

10 -

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO "HUITES" CHOIX, SIN.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A:

JORGE ROBERTO HERNANDEZ SAMAYOA



MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-154

Al Pasante señor JORGE ROBERTO HERNANDEZ SAMAYOA
P r e s e n t e .

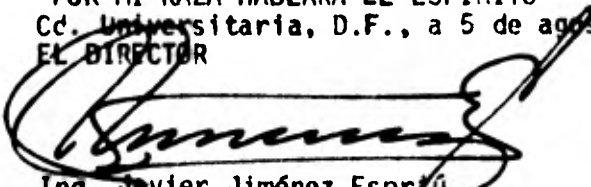
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Prof. Ing. Leovigildo Cepeda Dávila, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO GEOLOGO.

"GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO HUITES,
MUNICIPIO DE CHOIX, SINALOA".

- I.- Resumen
- II.- Generalidades
- III.- Geografía
- IV.- Geología Regional
- V.- Geología Local
- VI.- Geología de las obras
- Conclusiones y recomendaciones
- Bibliografía
- Planos e ilustraciones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 5 de agosto de 1980
EL DIRECTOR


Ing. Javier Jiménez Esprú

JJE 'MRQ' mdb.

INDICE

PAG.

RESUMEN

I. GENERALIDADES	1
I.1 Antecedentes	1
I.2 Objetivos del estudio	2
I.3 Métodos de trabajo	4
3.1 Topografía	4
3.2 Geología de Detalle	5
3.3 Reconocimientos geológicos	6
II. GEOGRAFIA	8
II.1 Localización y vías de acceso	8
II.2 Clima y vegetación	9
II.3 Provincia Fisiográfica	10
II.4 Hidrología	11
II.5 Aspectos socioeconómicos	14
III. GEOLOGICA REGIONAL	16
III.1 Introducción	16
III.2 Estratigrafía Regional	16
III.3 Tectónica Regional	21
III.4 Geología Histórica	23
IV. GEOLOGIA LOCAL	26
IV.1 Geología del Vaso	26
1.1 Introducción	26
1.2 Estratigrafía	26
1.3 Estructuras y alteraciones	36
IV.2 Geología de la Boquilla	37
2.1 Introducción	37
2.2 Estratigrafía	40
2.3 Geología Estructural	49

V. GEOLOGIA DE LAS OBRAS Y ASPECTOS GEOTECNICOS	54
V.1 Socavones, barrenación- y geoffisica	54
1.1 Desplante de la --- Cortina	54
1.2 Empotramiento de -- la cortina	58
1.3 Obras de excedencia	63
1.4 Túneles de desvfo	76
1.5 Obra de toma, casa- de máquinas y desfo gue	79
1.6 Acceso a la corona y entrada de vertedo - res	83
V.2 Bancos de Materiales	85
2.1 Introducción	85
2.2 Arcillas	85
2.3 Gravás y arenas	87
2.4 Materiales para enro camiento	88
RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	89
BIBLIOGRAFIA	
RELACIONES DE BARRENOS, SOCAVONES Y LEVANTAMIENTOS GEOFISICOS	
APENDICE FOTOGRAFICO	
RELACION DE PLANOS	

RESUMEN

El proyecto hidroeléctrico Huites se encuentra localizado en la parte noreste del estado de Sinaloa, cerca de los límites con los estados de Chihuahua y Sonora.

El objetivo final de este proyecto es conocer las condiciones geotécnicas a que estará sujeta la construcción de una presa de tierra y enrocamiento sobre el Río Fuerte, la cual tendrá una cortina de 165 m de altura y un embalse con un área de 26 020 Km².

El P. H. Huites generará 980 GWH de energía al año. A la vez abrirá al riego 35 000 hectáreas y mejorará el rendimiento de las 242 000 que forma el sistema de las presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez, sin olvidar los demás beneficios interrelacionados que lleva una presa a la región.

Desde 1960 se iniciaron los estudios del sitio por la Comisión Federal de Electricidad. Los informes de García Herrera y Díaz Cabral (1962) y Ramírez Gutiérrez y García Herrera (1963) constituyen el resultado concreto de los estudios efectuados en aquella época. Se definió la geología general del sitio y se iniciaron las exploraciones subterráneas en el área de la boquilla.

A partir de entonces hubo actividad esporádica en el proyecto, hasta mayo de 1979, fecha en que se entró de lleno a llevarlo adelante. En noviembre de 1979 se presentó el primer informe anual del trabajo de exploración realizado por el personal de la Brigada Móvil de Perforación.

Con esta información general, Electroconsult procedió a realizar el primer diseño de las alternativas para la presa y la evaluación de las mismas.

Las soluciones propuestas fueron:

- Cortina de concreto con contrafuertes
- Cortina de concreto en arco
- Cortina de materiales graduados

Después de su evaluación económica y geotécnica preliminar se seleccionó la tercera como la más conveniente.

El esquema escogido para la solución propuesta fue el siguiente:

a) Cortina de materiales graduados con un volumen total de 12.9 millones de m^3 , ubicada algo aguas arriba de la boquilla de Huites, con nivel de la corona a 300 msnm, altura máxima 165 m y ancho al nivel superior de 450 m. La cortina con sus obras propias de tratamiento de las cimentaciones interesan una superficie de 107 000 m^2 en el cauce y a ambas márgenes con un sistema de galerías de inyecciones y drenajes.

b) Embalse caracterizado por:

NAMO	283 msnm
NAMINO (para hidroelectricidad)	225 msnm
NAMINEX (para uso total del agua)	215 msnm
NAME	295 msnm
Capacidad total al NAMO	3 933 millones de m^3
Capacidad al NAMINE	500 millones de m^3
Capacidad útil	3 710 millones de m^3

La cuenca cerrada por la presa tiene 26 020 Km^2 .

El espejo líquido tiene una superficie al NAMO de 90.6 Km^2 y una longitud máxima de 67 Km aproximadamente.

c. Obras de desvío: 3 túneles de 800 m de longitud, ubicados en la margen izquierda, con diámetros de 15 m, sin revestimiento, avenida de diseño de 14 500 m^3 /seg (recurrencia 50 años); atagüa de materiales graduados con corona a la cota 213 m incorporada a la cortina principal.

d) Obras de excedencia: 3 túneles vertedores para la Alternativa 1 ubicados en la margen izquierda e independientes de la cortina y de las otras obras, longitud de 1 020 m, incluyendo las transiciones, diámetro revestido de 18.2 m; capacidad de descarga de 21 900 m³/seg que corresponde a un pico entrante de 33 500 m³/seg (recurrencia 10 000 años). La Alternativa 2 tiene características semejantes excepto que su longitud es de 680 m.

Cada túnel estará controlado por 3 compuertas radiales de 12.0 por 16.5 m, con cimacio fijo al nivel 270.0 m.

La Alternativa 3 considera un canal abierto de 2027.5 m en el lugar denominado "Puerto de las Cruces".

e) La toma para riego servirá también para el control del primer llenado del embalse y estará constituida por un túnel independiente en la margen izquierda, controlado por compuertas planas de 2.40 por 3.50 m; el nivel de la boca toma estará a 215.0 m para aprovechar todo el volumen útil del vaso. La capacidad de descarga será de 215 m³/seg al nivel mínimo y de 450 m³/seg al nivel máximo.

f) Las obras de generación estarán en la margen derecha, y constarán de cuatro conducciones de 5.5 m de diámetro, tuberías de presión inclinadas y casa de máquinas en subterráneo equipada con 4 unidades con potencia de 83 MW al salto mínimo y 130 MW al salto de diseño. La potencia nominal total instalada será de 520 MW. El agua turbinada se descargará al pie de la cortina aguas abajo por medio de un túnel de desfogue.

g) El patio de la llave al nivel 170.0 m estará colocado en la planicie al lado derecho del túnel de acceso a la casa de máquinas y del portal de desfogue. Tendrá 2 líneas de 220 KV de salida hacia la red Sonora-Sinaloa con una longitud de 90 Km.

Las obras adicionales estarán constituidas por caminos de acceso, edificios varios y trabajos eventuales de arreglo para la protección de los puentes y plataformas lindantes del Ferrocarril Chihuahua al Pacífico, que bordea y cruza el embalse en los ríos Chínipas y Septentrión.

De acuerdo con este diseño y para conocer las condiciones de la roca en donde quedarán emplazadas estas obras se programaron y desarrollaron varios socavones, barrenos y líneas de geofísica, siendo el objetivo de este estudio integrar esta información y obtener de ella el mejor provechoso posible.

Se está realizando actualmente una geología más detallada del Vaso de Huites; sin embargo, el reconocimiento general del área ha permitido establecer la columna geológica de la región, y se ha llegado a la conclusión de que no hay mayor efecto tectónico o estratigráfico que se traduzca en derrumbes o filtraciones excesivas que pongan en peligro la estabilidad de la presa.

La columna estratigráfica está constituida por meta-andesitas y meta-traquitas (hornfels o corneanas) del Jurásico; calizas parcialmente metamorfizadas del Jurásico-Cretácico; meta-areniscas y meta-conglomerados verdes del Cretácico Inferior; el batolito Sonora-Sinaloa del Cretácico-Eoceno, de composición granítica y granodiorítica; areniscas y conglomerados abigarrados del Terciario y finalmente basaltos y diques doleríticos y andesíticos, así como depósitos de talud y aluvión, todos del Cuaternario.

La presencia de las rocas metamórficas del Jurásico es explicable como el resultado del metamorfismo causado por la intrusión del batolito Sonora-Sinaloa a una secuencia vulcano-sedimentaria preexistente durante la Revolución Laramide.

Regionalmente hay un fracturamiento y afallamiento con di-

rección preferencial al norte y noroeste que limita bloques claramente definidos.

En el área de la boquilla se observa una columna estratigráfica más sencilla, constituida por corneana, granito, ignimbrita riolítica y diques doleríticos, aplíticos y ácidos.

Para el aspecto geotécnico del proyecto, la corneana es de fundamental importancia, porque en esta roca quedarán alojados gran parte de los túneles de desvío y también de los vertedores. Aunque está muy fracturada en superficie, a profundidad mejora su calidad y se comporta como impermeable, debido a que está menos fracturada y ha sufrido silicificación y turmalinización por efectos del batolito. Localmente presenta propilitización, que no cambia sus propiedades mecánicas, y argilitización que la afecta desfavorablemente.

