinal - (El Azufrito) integrado por una gama de rocas sedimentarias que va desde lutitas, areniscas, limolitas, calizas duras, etc. La secuencia de rocas, que cortará el túnel se ha dividido para fines geotécnicos en 9 unidades, distinguibles sobre la superficie del terreno.

El túnel cortará en su primera mitad partiendo de -- obra de toma una secuencia heterogénea (U1 a U8) de rocas - con propiedades mecánicas también muy variadas desde muy -- buenas a condiciones muy pobres y críticas que seguramente -- causarán en algunas partes problemas en la excavación. Los métodos de excavación y los cuidados que se prevén en el - tratamiento de las rocas, podrían disminuir las dificulta-- des por superar. Los sitios críticos se indican en los pla-- nos y cuadros anexos.

Se estiman como posibles acuíferos a las unidades --

U8 y U6 principalmente, en menor grado la U3 y U5 pero en cualquiera de las otras unidades limo-arcillosas la ligera presencia de humedad o aguas en confinamiento aunadas o propiedades mecánicas pobres de la roca, causarán problemas de estabilidad. La presencia de acuíferos con un caudal apreciable podrían no tener efectos de consideración en las zonas de caliza. Como medidas de prevención se deberá contar en la excavación con cunetas, drenajes, etc.

La obra de toma y portal de entrada del túnel de conducción se localiza en una zona de areniscas con lutitas intercaladas de U1 que tendrán propiedades mecánicas regulares a pobres y, podrá ser constituida con algunos problemas de sustentación de la roca. Un sitio adecuado se ubica frente a "La Competencia".

El portal de salida y pozo de oscilación podrá construirse sobre calizas (U8) recomendándose un sitio junto al arroyo "El Retiro". En dicho lugar no se tendrán problemas graves de excavación con excepción de la presencia de aguas subterráneas en volúmenes considerables.

Se está realizando estudio sísmico de reflexión y geoelectrónicos para apoyar y confirmar los datos geológicos-obtenidos, como son la estructura, litología, posición de

fallas, zonas de intenso fracturamiento, profundidad de los niveles hidrostáticos, etc., ya inferidos por información superficial.

Previamente a los resultados de las exploraciones en proceso, se estima que en la excavación del túnel se requerirán preparativos para resolver los problemas de inestabilidad; ya que algunas partes de esa obra corta unidades de roca suaves e inestables donde se usará ademe, inyecciones o anclajes.

No se preeven dificultades con el terreno en el área donde se pretende instalar la tubería de presión y la casa de máquinas que se localiza junto al río Amatán o El Escalón.

Se deben programar barrenos en donde se pondrá la pantalla de inyección, para saber las características del terreno, con permeabilidad y cálculo del nivel freático en los dos márgenes.

Hacer sondeos en los taludes de aguas arriba de la boquilla y sobre los dos márgenes para poder, cuantificar su volúmen.

Hacer trincheras en los taludes para saber que tan -

inestables son. Sobre la traza de la falla Itzantún también se debe hacer éste trabajo.

Hacer sondeos aguas abajo de la boquilla sobre la traza de la falla normal, para saber la magnitud, grado de alteración y permeabilidad, tanto del barreno como de la zona de la falla. En esta zona se están haciendo socavones con el fin antes señalado.

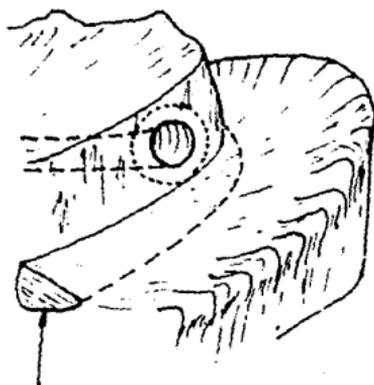
Los socavones hechos y los programados a la fecha son suficientes, pero es posible reducir unos de estos socavones y/o programar otras en lugares que puedan darnos mejores propiedades de tenacidad y resistencia al corte y posibilidad de contener agua, fracturas y carsos que puedan ser problemas para la construcción de las obras.

En el túnel derivados debe continuarse la barrenación como se está llevando a cabo y si es posible intensificar los sondeos sobre la traza.