La cortina quedará desplantada en corneana y granito. Esta última roca, aunque alterada al grado de disgregarse en superficie, a pocos metros de profundidad está fresca y es dura, maciza y compacta.

La casa de máquinas quedará emplazada en la estructura llamada informalmente "domo granítico". La exploración realizada por medio de barrenación y excavación subterránea confirman plenamente la calidad inmejorable de esta roca.

Sobre una superficie de erosión formada por corneana y granito se depositó la secuencia ignimbrítica, de color rosa y composición fundamentalmente riolítica. Sus afloramientos son espectaculares por formar escarpes que alcanzan hasta 200 metros. La obra de toma para la casa de máquinas deberá labrarse en esta roca.

El basalto es la roca más joven del área. Por intemperismo ha dado lugar a una superficie de arcillas que se espera poder utilizar para construir el núcleo impermeable de-

la cortina.

Tectónicamente el sitio presenta características de esfuerzos distensivos que, combinados con las fracturas por enfriamiento, dan como resultado un fallamiento en bloques o escalonado que afecta a toda la columna estratigráfica. Se han definido tres rumbos predominantes de fracturamiento: -NNW, NW-SE y N-S, que suelen manifestarse con fallas normales verticales o casi verticales y fallas inversas de inclinación similar.

Los resultados obtenidos con las exploraciones geológicas superficiales y subterráneas fueron los siguientes:

a) Por la margen derecha de la boquilla el empotramiento quedará totalmente en granito, que es una roca sana con unas cuantas fracturas cerradas de corta extensión y orientación preferente al NW.

b) El empotramiento izquierdo de la cortina estará en granito hacia la base, corneana en su porción intermedia e ignimbritas hacia la parte superior. El contacto ignimbrita-corneana es discordante, con orientación casi E-W e inclinación al norte sin presentar mayor efecto tectónico o de alteración. La ignimbrita es de buena calidad y la corneana está poco fracturada; el rumbo preferencial de las fracturas es NW con inclinaciones que varían de 70° al SW y 85° al NE.

El contacto corneana-granito está afallado, con rumbo N 10° W y echado de 46° al NE; se presenta en superficie como una fractura rellena por salbanda rojiza de 10 a 15 cm de espesor y en forma similar en el Socavón No. 3.

La corneana presenta cierto grado de hematización sobre todo en las proximidades del contacto; las fracturas más notorias son paralelas a la falla y algunas están rellenas de calcita y óxidos de hierro. Es notable el fracturamien

to preferencial hacia el NNW y en segundo lugar hacia el N y NE.

Para verificar las características de esta falla y evaluar el riesgo potencial que presenta por cruzar prácticamente en la base del eje de la cortina se desarrolló el Socavón No.17 con 23.93 m de longitud y dejó expuesta esta estructura por 14.50 m.

Se pudo comprobar que la falla tiene un rumbo de N 10°W y echado de 60° NE. La zona de falla tiene un espesor variable entre 0.30 y 2.50 m y es evidente la presencia de material cataclástico.

c) El espesor del aluvi6n en la base de la cortina varía entre 11 y 19 m, cubriendo a 10.75 m de granito intemperizado que más abajo mejora su calidad considerablemente, -- tal y como se observa en superficie. Sin embargo, en el barreno No.20 se cortaron 95 m de corneana antes de alcanzar el contacto afallado con el granito.

d) Los vertedores de excedencia quedarán alojados en la margen izquierda, contándose con dos alternativas para situar el portal de entrada.

El Socav6n No.7 sirvió para explorar la Alternativa 1, tiene 184 m de desarrollo y, con excepción de un dique de diabasa y algunos ap6fisis de granito, está totalmente labrado en corneana. Esta roca está alterada, al grado de ser deleznable en los primeros 27 m del socav6n. Más adelante se ve fresca pero está muy fracturada, con ligero predominio de las fracturas con orientación al NW. No obstante, no se han presentado problemas de sustentación en la reducida sección del socav6n.

Se desarrolló el Socav6n No.11 para explorar la Alternativa No.2 de entrada de vertedores, con un total de 110.46 m y cuatro cruceros. Se encapilló en ignimbrita, al pie de

un cantil muy firme, circunstancia que aunada a la menor longitud para los túneles, está a favor de esta alternativa para la obra definitiva. Más adelante se encontrará la corneana pero no hay porqué esperarla en condiciones diferentes a las de la Alternativa 1.

La salida de vertedores es común para ambas alternativas. Se la exploró por medio del Socavón No. 9, labrado en granito hasta los 202.10 m, en donde aparece en contacto aflado con la corneana, con una orientación al N10° W y echado de 45° NE.

Hay dos direcciones preferenciales del fracturamiento en el granito, una casi a rumbo del socavón y otra normal a éste. Algunas fracturas están rellenas de clorita, arcilla y óxidos de hierro y otras están cerradas; algunas zonas de filtración se derivan de la proximidad del socavón con la superficie. La corneana presenta el fracturamiento normal del área, pero se ve firme.

Los barrenos realizados a lo largo del eje de vertedores, alternativas 1 y 2, confirman los resultados obtenidos con los socavones.

e) También los túneles de desvío quedarán en la margen izquierda. Se ha investigado la condición del eje por medio del Barreno 11 que llegó a 90.15 m de profundidad en corneana. El Barreno No.13 cortó 64.75 m de granito cerca del portal de salida. No cambiaron las condiciones expresadas para ambos tipos de rocas.

Además, para verificar las condiciones de la roca en su portal de entrada se desarrolló el Socavón No.15, que tuvo una longitud de 98.83 m en corneana y se ve bastante alterada y fracturada hasta los 50 m de profundidad, aunque luego mejora su calidad.

f) El Socavón No.4, en la margen derecha, ha servido para

probar que el bloque de granito en donde estará alojada la casa de máquinas es de calidad inmejorable, lo cual ha sido confirmado por la perforación adicional de un barreno vertical de 85 m a partir del crucero occidental de dicho socavón.

El barreno 32 sirvió para comprobar la calidad del granito bajo 15.2 m de talud en el futuro túnel de desfogue. Los efectos del intemperismo se manifiestan por 12 m para continuar hasta 60.7 m de granito de buena calidad.

g) Las condiciones de la roca en donde quedará ubicada la obra de toma para generación se exploró por medio del Socavón No. 6 que tiene una longitud de 159.38 m, pudiéndose observar durante los primeros cincuenta y un metros que la roca está bastante fracturada.

El crucero 1 de este socavón tiene una longitud de 56.88 m y su objetivo fue definir en el subsuelo los contactos ignimbrita/corneana e ignimbrita/granito. Ambos se presentaron afallados.

h) El Socavón No.13, con una longitud de 422.14 m, forma parte del camino de acceso a la corona y entrada de vertederos. Su portal de entrada está en la corneana, encontrándose el contacto con la ignimbrita a los 100.5 m de desarrollo. Se trata de un contacto erosional, normal y parcialmente sellado. La corneana está sana y poco fracturada, con algo de propilitización y argilitización que, en ningún momento, han amenazado la estabilidad de la obra, no obstante su sección de 4 x 4 m. La ignimbrita está muy sana y es resistente al golpe.

La primera sección del socavón tiene una longitud de 206.00 m y la roca es el miembro T₁ de la ignimbrita; al final de esta parte el socavón se amplía por cuatro metros más hacia la derecha y sale a la primera cañada, en

la cual pasa una falla inversa de poco desplazamiento em -
plazada por un dique de diabasa. Se puede observar la zo-
na cataclástica propia de la falla y un intenso fractura -
miento, acompañado de una marcada propilitización en la ro
ca.

La segunda sección del socavón es de 67.58 m y está desa -
rrollada en un bloque de ajuste entre dos fallas, razón --
por la cual la ignimbrita se halla muy fracturada pero sin
que se hubieran presentado problemas de estabilidad. A la
salida de este tramo se observa un dique emplazado en una
falla normal. La cañada que se ha formado por erosión di-
ferencial mide 18.45 m.

La tercera sección del socavón mide 113.29 m y está desa -
rrollada en un bloque muy estable de ignimbrita.

i) El camino del Socavón No.3 al Socavón No.15 se constru
yó para tener un acceso permanente en la margen izquierda
aún en época de lluvias. Con este camino fue posible com-
probar algunos datos estructurales como son la presencia -
de fallas, zonas de alteración y diques.

j) Los estudios realizados hasta la fecha indican que no-
será difícil conseguir volumen y calidad adecuada para gra
vas y material para enrocamiento. Por el contrario, la ar
cilla para el núcleo impermeable es escasa y de mala cali-
dad. De cualquier manera, se tiene confianza en mejorar -
su calidad mediante el tratamiento adecuado.

k) El apoyo geofísico se realizó para confirmar las pro -
piedades mecánicas de las rocas que alojarán las obras ci-
viles. Fue muy útil para delimitar espesores y continuidad
en los bancos de gravas y arenas.

Se emplearon métodos de prospección geoelectrica con arre-
glo tetrapolar Schlumberger, prospección sísmica de refrac
ción y microsísmica, cuyos resultados no tuvieron divergen

cias notorias con las interpretaciones hechas por geología.

En la margen izquierda de la boquilla la prospección geoelectrica permitió definir una zona de encape con espesores de 1 a 5 metros y resistividades de 60 a 1920 ohms-m, una segunda zona con resistividades de 74 a 900 ohms-m, desde la superficie o por abajo de la primera zona y, por fin un basamento de espesor indefinido y con resistividades de 230 a 1470 ohms-m.

También con sísmica de refracción se reconocieron tres zonas: una con velocidades de 236 a 640 m/seg, otra comprendida entre 2 154 y 2 824 m/seg y una tercera zona, con velocidades superiores a 3 000 m/seg.

Para la margen derecha de la boquilla también se definieron tres zonas: una con resistividades de 20 a 500 ohms-m y espesores de 1 a 11 m, una zona intermedia de 60 a 720 ohms-m y, finalmente una zona de espesor ilimitado, con resistividades de 72 a 950 ohms-m. Con sísmica de refracción se determinaron valores de 380 a 900 m/s; 2 550 a 3 204 m/s y 2 700 a 5 000 m/s para las mismas zonas.

En el área de la casa de máquinas hay una zona de encape, con espesores de 0.25 a 9 m cuyas resistividades varían de 78 a 850 ohms-m.

En el área del portal de entrada de vertedores, Alternativa 1, se definió una zona con resistividades y velocidades bajas que se interpretó como una zona débil y de alta permeabilidad en la corneana, correspondiente a lo observado en geología.

En el área de salida, por el contrario, las velocidades y valores de resistividad indican que el granito es de buena calidad. Hay pequeñas áreas con valores bajos que se han interpretado como un aumento en el contenido de minerales conductores, y no por falla en la calidad mecánica de la

roca.

También se realizó el levantamiento microsísmico de todos los socavones y se hizo la determinación de los módulos -- elásticos. Los resultados obtenidos sobre la calidad de la roca coincidieron fielmente con los levantamientos geológico-estructurales realizados.

Con la información obtenida se pudo concluir que geotécnicamente sí es posible la construcción de la presa de Huites, con una cortina de materiales graduados; y el sitio escogido para la boquilla, aún siendo una zona afallada, no representa mayor riesgo estructural para las filtraciones o la estabilidad de las obras.

Así mismo, las exploraciones realizadas en el vaso y que se continúan actualmente, no han reflejado hasta la fecha mayor riesgo que se traduzca en derrumbes o fugas de agua.

CAPITULO I

GENERALIDADES

I.1 ANTECEDENTES

En 1960 Palacios Nieto elaboró el primer informe geológico preliminar sobre La Boquilla de Huites, en el cual daba -- las primeras recomendaciones para estudiar con más detalle el área. En ese mismo año la empresa Estudios y Proyec -- tos, S. A. realizó un estudio para aprovechar los recursos del Río Fuerte, que incluía el proyecto de una presa de re -- gulación de avenidas, irrigación y generación de electri -- cidad en Huites.

Como resultado de ello, en 1962 se reanudaron los estudios de la zona, esta vez por García Herrera y Díaz Cabral, -- quienes efectuaron un levantamiento geológico de semideta -- lle, incluyendo la localización de algunos sitios favora -- bles para extraer materiales de construcción y recomenda -- ron la realización de algunas obras de exploración direc -- ta, tales como los barrenos de diamante y socavones. Estas recomendaciones fueron avaladas por Lesser Jones quien, en el mismo año, efectuó una visita de inspección a la Boqui -- lla de Huites.

A finales de 1963, Ramírez Gutiérrez y García Herrera pre -- sentaron un informe sobre los resultados de las exploracio -- nes en Huites hasta esa fecha, tanto en lo que respecta a -- geología superficial como a los datos proporcionados por -- las exploraciones directas realizadas en el eje de la bo -- quilla y en algunas zonas cercanas que se consideraron im -- portantes.

Sin embargo, en 1966 el Departamento de Planeación y Estu -- dios de CFE concluyó que, aunque la información técnica -- era correcta, el costo de la opción menos cara era demasia --

do elevado.

En 1970 Razo Montiel y Constance hicieron una visita de -- inspección a los sitios de las presas Huites y Chínipas I, este último sobre el río del mismo nombre y afluente del -- Río Fuerte, llegando a las mismas conclusiones técnicas -- que sus colegas.

Finalmente a partir de mayo de 1979 se volvieron a reanu - dar los estudios preliminares en el área de la boquilla, - mismos que se continuaron durante 1980, y actualmente ya - están en su fase final de exploración y de detalle.

Para cumplir con los objetivos de esta fase se realizó la - geología superficial a detalle, que se completó con la in - formación obtenida con geofísica y por medios directos de - exploración, tales como barrenación de diamante y socavo - nes.

A la fecha está disponible un gran volumen de información - geológica y geofísica que se integra en el presente estu - dio geotécnico.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo final de este trabajo es conocer las condicio - nes geotécnicas que se tendrán en la construcción de una - presa de materiales graduados en el Río Fuerte, en un pun - to localizado 15 Km aguas arriba de su confluencia con el - Río Choix, en el Municipio de Choix, y a 110 Km aguas arri - ba de San Blas, en el Estado de Sinaloa.

El trabajo que se ha venido realizando en el proyecto tie - ne los siguientes objetivos:

1. Obtención de información geológica superficial lo más - completa posible, que cubra los aspectos más importantes - para la Ingeniería Civil:

- Geología de detalle en las zonas de la cortina, vertederos, túneles de desvío, toma para riego, cortina y -- obras de generación de electricidad.
- Geología estructural de la boquilla
- Zonas de alteración tanto en la boquilla como en las -- áreas de obras civiles.
- Geología del vaso, haciendo énfasis en las zonas de debilidad en donde puedan haber derrumbes o fugas de agua.
- Evaluación de los bancos de arcillas que se utilizarán en el núcleo impermeable de la cortina.
- Evaluación de los bancos de arenas y gravas y del material de enrocamiento.

Para ello, la geología se ha auxiliado de la geofísica, -- que ha empleado los métodos sísmicos de refracción, microsísmico y geoeléctrico, con arreglo tetrapolar Schlumberger.

2. Obtención de información geológica del subsuelo, por medio de obras mineras de exploración (socavones y cruces) y barrenación de diamante, programadas con base a la información proporcionada por geología superficial y geofísica y de acuerdo con las necesidades de las obras civiles.

3. Recomendaciones sobre las pruebas a realizar para conocer las características y propiedades de los materiales, -- tanto de mecánica de rocas como de mecánica de suelos.

4. Recomendaciones geológicas a tener en cuenta para la construcción de la presa.

1.3 METODOS DE TRABAJO

3.1 Topografía

Los planos topográficos sobre los cuales se realizaron los primeros estudios geológicos generales de este proyecto, fueron elaborados en 1967 a escalas 1:1 000, 1:10 000 y 1:20 000 por Aerotécnica de México, S. A. Estos tienen una precisión aceptable.

En la margen izquierda, y teniendo como objetivo el apoyo a la geología de detalle, se levantó el eje de vertedores, Alternativa 1, a escala 1:500 y sus portales de entrada y salidas a escala 1:200. Para dichos portales se hizo uso de sendas retículas topográficas levantadas con tránsito y cinta que cubrieron áreas de 500 x 400 m (0.2000 Km^2), y 380 x 290 m (0.1102 Km^2) con líneas de orientación NW-47° en la entrada y SW-55° en la salida. El espaciamiento de las estacas fue de 25 m en ambos casos. La traza del eje central de los túneles vertedores tiene una orientación NE-55° y una longitud de 1728.61 m desde su portal de entrada hasta el de salida. Esta traza se levantó con tránsito y estadal. Posteriormente las escalas fueron reducidas en el gabinete a 1:1 000 y 1:2 000.

En el área de las obras de toma para generación se hizo un levantamiento con brújula y cinta para apoyo a la geología de detalle, cubriéndose un área aproximada de 0.044 Km^2 . Para ello, se utilizaron antiguas brechas que abrió el personal de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Además se levantó una poligonal con el objeto de ligar el banco de nivel de la caseta de aforo de la boquilla de Huites con la cuadrícula de la margen izquierda. Asimismo, se hizo el levantamiento del eje de la cortina empleando el aparato Distomat.

Se trazó la curva de nivel a la elevación 265 con una longitud de 658.48 m, desde el portal de entrada a casa de máquinas hacia el suroeste, con el fin de investigar otra alternativa más favorable para dicho portal.

Se llevó a cabo una nivelación con punto de partida en la mojonera ubicada en la caseta de aforo de la boquilla de Huites, que llegó hasta la cima del Puente de Palo Dulce, del Ferrocarril Chihuahua al Pacífico, sobre el río Chñipas. Dicha nivelación abarcó una distancia de alrededor de 30.175 Km obteniéndose una elevación de 297.589 m para la cima del puente. Se dejaron bancos de nivel cada 500 m aproximadamente, Esto se hizo con el fin de conocer esta cota y compararla con la cota del NAME (295 m).

Se realizó la localización de socavones, barrenos de diamante y se trazaron los caminos para estas obras. Se levantaron los socavones y diez líneas transversales al río, distribuidas cinco aguas arriba y cinco aguas abajo del eje de la boquilla, para dar apoyo a los estudios geológicos.

Se levantaron varias líneas para apoyar los trabajos geofísicos, tanto de sísmica como de geoelectrónica, así como también otras líneas y polígonos para los bancos de grava y arcillas.

3.2 Geología de detalle

Teniendo como base los levantamientos topográficos se llevaron a cabo estudios geológicos detallados sobre la traza del eje de los túneles vertedores, Alternativa 1, en sus portales de entrada y salida; igualmente en el área de la boquilla, a escalas 1:1 000 y 1:2 000.

Se hizo la diferenciación, muestreo, mapeo y descripción de la corneana y de la secuencia ignimbrítica, así como el levantamiento geológico detallado de las fallas principales.

les.

Se levantaron a detalle los socavones y se describieron -- los barrenos, incluyendo el cálculo de recuperación, el -- RQD (Rock Quality Designation) y la realización de pruebas de permeabilidad del tipo Lugeon.

Por último, se localizaron y cubicaron los bancos de arcillas y los de gravas y arenas.

Todos estos trabajos se desarrollaron con base a las tareas rutinarias de cualquier levantamiento geológico: identificación de unidades, secuencia estratigráfica, descripción y clasificación de las rocas; para ello se contó con el apoyo del Laboratorio de Geología de la Brigada Móvil de Perforación de la C.F.E. Además se hizo énfasis en las estructuras que se presentan, tales como fallas, fracturas, diaclasas, superficies de deslizamiento, exfoliación y zonas de contacto, Se estudiaron también las alteraciones que afectan a las rocas tanto deutéricas como hidrotermales y las debidas al intemperismo.

3.3 Reconocimientos geológicos

Con el fin de conocer las condiciones del embalse se efectuó un levantamiento geológico regional del Vaso de Huites y otros reconocimientos en los alrededores de la boquilla, mismos que se continúan actualmente.

Se llevó a cabo, además, un reconocimiento geológico preliminar en la boquilla del P. H. Tubares, también sobre el Río Fuerte, y ya en el Estado de Chihuahua. Esta boquilla está localizada aguas arriba del Vaso de Huites e inmediatamente aguas abajo de la unión de los ríos Urique y Verde o San Miguel. El reconocimiento tuvo por objetivo definir la posibilidad de construir otra presa y tener en el futuro un mejor aprovechamiento y control de las aguas del Río

Fuerte durante las grandes avenidas.

Para la realización de todos estos trabajos se contó con -
fotografías aéreas de Detenal a escala aproximada de - - -
1:55 000 y planos topográficos a escalas 1:10 000 y 1:20 000.