Sobre la entrada del túnel se debe empezar a hacer la construcción de una coyotera o socavón aproximadamente de 2 a 7 m como los hechos en la boquilla. Esta coyotera deberá seguir la traza del túnel con el fin de conocer la consistencia de la roca, así: Si en el portal de entrada,

la roca es susceptible de producir caídas, será necesario - poner un tipo de anclaje o escalones para la buena sustentación del material que rodeará al túnel en su entrada.

En donde el socavón corte material lúftico se podrá saber si dicho material es inestable y con que rapidéz se oxida y si sufre caídas, así como también la posibilidad de encontrar fracturas y zonas donde la roca este húmeda. Si el socavón se extiende demasiado como es de esperar, y si empiezan a existir problemas de aereación que puedan causar daño en el organismo de los obreros entonces sería preferible la construcción de respiraderos a lo largo de la traza del túnel en donde cubierta de roca no sea de gran espesor.



Material
de limpieza



Socavones a uno y otro lado
del respiradero

Socavones de menor diámetro
que el túnel derivador.

En los respiraderos se pueden comenzar a escavar socavones a uno y otro lado sobre la traza del túnel; esto es para conocer las propiedades físicas del terreno, su permeabilidad, estabilidad de la masa rocosa, posibilidad de encontrar corrientes de agua y gases tóxicos que causen daños a los obreros. Estos respiraderos y socavones se deben hacer en la unidad 8, en donde es probable encontrar arroyos subterráneos. Si se considera en algunas partes, continuar con socavones exploratorios ya escavados, por un posible peligro más adelante entonces se puede programar barrenos horizontales, con el fin de saber si existe algún peligro como son las zonas de fallas.

En la obra de toma existe material arcilloso que debe ser quitado para agrandar la zona en donde se encuentra el portal de entrada y que no haya problemas de azolve que obstruya el paso del agua hacia el túnel.

Se deben hacer sondeos en la casa de máquinas para cuantificar el material alterado y la capa de suelo, estos serán de una profundidad aproximada de 50 m y el material se deberá quitar y dejar roca sana.

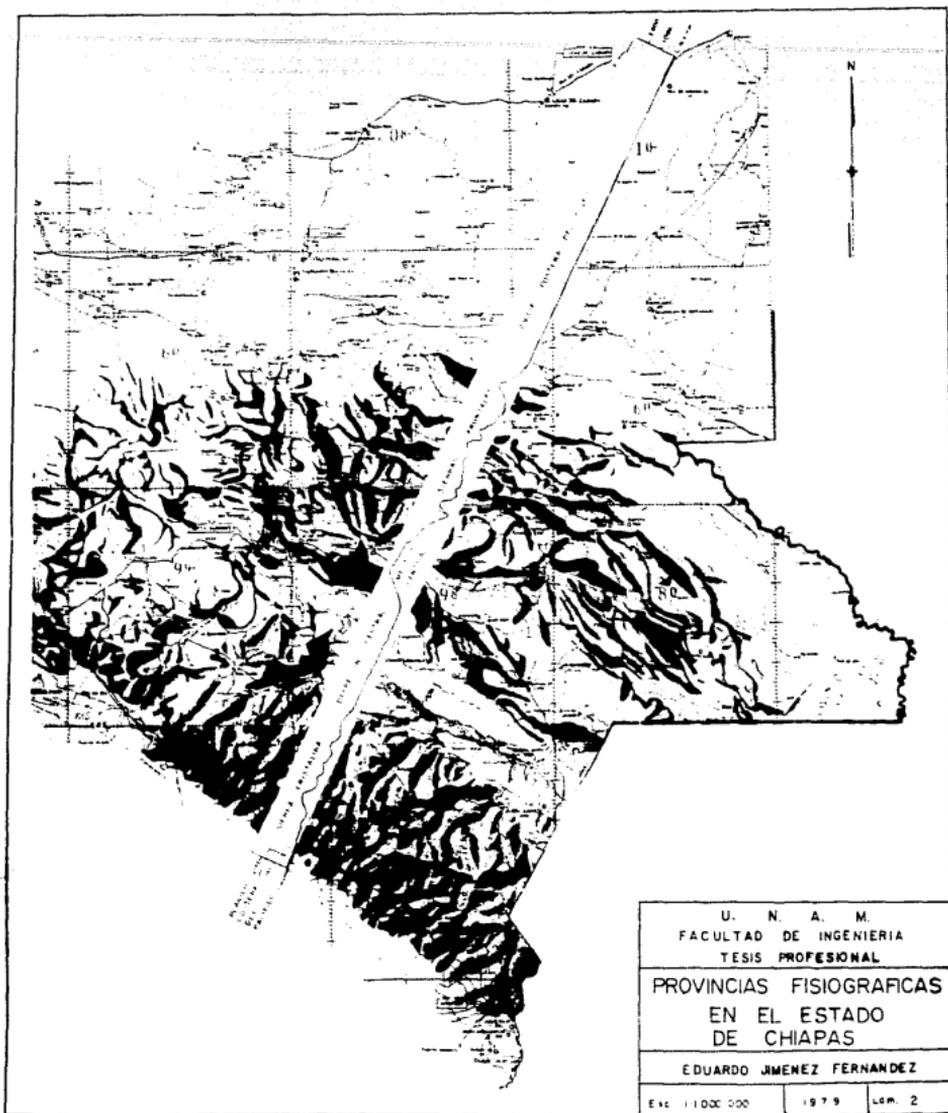
Se profundizará el arroyo El Retiro, para verter las aguas que salgan de la casa de máquina.

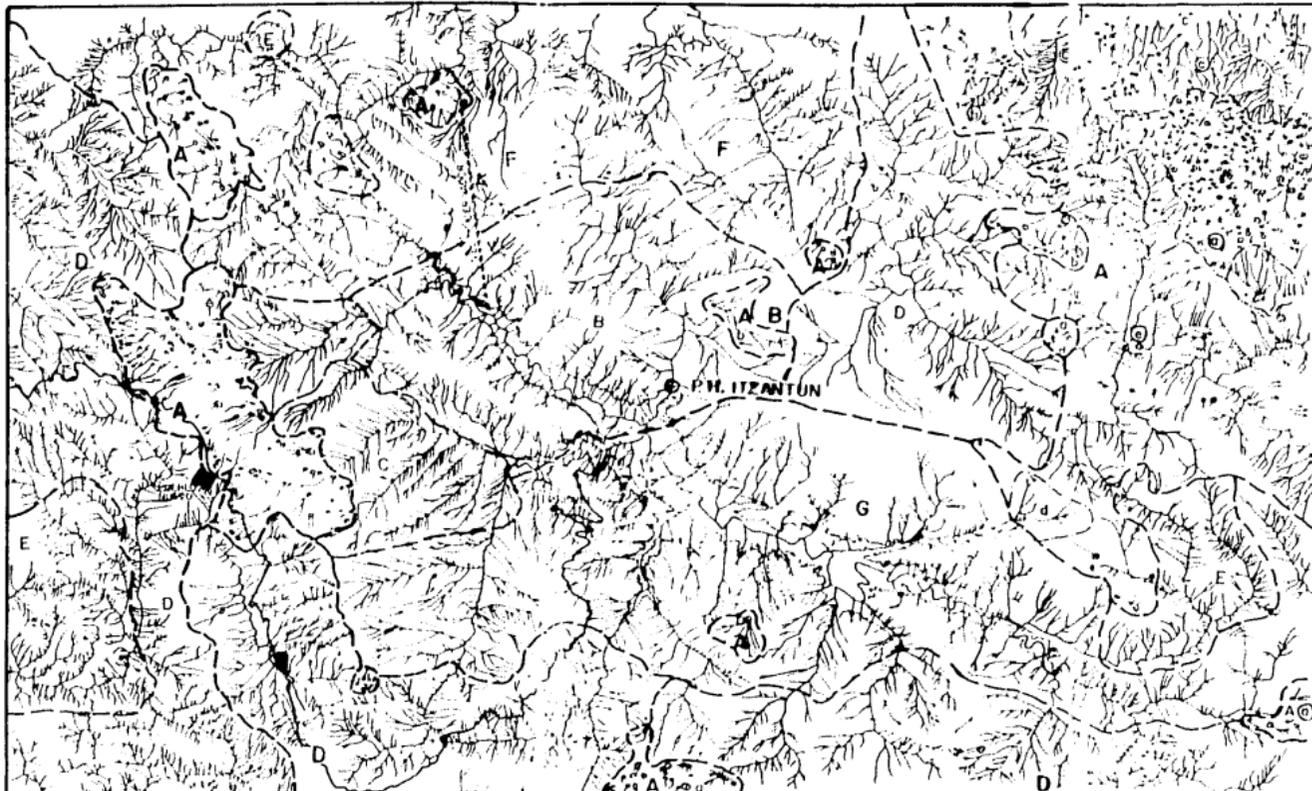
La operación del llenado del embalse será conducida en forma programada y controlada, para que la posible energía encerrada en las fallas se descarge lentamente, procediendo por escalones y arretando la operación de vez en cuando sobre un nivel dado, con el fin de conseguir un asentamiento total de los terrenos alrededor de la falla, sin desencadenar movimientos peligrosos para las obras.