CAPITULO II

GEOGRAFIA

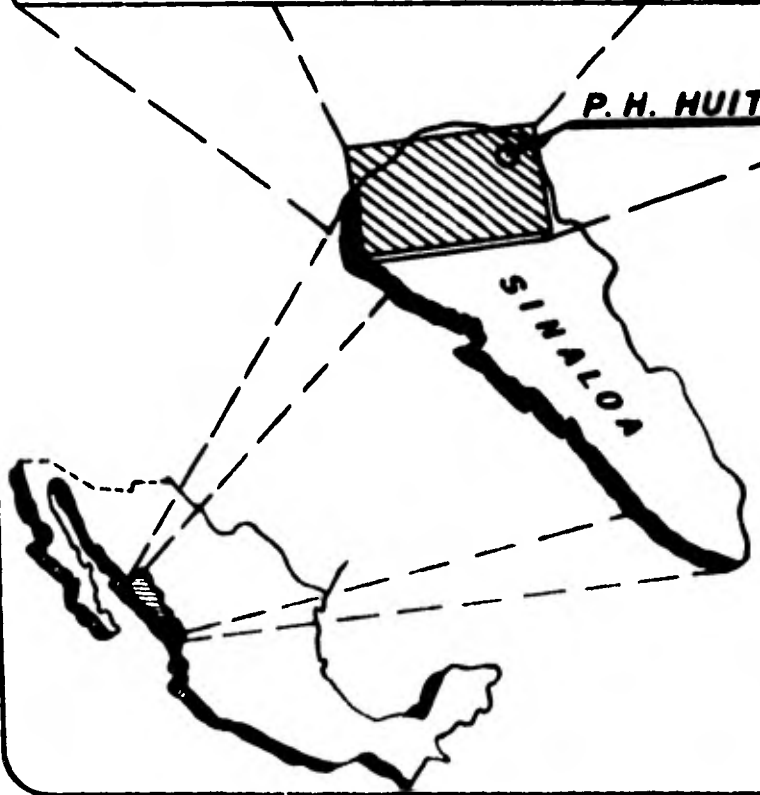
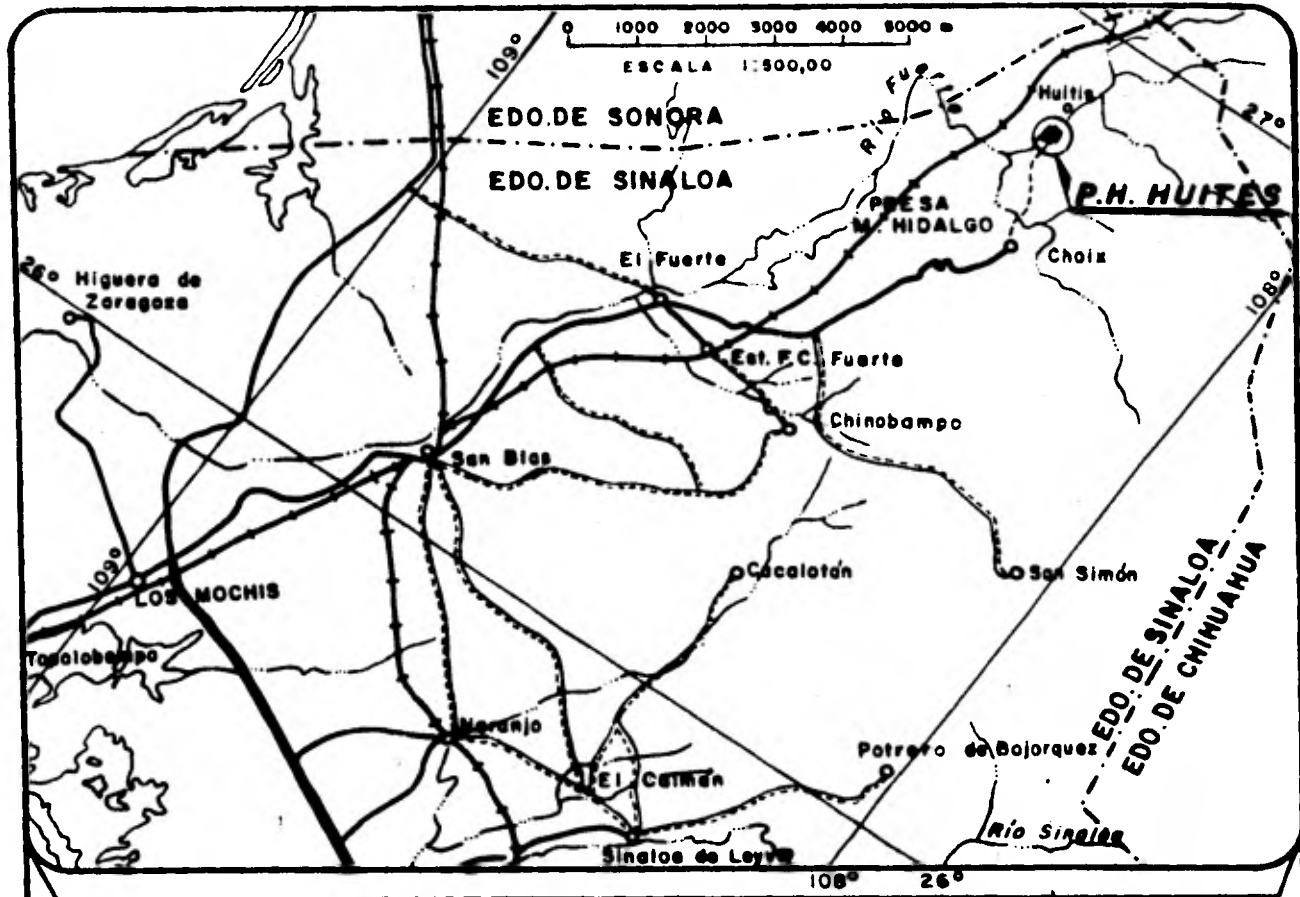
II.1 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO (Ver Fig.1)

El proyecto Hidroeléctrico Huites está ubicado en el extremo septentrional del Estado de Sinaloa, muy cerca de sus límites con Sonora y Chihuahua, a 20 Km y 16° al NW del poblado de Choix y pertenece al municipio de este nombre. Las coordenadas del sitio son $26^{\circ}50'32''$ de latitud Norte y $108^{\circ}22'12''$ de Longitud Oeste.

El proyecto forma parte del aprovechamiento del caudal del Rfo Fuerte, en el cual se han construido ya las presas Miguel Hidalgo, situada aguas arriba del poblado de El Fuerte, y Josefa Ortiz de Domínguez, sobre el Rfo Alamos, - - afluente de aquél y cuya confluencia se localiza aguas abajo de la presa Miguel Hidalgo, así como las presas derivadoras Sufragio y Cahinahua, ubicadas al sur de dicha confluencia, en las cercanías del poblado de San Blas.

La zona de estudio está comunicada por la carretera estatal No.23 Los Mochis-Choix, de 128 Km de longitud, que pasa por los poblados de San Blas y El Fuerte. A partir de Choix, se sigue por un camino de terracería en muy buenas condiciones, de 20 Km de desarrollo, que conduce directamente a la margen izquierda del proyecto.

Para poder llegar a la margen derecha del proyecto en épocas de avenidas y sobre todo para el transporte de maquinaria y equipos pesados hay un camino de terracería, poco transitado, de 14 kilómetros de desarrollo, que nace en la estación Loreto del Ferrocarril Chihuahua al Pacífico. De Tabucahui se tuerce al norte por otro camino que pasa por Loretillo y Baca, después se continúa al este, paralelamente



U. N. A. M.
 FACULTAD DE INGENIERIA
 PLANO DE LOCALIZACION
 DEL P.H. HUITES
 TESIS PROFESIONAL
 Jorge R. Hernandez Semayo
 1981

Fig. Nº 1

te al Rfo Fuerte, atravesándolo a la altura de la Estación Agua Caliente. De allí el camino requiere de vehículos de doble tracción hasta el proyecto.

El ferrocarril Chihuahua al Pacífico comunica la región -- con Topolobampo, Los Mochis y San Blas en el Estado de Sinaloa y con Creel, Cuauhtémoc, Chihuahua y Ojinaga, en el de Chihuahua. Es el medio más cómodo, rápido y seguro de atravesar la Sierra Madre Occidental.

El poblado de Choix, con 6 000 habitantes, cuenta con una corta pista de terracería, la cual permite el aterrizaje de avionetas y helicópteros en una base permanente de la Policía Judicial Federal que está en posibilidades de proporcionarles servicio y combustible. Cuenta, además con -- servicios de correos, telégrafos y un teléfono.

Una pista pavimentada en donde pueden aterrizar aviones -- más grandes se encuentra en El Fuerte. Sin embargo, los -- aviones comerciales a propulsión a chorro ("jets") sólo -- llegan a Culiacán, Sin. y a Ciudad Obregón, Son., y avio -- nes más pequeños (DC-3) también a Los Mochis, Sin., que cubren el servicio regular entre esta ciudad y La Paz, B.C.S.

II.2 CLIMA Y VEGETACION

En la región en estudio existen 31 estaciones climatológicas cuyos registros señalan tres estaciones bien definidas. La época de verano abarca el período comprendido de junio a octubre, tiene características estables de temperatura y precipitaciones, es decir cálido con escurrimientos de variaciones poco significativas y algunas avenidas provocadas por lluvias o efectos de ciclón, sobre todo de julio a septiembre. La época de invierno comprende los meses de noviembre a febrero, en los cuales los escurrimientos son muy variables. Las variaciones se deben a los deshielos -- asociados a las precipitaciones (equipatas) en la zona al

ta de la cuenca, las cuales son erráticas en tiempo y magnitud. La primavera es seca y de corta duración, abarcando los meses de marzo, abril y mayo.

Los datos más significativos de Meteorología en la estación hidrológica de Huites (boletines de la S.A.R.H.) son:

	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO
Lluvia, mm por año	790	1250	550
Evaporación anual, mm	2420	2740	2120
Temperatura, °C	26	46	-1

La vegetación es de tipo semiárido. Está compuesta por zacate libre (Cathestecum berectum), accitilla (B.aristiodoides), biznaga (Mamilloopsis sp.), lechuguilla (Agave lechuguilla), pitahayo (Lemaimocerus sp.), huizache (Acacia farnesiana), y mezquite (Prosopis jugliora), entre las más importantes especies. Hacia las partes más altas de la Sierra Madre Occidental se encuentran bosques constituidos por pino (Pinus sp), encinos (Quercus gamelli), y cedro rojo (Cedrela odorata), entre otras especies.