Si el llenado es rápido se pueden desencadenar sismos inducidos por la energía acumulada en las fallas. Estos sismos pueden ser en forma rápida y violenta como también en forma lenta y sin peligro.

P L A N O S

A N E X O S.



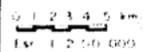


PLANO DE LOCALIZACION



SIMBOLOGIA

- Dolina
- Drenaje
- Embalse
- Límite de drenaje



Elaborado por:
 Facultad de Ingeniería
 Tesis Profesional
 M. en C. Eduardo Jiménez Fernández
 Ed. 1975

DESCRIPCION HIDROGRAFICA

UNIDAD "A".- Modelo de drenaje cónico, donde las corrientes terminan en dolinas. Se clasifican en varios tipos.
 a) Arroyo que cae en una dolina.
 b) Corriente principal arborescente.
 c) Corriente principal angulosa con afluentes arborescentes.

- d) Dolina capturada corrientes de los linderos adyacentes.
- e) Corrientes principales rectangulares con afluentes arborescentes.

UNIDAD "B"
 - Modelo de drenaje en enrejado.
 - Sus corrientes principales son primarias y sus afluentes están en ángulo recto.
UNIDAD "C"
 - Modelo de drenaje angular.

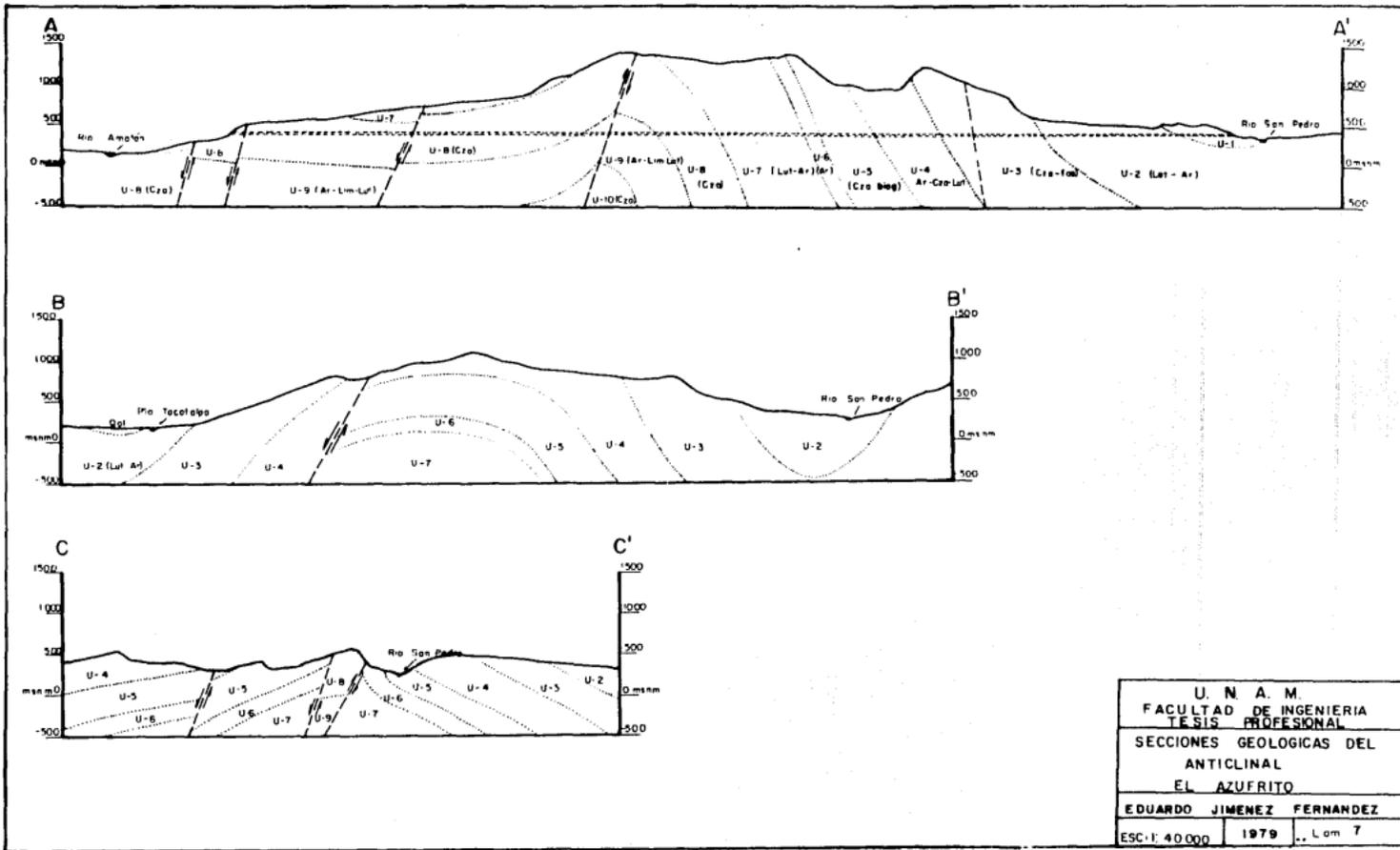
UNIDAD "D"
 Modelo de drenaje dendrítico.
UNIDAD "E"
 Modelo de drenaje angular.
UNIDAD "F"
 Modelo de drenaje rectangular.

UNIDAD "G"
 Corriente principal arborescente y tributarios menores angulosa.

UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL

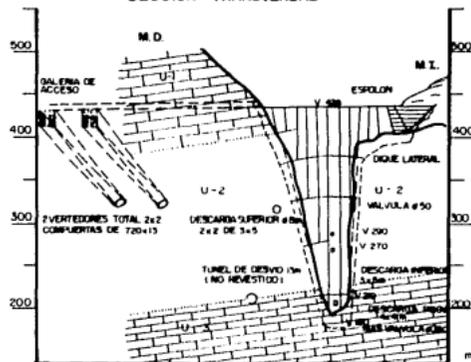
MAPA HIDROGRAFICO
 MODELOS DE DRENAJE.

EDUARDO JIMENEZ FERNANDEZ

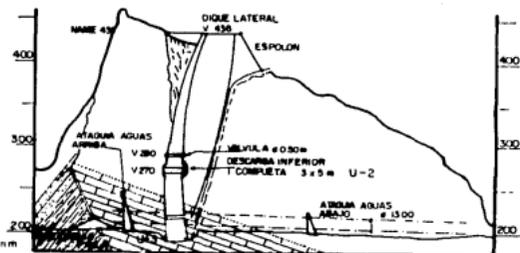


U. N. A. M.		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
SECCIONES GEOLOGICAS DEL		
ANTICLINAL		
EL AZUFRITO		
EDUARDO	JIMENEZ	FERNANDEZ
ESC-1: 40000	1979	.. Lam 7