II.3 PROVINCIA FISIOGRAFICA (Ver Fig.2)

El área en estudio se encuentra en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental en la subprovincia fisiográfica de nominada por Alvarez (1960) Llanura Costera de Sinaloa y por Raisz (1959) Sierras de Pie de Monte.

Rodríguez Torres y Córdoba (1977) describen a las Sierras de Pie de Monte como "localizadas entre las Altas Mesetas Riolticas y la Planicie Costera; consisten de montañas --

parcial e irregularmente sepultadas. Estas montañas, hacia el oriente adquieren mayores elevaciones" y "los ríos han labrado cañones que, generalmente, están controlados por un sistema de fallas de rumbo NNW".

La región es semimontañosa y está constituida por la intrusión de un granito, derrames lávicos y tobas que dan lugar a diferentes formas del relieve como son: montañas de origen volcánico y piroclástico de composición ácida, con grandes escarpes y pendientes fuertes, que son el resultado de la erosión de las rocas volcánicas básicas, y lomeríos suaves y valles en aquellas áreas graníticas que no han sido cubiertas por los volcánicos y piroclásticos.

La geomorfología de la zona se ve complicada por fallamientos y fracturamientos que han propiciado el desarrollo de casi todos los arroyos. El fallamiento en bloques, además, ha provocado cambios en los echados observables en el área de la boquilla de Huites.

Se pueden distinguir a través de los arroyos algunos rasgos estructurales de la zona, como son: la orientación del fracturamiento, los espejos de fallas, contactos geológicos, zonas de alteración, etc. Estos rasgos se produjeron por movimientos tectónicos que tuvieron lugar mucho tiempo después de que cesaron las deformaciones provocadas por la Orogenia Laramide. Evidencias de la temporalidad de estos eventos son los espejos de falla que se localizan tanto en el granito como en las rocas volcánicas y piroclásticas estando algunos de esos planos sellados por diques de diabasa.

II.4 HIDROLOGIA

Los procesos de intemperismo y erosión se manifiestan en toda su plenitud en las partes más elevadas del norte de Sinaloa y suroeste de Chihuahua, las que alcanzan más de

3 000 m de Altitud, dando lugar a profundos barrancos y cañadas por donde deslizan los ríos más caudalosos de origen pluvio-nivoso.

Uno de éstos es el Río Fuerte, que nace en la Sierra Tepehuanes, en la porción NW del Estado de Durango, con el nombre de Río Verde. Al pasar por el poblado de San Miguel, en el Estado de Chihuahua, adopta el nombre de Río San Miguel, mismo que conserva hasta unirse al Río Batopilas. A partir de dicha confluencia recibe el nombre de Río Fuerte. Más adelante y cerca ya de los límites con el Estado de Sinaloa recibe las aguas del Río Urique proveniente de la Barranca del Cobre. Por último en el extremo norte de Sinaloa confluyen con él los ríos de La Reforma y Chñipas.

Desde su nacimiento hasta su confluencia con el Río Urique, el Río Fuerte tiene un rumbo general predominante ESE-WNW; después hasta su unión con el Chñipas es sensiblemente -- E-W, para cambiar bruscamente al SE, desde el Chñipas hasta unos 5 Km aguas abajo del pueblo de San Blas, donde se dirige al poniente hasta su desembocadura en el Golfo de Cortés o de California.

Aguas abajo de El Fuerte recibe las aguas de otro importante afluente, el Río Alamos, en donde está ubicada la presa Josefa Ortiz de Domínguez, que ha podido beneficiar parte de las tierras del valle de Los Mochis.

Se puede considerar que el Río Fuerte se encuentra en una etapa de juventud, en las partes superior y media de su curso y en una etapa de madurez en la parte inferior, ya en la Llanura Costera.

Este río ha sufrido movimientos laterales que han dado lugar a meandros y lagunas de herradura. Estos cambios facilitaron la formación de amplios deltas en su desembocadura.

En la cuenca del Río Fuerte se localizan 25 estaciones hidrométricas, algunas operadas por C.F.E. y otras por la --

S.A.R.H. Para el P. H. Huites opera la estación hidrométrica del mismo nombre, localizada en la boquilla, con un periodo de observación de 36 años. De allí se obtuvieron los volúmenes y gastos medios mensuales que se indican a continuación:

MES	VOLUMEN MEDIO EN MILLONES DE m ³	GASTO MEDIO EN m ³ /seg
Enero	402.8	150.4
Febrero	171.0	70.7
Marzo	95.6	35.7
Abril	27.9	10.8
Mayo	18.2	6.8
Junio	69.2	26.7
Julio	663.0	236.3
Agosto	1 034.7	386.3
Septiembre	698.5	269.5
Octubre	276.6	103.3
Noviembre	112.3	43.3
Diciembre	220.8	82.4

De este cuadro se puede deducir que las mayores aportaciones acaecen en los meses de julio, agosto y septiembre, -- aunque existen además aportaciones considerables en diciembre y enero. El escurrimiento medio anual es de 3 771 millones de m³ y el gasto medio del río es de 120 m³/seg. -- (ELC, 1980).

II.5 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

La economía de la región es eminentemente agrícola, cultivándose esencialmente cereales (maíz, sorgo y trigo), leguminosas (frijol, haba y lenteja); hortalizas (jitomate, nabo, lechuga, repollo, coliflor, betabel, etc.) y forraje para el ganado.

En las estribaciones de la Sierra Madre Occidental los poblados son esencialmente ganaderos y madereros.

También se observan algunas zonas mineras, siendo las más importantes las de Reforma, Lluvia de Oro y Santa Anita, en donde se explotan principalmente cobre, plomo y zinc. En la primera de estas poblaciones hay una planta de beneficio propiedad de la Compañía Peñoles. La Comisión de Fomento Minero está instalando otra en Choix, para dar servicio a la pequeña minería.

Para la construcción de la presa es de importancia mencionar la fábrica de cemento que se encuentra a 35 Km de Choix, en la carretera a El Fuerte, en el poblado de Hornillos y que es propiedad de la Compañía Cementos Sinaloa.

La pesca es otra actividad relevante en la región, en particular en la Presa Miguel Hidalgo.

Tanto esta presa como la cementera representan fuentes importantes de trabajo que se verán incrementadas durante la construcción de Huites.

CAPITULO III

GEOLOGIA REGIONAL

III.1 INTRODUCCION

La Geología Regional que se ha realizado a la fecha cubre sólo parte del área que abarca el vaso de la presa, pero se está trabajando en ella. Las rocas que se han estudiado están constituidas por: corneana, calizas recristalizadas, rocas vulcano-sedimentarias, tobas y granito, siendo las dos últimas las más abundantes.

En la base de los cerros se encuentra el granito mientras que las tobas se localizan en sus partes superiores. Las rocas metamórficas de las que se tiene conocimiento cerca del área de la boquilla están constituidas por esquistos de bajo grado que afloran en la presa Miguel Hidalgo, y por la corneana, que aparece en la boquilla y en diversas partes del Vaso de Huites.

Las calizas afloran cerca de Choix y al NE de la boquilla, aproximadamente a 40 Km de la mina de La Reforma.

Las rocas vulcano-sedimentarias se encuentran 30 Km al N del área de estudio.

Las principales estructuras regionales son fallas y fracturas con rumbo preferencial N-S y NW-SE, lo cual puede ser producto de movimientos orogénicos. También se encuentran numerosos diques de aplita y de diabasa. Estos últimos tienen espesores de hasta 10 m y están emplazados a lo largo de planos de fallas y fracturas.

III.2 ESTRATIGRAFIA REGIONAL

Esta ha sido tomada directamente de la hoja de Huites, editada por el Instituto de Geología de la UNAM en 1977, la -

cual abarca 30 Km de radio alrededor de Choix. Se describen las siguientes unidades litológicas:

a) "Unidad Paleozoica, Sedimentaria". Se da este nombre a una secuencia de rocas sedimentarias marinas del Paleozoico, las cuales presentan varios tipos de metamorfismo de bajo grado.

Esta unidad, en general, está compuesta de esquistos, pizarras, cuarcitas, calizas recristalizadas, pedernal y otras rocas arcillo-arenosas que afloran en forma de lomeríos bajos y redondeados.

Estas rocas se localizan al SW y S de la Presa Miguel Hidalgo en una faja que forma un medio círculo; también afloran al norte de El Fuerte, en la carretera que va de este poblado a Choix y en el camino El Fuerte-Chinobampo. Debido a que están cubiertas discordantemente por rocas clásticas del Terciario y debido al fallamiento, no se pueden apreciar estructuras amplias en ellas.

b) "Unidad Mesozoica, metamórfica". Es una secuencia de rocas volcánicas básicas, intermedias y ácidas interestratificadas con sus piroclásticos, que afloran también en forma de lomeríos bajos y redondeados. Hay buenos afloramientos en el camino que va de Hornillos a la Calera y el de Chinobampo-El Frijol.

c) "Unidad Cretácica". Son rocas básicamente calcáreas pero su contenido litológico es variable y se encuentra en las partes más altas de los lomeríos.

Estas rocas afloran al oriente de El Fuerte, en el Valle del Río Choix, al este de la población del mismo nombre y al norte del Río Reforma, en los límites entre Sinaloa y Chihuahua. La caliza es de grano muy fino, de color gris, masiva, afallada y localmente brechada, lo que puede ser consecuencia de la deformación mecánica que produjo el gra

nito laramídico.

En las áreas mineras de Lluvia de Oro y La Reforma, se han identificado fósiles del Jurásico y Cretácico en estas rocas. En el área de El Fuerte, Roldán-Quintana (1971) encontró fósiles del Cretácico.

d) "Unidad Terciaria Inferior, Básica". Es la secuencia más antigua de las rocas volcánicas y principalmente es de composición andesítica. Corresponde al Terciario, y descansa discordantemente sobre rocas metamórficas. Estas rocas afloran en la parte alta del Valle del Rfo Choix y al suroeste de la Presa Miguel Hidalgo.

Algunas rocas de esta unidad están alteradas por procesos hidrotermales y otras están mineralizadas.

Por estar afectadas por el granito laramídico del área y por estar menos deformadas que las calizas, su edad puede oscilar desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno Temprano.

e) "Unidad Terciaria Inferior, Volcánica". Está compuesta por andesitas, basaltos y riolitas, con sus respectivas tobas y aglomerados. Está afectada por cuerpos intrusivos félsicos y procesos hidrotermales que la han transformado a corneana.

Su morfología es de bloques escarpados con inclinaciones en diversas direcciones; se la encuentra en algunas partes erosionada.

En el Rancho de Casas Viejas y en la Sierra de Cedros, la secuencia volcánica y piroclástica presenta espesores de 75 a 100 m y parece ser contemporánea a las rocas de la unidad anterior.

f) "Unidad Intrusiva Ácida". Está constituida por rocas de composición ácida e intermedia, de naturaleza granítica, granodiorítica y monzonítica que afloran en un área de con

siderable extensión formando parte del batolito de Sonora-Sinaloa.

Este intrusivo tiene un alargamiento nor-noroeste, cubriendo un área de 2 000 Km², infiriéndose también las áreas en donde se encuentra cubierto por derrames basálticos y rocas sedimentarias.

Por lo común esta roca contiene xenolitos de rocas intermedias a básicas y está cortada por diques pegmatíticos, aplíticos y doleríticos.

La edad del intrusivo en el área, obtenida con el método K-A, varía entre 75 y 56 millones de años. La primera fue determinada por De Cserna et al (1962) en un tronco granítico localizado al sur de la Presa Miguel Hidalgo. Damon (1975) obtuvo este lapso para rocas colectadas en el área de Choix. En consecuencia la edad del batolito para esta región es laramídica y oscila entre la cima del Cretácico-Superior y la del Paleoceno.

g) "Unidad Terciaria Inferior, Acida". Son rocas formadas por la interestratificación de lavas, tobas e ignimbritas de composición ácida e intermedia. Esta unidad está intrusionada por numerosos diques cuya composición varía de andesítica a riolítica. La morfología y el tamaño relativamente amplio de sus afloramientos hace pensar que para llegar a tener formas escarpadas debió haber pasado por un período de intensa erosión que fue favorecida por movimientos tectónicos.

En las partes más altas de los cerros casi siempre está formando escarpes y cañadas de profundidad considerable. En el área de la boquilla del P. H. Huites se encuentra aflorando también en las partes altas. Se la observa además en la Sierra de Cedros.

Descansa discordantemente sobre la Unidad Terciaria Inferior, Básica y está cubierta por rocas de la Unidad Tercia

ria Superior, Acida, por lo que se le asigna tentativamente al Terciario Inferior.

h) "Unidad Terciaria Media, Vulcanoclástica". Está formada por areniscas tobáceas, conglomerados, aglomerados, tobas y lavas ácidas interestratificadas. Los fragmentos -- del conglomerado son de rocas volcánicas principalmente y en menor abundancia de rocas intrusivas. Su morfología es muy irregular.

Esta unidad descansa en discordancia angular sobre la Unidad Terciaria Inferior, Acida. Aflora a 35 Km y 45°E del poblado de Choix.

i) "Unidad Terciaria Superior, Acida". Son rocas fundamentalmente ácidas, con muy poca inclinación, casi horizontales. Consisten en diversos tipos de ignimbritas de composición riolítica y se localizan por lo regular en zonas de mesetas, que constituyen las partes más altas de la Sierra Madre Occidental.

La edad de estas rocas es probablemente similar a la encontrada por Mc Dowell y Clabaugh (1972) y Mc Dowell y Keizer (1973) empleando el método de K-A en unidades del sureste de Sinaloa y partes adyacentes de Durango, y que se originaron en un lapso que va de los 34 a los 21 millones de -- años (Oligoceno-Mioceno). Bagby *et al.* (1976) dataron una toba colectada 10 Km al SE de La Bufa, Chih., en las cercanías de Batopilas, obteniendo 36 m.a., es decir Oligoceno-Temprano.

j) "Unidad Terciaria Clástica". Se compone de conglomerados, areniscas y areniscas tobáceas, con estratificación gradual y clásticos orientados con canales de relleno, lo que hace pensar que fueron transportados y depositados en agua, sin que hubiera cesado totalmente la actividad volcánica.

Los afloramientos de esta unidad se localizan en tres - - áreas diferentes, rellenas de fosas formadas por bloques -- rectangulares de granito afallado, y que corresponden a La Villa de Choix, la parte baja del Rfo Choix y a la zona lo calizada al norte en donde las rocas sedimentarias están - fuertemente afalladas.

Sobre la edad de estas rocas se conoce poco; De Cserna y - Kent (1961) las consideraron del Plioceno, por correlación con la formación Báucarit de Sonora, que contiene restos - de vertebrados de esa edad.

k) "Unidad Intrusiva, Básica." Está formada por rocas en - forma de diques y mantos de composición andesítica a basál - tica. Son los intrusivos más jóvenes del área y se empla - zan en rocas del Terciario Medio. Por esta razón, se con - sidera que tienen edad del Terciario Tardío o Cuaternario, pues algunas de ellas pueden representar los conductos ali - mentadores de los basaltos del área.

l) "Unidad Terciaria Superior, Básica". Consiste de la - vas y brechas basálticas y derrames de composición andesí - tica a latítica que afloran en algunos lugares; se caracte - riza porque aún es posible observarla en aparatos volcáni - cos debido a que son rocas muy jóvenes.

El basalto que hay en el norte del Lago Mahone pudiera re - presentar un pequeño volcán del tipo de escudo. También - se encuentra un área de basalto, que cubre aproximadamente 10 Km² al sur del Rfo Fuerte y al oeste del Rfo Choix, que asimismo parece un volcán de tipo escudo.

Los basaltos descansan sobre la Unidad Terciaria Clástica - y por tanto son cuaternarios. Una muestra colectada en -- las cercanías de Agua Caliente dió una edad de 700 000 - - años, empleando el método del K-A (Damon, 1974).

En resumen se puede decir que la actividad volcánica cono -

zoica principia con rocas de composición andesítica, seguida por un período erosivo con actividad volcánica ácida; - posteriormente, por otro período erosivo con eyecciones de rocas básicas.

m) "Unidad Cuaternaria, Pleistoceno, Clástica". Así se le designa a los depósitos conglomeráticos de talud y abanicos aluviales, formados por peñascos, matatenas y guijarros de composiciones variables. Su morfología consiste en lomeríos de suave relieve. Las gravas que se localizan a ambos lados del Río Fuerte constituyen terrazas bien formadas, conocidas como "Formación Vado" y cubren discordantemente a las formaciones "Maune" y "Tesila".

n) "Unidad Cuaternaria, Reciente, Llanuras de Inundación". Se denomina así a los depósitos sedimentarios aportados -- por los ríos y sus afluentes en zonas aluviales y canales fluviales.

En las llanuras fluviales de inundación se tienen limos y arcillas areno-limosas, mientras que las gravas aparecen en los lechos de los canales fluviales.

III.3 TECTONICA REGIONAL

Las grandes estructuras que se observan en el extremo norte del Estado de Sinaloa son fallas y fracturas de importantes dimensiones que corren burdamente paralelas a la línea de la costa, es decir NW-SE.

La relación genética que pudiera existir entre estas grandes fallas y la subducción de la Placa Continental Americana es todavía motivo de controversia.

Lo que ha quedado bien establecido es que estos alineamientos persisten a todo lo largo de la Sierra Madre Occidental, la cual tiene la misma orientación. Según Bonneau --

(1971) el plegamiento principal de las rocas preexistentes al Batolito de Sinaloa ocurrió hacia fines del Cenomaniano o principios del Turoniano.

Los primeros esfuerzos de tensión se manifestaron a fines del Cretácico o principios del Terciario, fenómeno que ha sido asociado con la extrusión de rocas volcánicas ácidas o intermedias. Es probable que las zonas de debilidad que sirvieron de conducto a este volcanismo hayan sido las grandes fracturas de orientación NW-SE, que ya existían durante esa época. En efecto Atwater (1970) y Demant (1975) coinciden en afirmar que "las manifestaciones volcánicas de tipo arco insular, calco-alcalino (Sonora-Sinaloa) están relacionadas con los movimientos de hundimiento (subducción) de la Placa Farallón debajo de la Placa Americana", las cuales invariablemente son paralelas a los grandes fracturamientos de esta área. Es obvio que las fuentes de emisión han quedado selladas por las mismas rocas volcánicas, por lo que se presentan aquí sólo ideas especulativas, a comprobar en el futuro.

El ciclo geotectónico en la porción norte del Estado de Sinaloa se completa con una nueva época de plegamiento, ahora en dirección NNW-SSE acompañado por grandes sistemas de fallas, que en general tienen la misma orientación. Este fenómeno corresponde aproximadamente al Terciario Medio, el cual señala la fase postgeosinclinal. Según Bonneau (op.cit.), desde fines del Terciario hasta hoy la región está sufriendo una tectónica de distensión que se relaciona con la formación del Golfo de California.

Por último, el volcanismo riolítico reciente y el volcanismo basáltico cuaternario asociados a fallas de orientación N-S señalan el final de la actividad tectónica en el noroeste de la República Mexicana.

Algunas fallas de rumbo casi perpendicular al sistema an

tes descrito, aunque poco numerosas, desempeñan un importante papel en el control del curso de los diversos ríos de la región, como es el caso del mismo Río Fuerte, en la porción de su cabecera, en las partes altas de la Sierra Madre Occidental.

De acuerdo con los datos aportados por la Carta Sísmica de la República Mexicana en 1969, el área del proyecto se localiza dentro de una Zona Penesísmica, donde los sismos son poco frecuentes, lo cual muestra que la dinámica actual se encuentra en una fase distensiva, que provoca la expansión del fondo oceánico del Golfo de California, con el consecuente movimiento de separación de la Península de Baja California del Continente.

III.4 GEOLOGIA HISTORICA

En base a las relaciones de la secuencia litoestratigráfica del norte de Sinaloa es posible reconstruir su historia geológica a partir del Paleozoico, tiempo en el que se verificaron ligeras pulsaciones epirogénicas, produciendo movimientos regresivos con ligeras alternancias transgresivas, depositándose rocas arcillo-arenosas, algunas veces conglomeráticas y con intercalaciones de rocas carbonatadas, las cuales fueron afectadas posteriormente por metamorfismo regional y de contacto.