SECCION TRANSVERSAL



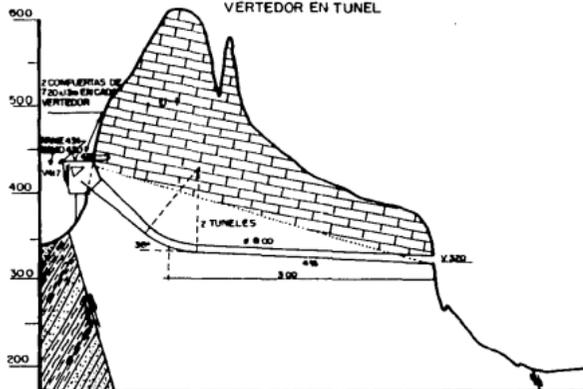
PERFIL A LO LARGO DEL RIO



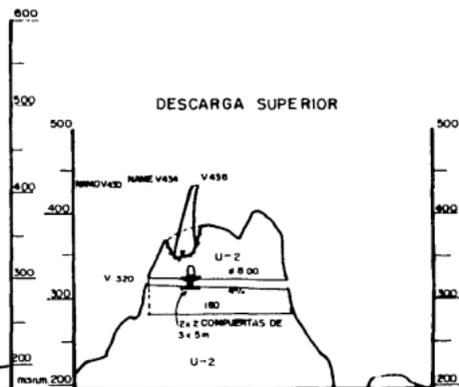
LITOLOGIA

- U-1** Calka dura en estratos de 0.50 a 1.50m de espesor
- U-2** Calka masiva muy dura
- U-3** Calka arenosa muy dura, estratos de 1.00 a 5.00m de espesor
- U-6** Limolitas, lutitas y areniscas rojas

VERTEDOR EN TUNEL



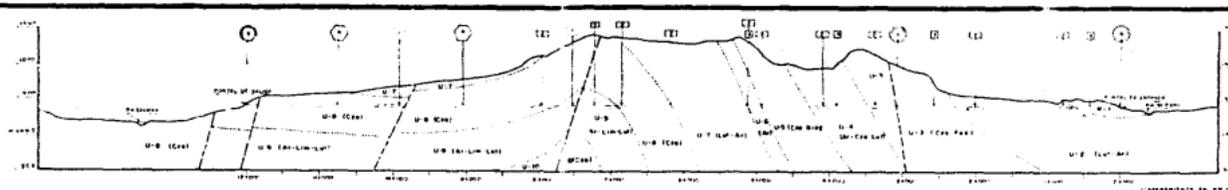
DESCARGA SUPERIOR



U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
SECCIONES A TRAVES
DE LAS OBRAS CIVILES
EN LA BOQUILIA.

EDUARDO JIMENEZ FERNANDEZ

ESC:1 4 000 1979 Lem 12



CONDICIONES GEOTECNICAS INFERIDAS AL NIVEL DEL TUNEL

CANTON	CANTON	CANTON	COMPACTACION		ESTRATIFICACION	ESTRATIFICACION	ESTRATIFICACION								
			ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA			
10001	10002	10003	10004	10005	10006	10007	10008	10009	10010	10011	10012	10013	10014	10015	10016

CONDICIONES FISICAS SUPERFICIALES DE ROCAS SOBRE EL TRAZO DEL TUNEL

CANTON	CANTON	CANTON	COMPACTACION		ESTRATIFICACION	ESTRATIFICACION	ESTRATIFICACION								
			ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA			
10017	10018	10019	10020	10021	10022	10023	10024	10025	10026	10027	10028	10029	10030	10031	10032

ZONAS CRITICAS ESTIMADAS

- 1. ZONAS DE RIESGO ALTA, BAJA, MODERADA Y INTERMEDIARIA SEGUN EL TIPO DE FALLA.
- 2. ZONAS DE RIESGO ALTA, BAJA, MODERADA Y INTERMEDIARIA SEGUN EL TIPO DE FALLA.
- 3. ZONAS DE RIESGO ALTA, BAJA, MODERADA Y INTERMEDIARIA SEGUN EL TIPO DE FALLA.
- 4. ZONAS DE RIESGO ALTA, BAJA, MODERADA Y INTERMEDIARIA SEGUN EL TIPO DE FALLA.
- 5. ZONAS DE RIESGO ALTA, BAJA, MODERADA Y INTERMEDIARIA SEGUN EL TIPO DE FALLA.

LITOLOGIA

- 1. ...
- 2. ...
- 3. ...
- 4. ...
- 5. ...
- 6. ...
- 7. ...
- 8. ...
- 9. ...
- 10. ...