Una discordancia erosional en donde rocas mesozoicas (posiblemente asignables al Triásico) descansan sobre rocas paleozoicas señala el inicio del Mesozoico. La naturaleza de estas rocas es volcánica y su composición es variable, de básica a ácida. De acuerdo con Rodríguez y Córdoba (1977) "Se ha inferido que su ambiente es continental por la ausencia de estructuras en almohadillas". Posteriormente, durante el Jurásico, se sucedieron "movimientos regresivos y transgresivos, teniéndose como resultado alternancia de rocas volcánicas y sedimentos calcáreos".

En el Cretácico los mares transgreden invadiendo grandes porciones del Continente, dando lugar a la formación de rocas carbonatadas principalmente; es posible que la extensión de las áreas que ocuparon los mares haya sido grande, ya que son abundantes los cantos rodados de caliza en las formaciones del Terciario Superior.

En el Cretácico Tardío, México se había reducido a una especie de "Cordillera Pacífica", en donde las intrusiones basálticas de la parte noroccidental eran una prolongación de los grandes cuerpos graníticos californianos, y las manifestaciones volcánicas de tipo "arco insular" calcoalcalino (Sonora-Sinaloa) están relacionadas con los movimientos de subducción de la Placa Farallón debajo de la Placa Americana (Atwater, 1970 y Demant, 1975).

La fase temprana del Terciario se caracteriza por su actividad volcánica; esta región constituía una unidad positiva acentuada por su carácter emergente, el cual prevalece hasta nuestros días.

De esta manera disminuyó notablemente la actividad volcánica y la región quedó sometida a los efectos de la erosión y del intemperismo, lo que dio lugar a depósitos de tipo continental en forma de areniscas tobáceas, tobas, aglomerados, areniscas y limos en zonas que constituyeran depresiones, como consecuencia de la actividad tectónica que estaba por finalizar. Aunque tal tipo de depósitos se observan en cuencas generalmente extensas, sin aparente conexión entre ellas, en la región fueron bastante grandes y bien distribuidos, pudiéndose observar semejanzas en sus litologías.

Dentro de los horizontes mencionados se observan numerosos estratos, generalmente delgados, formados por arenas, limos y arcillas en donde se desarrollaron polígonos de desecación, lo cual indica variaciones ambientales tanto respecto al depósito como a las condiciones climáticas.

El vulcanismo intenso culminó con el Terciario Temprano, - pero hay manifestaciones de este fenómeno en el Terciario-Medio; más tarde se produjeron derrames aislados de lavas que descansan discordantemente sobre los depósitos conti- nentales, produciendo un potente espesor de ignimbritas -- riolíticas, con derrames y tobas asociados. Se les atribu- ye una edad Mioceno por correlación estratigráfica.

En la zona que corresponde a la boquilla existe una roca - de origen vulcano-sedimentario, la cual debido a la intru- sión del granito fue metamorfozada a corneana, y se le - - atribuye una edad del Cretácico Superior. Sobreyaciendo a esta roca se observa una brecha de color rojizo, que en -- ocasiones se encuentra sobre el granito. Es masiva en la- parte inferior y estratificada en la superior y probable - mente pertenezca al Mioceno.

Sobre esta brecha se observa un paquete ignimbrítico de la misma edad, con una pseudoestratificación bien definida. Fi- nalmente se hallan diques de aplita que intrusionan sola- mente al granito y diques y mantos de diabasa que afectan- a toda la secuencia litológica. Estos diques se encuen -- tran generalmente sellando el fracturamiento existente en- el área.

CAPITULO IV

GEOLOGIA LOCAL

IV.1 GEOLOGIA DEL VASO

1.1 Introducci3n

La geologia del vaso se llev3 a cabo en forma preliminar - desde la boquilla de Huites, por ambas m3rgenes del R3o -- Fuerte, hasta unos 2 Km antes de su confluencia con el R3o Urique, precisamente en el 3rea donde se ubicar3 el P.H. - Tubares o Urique. Tambi3n cubri3 la porci3n inferior del R3o Ch3nipas, desde 4 Km antes de su confluencia con el -- R3o Septentri3n (3rea del Puente Palo Dulce del Ferroca -- rril Chihuahua al Pac3fico) hasta su uni3n con el R3o Fuer te, incluyendo adem3s los cursos inferiores de tres de los afluentes del Ch3nipas (R3o Septentri3n y arroyos El Pal - mar y Las Juntas).

Se cubrieron distancias que variaron entre 1 y 6 Km de lon gitud, paralelamente a cada margen de las corrientes mencio nadas.

1.2 Estratigrafia

La regi3n que comprende el vaso de Huites incluye varias - unidades que, mencionadas en orden de su abundancia decre - ciente, son las siguientes: granitos, ignimbritas riol3ti - cas, areniscas y conglomerados de origen mixto, corneana - (metatobas y meta areniscas), calizas y andesitas.

Tentativamente, y a reserva de confirmarse con investiga - ciones posteriores, se presenta la siguiente columna estra tigr3fica para el vaso de Huites:

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

PERIODO	EPOCA	LITOLOGIA
CUATERNARIO	Reciente	Depósitos de Talud y Aluvi6n
	Reciente y Pleistoceno	Basaltos y diques doleríticos andesíticos
TERCIARIO	Plioceno	Areniscas y conglomerados abigarrados
	Mioceno y Oligoceno superior	Ignimbritas riolíticas y riodalíticas.
	Oligoceno Superior	Areniscas y conglomerados rojos
	Eoceno y Paleoceno	Granitos y Granodioritas
CRETACICO	Cretácico Superior	(Batolito Sonora-Sinaloa)
	Cretácico Medio e Inferior	Meta-areniscas y meta-conglomerados verdes (Hornfels). Calizas parcialmente transformadas a mármoles y skarns con horizontes de meta-tobas y meta-areniscas
JURASICO		Meta-andesitas y meta-traquitas (Hornfels).

a) Meta-andesitas y meta-traquitas. Estas rocas han sido objeto de controversias en la boquilla, pues sólo se han encontrado fragmentos incluidos en la corneana. En el vaso sus afloramientos son reducidos en extensión y sus límites con las rocas adyacentes son bastante confusos pero -- con frecuencia se observan fragmentos de ellas en las meta areniscas y meta-conglomerados que, por tal razón, les son posteriores.

El afloramiento más extenso de estas rocas aparece a un kilómetro aguas abajo de la confluencia del Arroyo de Balaja qui con el Río Fuerte y de la Ranchería de Las Lajas, ocupando un área aproximada de 1 Km².

Es una roca de color gris verdoso a gris oscuro, de aspecto macizo y de textura variable entre aglomerática y porfidica. Los minerales observables son plagioclasas, tanto - como fenocristales como en la matriz y trazas de máficos - alterados a clorita o hematita; otros minerales de alteración son las arcillas.

Al microscopio (Muestra GB-80-11) la textura es porfirítica en matriz microlítica y amigdaloidal. Los fenocristales son de piroxenos cloritizados, en una matriz de microlitos de plagioclasas intermedias rodeadas de máficos cloritizados. Como minerales accesorios, además de piroxenos se observan esfena y magnetita. Abundantes son los minerales de alteración, la típica asociación clorita-epidota-actinolita de la Facies Corneana de Albita-Epidota, que señalan un metamorfismo de contacto de baja intensidad. Además, las vesículas están rellenas de clorita. La roca fue clasificada como una meta-andesita de piroxenos y obviamente fue afectada por el intrusivo granítico del área.

Solano Rico et. al. (1980) señalan la presencia de estas - rocas en el área del prospecto minero de Santa Anita al NE de Choix, en la margen izquierda del Río Fuerte (26°53' de Latitud Norte y 108°09' de Longitud Oeste) y las agrupan -

en una unidad informal a la que denominan "Unidad Rfo Fuerte".

Lozano Chávez (1980) describe esta unidad como constituida por tobas andesíticas y traquiandesíticas verdes oscuras, de grano fino a medio, con escasos horizontes delgados de tobas verdes claras; presenta cambios de facies a andesitas y aglomerados o brechas andesíticas en las áreas de Santo Tomás y Brasiles. Muestra un metamorfismo regional débil, dentro de la Facies Corneana de Albita Epidota. Su espesor medido es de 120 m en esas áreas, pero en otras regiones es de por lo menos 1 000 m; su parte inferior está invadida por el intrusivo granítico. Dicho autor correlaciona a estas rocas con la Unidad Metavolcánica Mesozoica de Clark (1976), y por hallarse debajo de las calizas jurásico-cretácicas deben haberse formado cuando menos durante el Jurásico Inferior o tal vez en el Triásico.

b) Calizas. Esta unidad se observa en las partes más altas de las márgenes del Rfo Fuerte, como remanentes o "roof pendants" del granito. Se trata de rocas grises claras a oscuras que intemperizan en tonos pardos claros y ocres; su aspecto es masivo y moderadamente fracturado, aunque las fracturas verticales llegan a sobrepasar los 25 m de longitud. Esta roca ha sufrido los efectos de metamorfismo de contacto provocado por la intrusión granítica laramídica y en su mayor parte está marmorizada.

El rumbo general de los estratos gruesos de calizas en esta área es N 60° W, con inclinaciones entre 20° y 40° al NE.

Rodríguez Torres y Córdoba (1977) basándose en los trabajos de Bonneau (1972) y King (1939) señalan la presencia de Belemnites y Rhynchonella lacunosa (Castillo y Aguilera), fósiles del Jurásico, en el distrito minero de Lluvia de Oro, pero también otros fósiles del Cretácico Medio en la mina La Reforma, localizada en ese distrito, Por tanto,

la edad de las calizas queda comprendida en el rango Jurásico-Cretácico.

En el cañón del Río Septentrión, adyacente a la Estación - Julio Ornelas, situada en el Km 722 del Ferrocarril Chihuahua al Pacífico, Daugherty (1974) reporta la presencia de una caliza gris oscura, en estratos finos hasta masiva, -- cruzada por vetillas de calcita, aparentemente sin fósiles.

El rumbo de sus estratos plegados es N 75° E con inclinaciones de 50° al NW. Su contacto inferior no está expuesto, pero en el Km 723 la caliza está cubierta en discordancia angular por una brecha volcánica gris de la Unidad Terciaria Inferior, Volcánica.