ESCALA 1:40 000

U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

CUADRO GEOTECNICO DE LAS
CONDICIONES DE ROCA EN
EL TRAZO DEL TUNEL

EDUARDO JIMENEZ FERNANDEZ

1970 Lem No 17

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

Bermudez Oscar J.
 ESTUDIO GEOLOGICO DEL PROYECTO HIDROELECTRICO,
 PERITAS,
 Río Grijalva Chis.
 Facultad de Ingeniería UNAM,
 Tesis Profesional,
 1977.

Bose E.
 GEOLOGIA DE CHIAPAS Y TABASCO,
 Bol. del Inst. de Geol. de México-
 1905.

Burke Burkart,
 OFFSET ACROSS THE POLOCHIC FAULT OF GUATEMALA END-
 CHIAPAS MEXICO,
 Department of Geology University of Texas at Ar-
 lington Geology
 Vol. 6 .

CETENAL,
 PRECIPITACION Y PROBABILIDAD DE LA LLUVIA EN LA RE
 PUBLICA MEXICANA Y SU EVALUACION,
 Climas, Chiapas y Tabasco,
 Instituto de Geología UNAM,

...Cartas de climas
 Instituto de Geología UNAM
 1970.

...Operational Navigation Chart,
 Esc: 1: 1 000 000,
 1978.

...Cartografía Provisional,
 Esc: 1: 50 000
 1973.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

- ...Proyecto Hidroeléctrico Itzantún,
Informe Preliminar No. 1
1977.
- ...Geología del Proyecto Hidroeléctrico Itzantún,
Río Tacotalpa Edo. de Chiapas,
1978.
- ...Geología del Proyecto Hidroeléctrico Itzantún,
Río Tacotalpa Edo. de Chiapas,
1979
- ...Residencia de Estudios Geológicos del Alto Río
Grijalva.
Simojovel Chis.

Deere D.V.,
K.G. Stagg y, O.C. Zinkiewics,
CONSIDERACIONES GEOLOGICAS,
Mecánica de Rocas en la Ingeniería Práctica,
Ed. Blume,
Madrid.

Díaz Cabral E,
INFORME GEOLOGICO DEL P.H. ITZANTUN,
Río Tacotalpa,
Inédito C.F.E.
1966.

Departamento de Agricultura, E.U.,
Servicio de Conservación, de suelos,
INGENIERIA GEOLOGICA,
Ed. Diana,
1973.

Departamento del Interior E.V.,
DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS,
Ed. CECSA,
1966.

Espinosa L.L.,
FOTOGEOLOGIA DEL AREA NORTE DE SIMOJOVEL,
I.P.N.
Tesis Profesional ESIA,
Inédito,
1964.

Juárez B., E. Rico R. A.,
MECANICA DE SUELOS,
Ed. Limusa,
Tomo I y II,

México,
1973.

Kostenko N.P.,
GEOMORFOLOGIA ESTRUCTURAL,
Instituto de Geografía UNAM,
1973.

Krynine D.P. y Judd W.R.,
PRINCIPIOS DE GEOLOGIA Y GEOTECNIA PARA INGENIEROS,
Ed. Omega,
Barcelona, España,
1957.

Lobeck A.K.,
GEOMORPHOLOGY,
Mc Graw-Hill Book Company Inc.,
1939.

Marsal, R.J. y Reséndiz N.R.,
PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO,
Ed. Limusa,
México,
1975.

Mohl Justus,
INFORME DEL RIO TACOTALPA,
Inédito,
1971.

PEMEX,
EXPLORACIONES GEOLOGICAS EN EL SURESTE DE MEXICO,
Inéditos,
1975.

Pettijohn Francis J.,
SEDIMENTARY ROCKS,
Harper and Brothers New York, Third Edition,
1975.

Romero Morales P.R.,
ESTUDIO GEOLOGICO PETROLERO DEL ANTICLINAL BONAMPAK
ESTADO DE CHIAPAS.,
Facultad de Ingeniería UNAM,
Tesis Profesional,
Inédito.

Timoty A. Cross y Rex H. Pilger Jr.,
CONTRAINS AN ABSOLUTE MOTION AND PLATE INTERACTION
Inferred from Cenozoic Igneous Activity in the

Western United States,
American Journal of Science,
Vol. 278,
1978.