Lozano Chávez (op.cit.) y Solano Rico et. al (op.cit.) -- consideran dos períodos de depósito de las rocas calcáreas del área de la mina Santa Anita, separadas por un cuerpo de grauvacas y subgrauvacas feldespáticas (Unidad Lo de -- Castro) de 5 a 50 m de espesor y tobas ácidas con horizontes de areniscas feldespáticas (miembro inferior de la Unidad Santa Anita).

La Unidad Santo Tomás consiste en calizas masivas y localmente arcillosas con un espesor promedio de 65 m, que aflora en el área del prospecto minero del mismo nombre.

La Unidad Santa Anita, que es donde se encuentran emplazados los cuerpos mineralizados de zinc, con plomo, cobre y un poco de plata, consiste en rocas calcáreas interestratificadas con tobas ácidas y areniscas que afloran en el cerro de Santa Anita con un espesor de 190 m.

c) Meta-areniscas y meta-conglomerados verdes

De acuerdo con Lozano Chávez (op.cit.) su mejor exposición se encuentra en el área Brasiles, a 5 Km al NW de Santa -- Anita, razón por la cual se le ha denominado informalmente como Unidad Brasiles.

Consiste en grauvacas y subgrauvacas líticas de grano fino a medio, de color verde olivo, con horizontes de conglomerados polimicticos hacia su base.

Toda la unidad muestra una intensa propilitización con desarrollo de epidota, clorita y pirita diseminada, que le imparten su color característico.

Su espesor no se ha medido con exactitud por estar en gran parte erosionada, pero se considera que es mayor de 70 m.

Sus relaciones estratigráficas son discordantes tanto en las rocas de unidades inferiores como con las ignimbritas-riolíticas que parcialmente la cubren. Por descansar sobre las calizas del Cretácico Medio y por estar alterada y mineralizada por la acción del granito laramídico, su edad es con toda seguridad del Cretácico Superior.

d) Corneana u Hornfels

Las rocas volcánicas, piroclásticas y sedimentarias detríticas anteriores fueron transformadas a corneanas u hornfels por la acción metamórfica del batolito granítico que predomina en el área. Cuando no fue posible distinguir las megascópicamente se las agrupó con este nombre. Las rocas calcáreas se transformaron a mármoles y skarns o tactitas, como ya se estableció.

Es una unidad de colores gris oscuro o verdoso, pardo y pardo rojizo, de aspecto brechoide, porfirítico o afanítico, con fracturamiento variable. Su composición es también variable.

Hacia su base la corneana posee una estructura brechoide, con fragmentos de calizas, areniscas, andesitas, dacitas y riódacitas; su matriz es de grano fino a mediano con alteración moderada a intensa y consiste en clorita, epidota, calcita, arcillas y hematita.

En su porción media se observa una estructura más compacta, poco fracturada, con textura porfídica en matriz afanítica y silicificación frecuentes, lo que confiere a la roca mayor solidez. En sus escasas fracturas los planos están completamente hematizados, llegándose a manifestar algo de pirita.

La porción superior tiene un color gris verdoso, de textura arenosa o piroclástica, en ocasiones ligeramente bre -- choide. Los fragmentos de roca están muy argilitizados y cloritizados, haciéndose difícil la distinción entre esta porción y la intermedia, es decir se trata de un cambio -- transicional muy sutil.

Los estudios al microscopio polarizante señalan que las rocas originales fueron una secuencia vulcano-sedimentaria, consistente en andesitas, dacitas, riodacitas, areniscas y brechas polimícticas que posteriormente fueron modificadas por los efectos metamórficos de contacto generados por la intrusión del granito.

King (op.cit.) descubrió dentro de la zona estudiada, una secuencia de rocas volcánicas básicas a ácidas afectadas por metamorfismo regional y posteriormente por metamorfismo de contacto, que dieron como resultado Corneanas de Albita-Epidota. A estas rocas, Bonneau (op.cit.) les asignó una edad del Cretácico Inferior por encontrarse debajo de una sección sedimentaria de edad Albiano-Cenomaniano.

e) Granito

Esta unidad pertenece al evento magmático conocido como Batolito de Sonora-Sinaloa, el cual marca en el noroeste del país el final de la Revolución Laramide. Aflora en gran parte del norte de Sinaloa, siendo especialmente abundante en el vaso de Huites, en donde ocupa sobre todo las partes bajas.

Se trata de una roca de color verde y crema o rosa y crema, de estructura maciza, presentando un buen grado de compacidad en sus partes más profundas, mientras que en superficie se desarrolla un fracturamiento en dos sentidos que forman un ángulo casi recto y es además, un tanto deleznable.

Su composición varía de granítica a granodiorítica, su textura es holocristalina, equigranular media e hipidiomórfica, con facies porfiríticas hacia sus bordes. Sus minerales primarios son los feldespatos potásicos y plagioclasas en proporciones variables, cuarzo, biotita, hornblenda, esfena, magnetita, apatita y zircón. Los minerales de alteración son principalmente arcillas que afectan en parte a todos los feldespatos, clorita que afecta a micas y anfíboles, y hematita, como oxidación de los máficos; se observan a veces -- también vetillas de cuarzo, calcita y rodonita.

Yáñez M. (1976) señala la determinación de edades a dos -- muestras de granodiorita en el área de La Reforma y Choix, -- que varían entre 55.8 y 58.6 millones de años, lo que las co -- loca dentro del Paleoceno.

f) Areniscas y conglomerados rojos

Hacia la porción NNW del vaso, en el área de la confluencia de los ríos Chínipas y Septentrión y, además, área limítrofe de los estados de Sinaloa, Sonora y Chihuahua, se encontró una roca sedimentaria de color pardo rojizo de estructura que varía desde bien estratificada hasta masiva, de unos 200 m de espesor, con poco fracturamiento y fallamiento en bloques. Estas rocas se hallan debajo de la secuencia ignimbrítica, por lo que son anteriores a ella.

Los componentes detríticos varían de subangulosos a subredondeados, lo que indica que hubo un cierto transporte. El porcentaje de fragmentos de rocas es mayor que el de plagioclasas, no contiene cuarzo, o bien éste es escaso, presentando buena clasificación.

Al microscopio (muestras RM-80-23 y RTB-30) se determinó -- que los fragmentos de las rocas son de naturaleza andesftica y traquftica, con vidrio de la misma composición, y ocupan un 45% de la roca, mientras que las plagioclasas de naturaleza oligoclásica y andesfnica, ocupan alrededor del -- 20%; como minerales accesorios se determinaron magnetita -- (10%) y augita (5%) y la matriz consiste en un 20% de material arcilloso y hematita.

Sobre el Rfo Chfnipas, unos 2.3 Km aguas arriba en su unión con el Septentrión, se colectó una muestra de conglomerado-oligomftctico, compuesto de fragmentos de traquitas en una matriz arenosa proveniente de la desintegración de este tipo de rocas (muestra RBT-26).

En el Arroyo del Palmar, que se une al Rfo Chfnipas, unos 7 Km aguas abajo de su confluencia con el Septentrión, se observaron las mismas rocas sólo que allí contienen fragmentutos de riolitas además de los componentes antes mencionados. Las riolitas no se parecen a las ignimbritas del área (muestras RBT-32, 33 y 34). Es posible que los tres tipos de -- fragmentos descritos provengan de la denudación de la formación San Blas de De Cserna y Kent (1961) que aflora en el -- área del mismo nombre y que ha sido atribuida al Oligoceno-Inferior.

Digna de mención es la muestra RBT-40, colectada 2.7 Km al SW de la unión de los rfos Chfnipas y Septentrión, porque -- contiene además fragmentos de la granodiorita de hornblenda, lo que permite corroborar que las areniscas y conglomerados son posteriores al Batolito de Sonora-Sinaloa. Por tanto, -- tentativamente quedarían en el Oligoceno Superior, antes -- de la erupción de la secuencia ignimbrftica.

Todas estas rocas fueron clasificadas como conglomerados y areniscas (grauvacas lfticas) rojos, debido a la oxidación--por hematita. Los primeros son masivos y ocupan la parte -- basal, mientras que las areniscas están bien estratificada --

das, con rumbos sensiblemente NW e inclinaciones varias ---bles entre 20 y 40° al NE.

Estas rocas pueden correlacionarse con las formaciones El-Palmar y Potrero del Albiano-Cenomaniano que fueron descritas por King (op.cit.) y que están constituidos por areniscas, lutitas, calizas y además la segunda también con conglomerados y derrames andesíticos.

g) Secuencia Ignimbrítica

Esta secuencia, de composición fundamentalmente riolítica, conforma la mayor parte de la Sierra Madre Occidental, donde de su espesor se mide en miles de metros.

Dentro del vaso ocupa la parte alta de los cerros y pueden reconocerse los cinco miembros que se identificaron en la boquilla.

Su fracturamiento casi vertical, aunado al fallamiento en bloques, favorece la formación de cantiles que constituyen su expresión geomorfológica típica.

En el capítulo relativo a la Geología de la Boquilla se -- describe esta unidad litológica con todo detalle.

h) Conglomerados y areniscas abigarrados

Afloran en ambas márgenes del Río Septentrión, desde unos-3 Km antes de vaciar sus aguas en el Chínipas.

Se trata de areniscas (grauvacas líticas) y conglomerados-polimícticos abigarrados, predominando los tonos pardo rojizo, rosa, gris, verde y crema (muestras RBT-35-2, 36-2, -37-2 y 38).

Además de numerosos fragmentos de andesitas, traquitas, --riolitas y granitos, contienen también areniscas e ignimbritas, lo que señala una edad posterior a la de estas últimas, pero anterior a la de los basaltos y doleritas, ya-

que no contienen fragmentos de éstos. Por tanto, se les asigna al Terciario Superior (Plioceno).

Tanto megascópicamente como al microscopio estas rocas son diferentes en aspecto a los conglomerados y areniscas rojos y señalan un período importante de erosión de las ignimbritas.

Esta unidad es correlacionable con la formación Báucarit del Estado de Sonora y Oeste de Chihuahua, que fue descrita por King (op.cit.). Está constituida por conglomerados y areniscas y se ubica dentro del Terciario Superior.

i) Basaltos, doleritas, depósitos de talud y aluvi6n

Al igual que la secuencia ignimbrítica, estas rocas se describen en el Capítulo de Geología de la Boquilla, pues en esta área se estudiaron con mayor detalle.

1.3 Estructuras y Alteraciones

Falta tener más detalle sobre la zona. Es necesario conocer cuáles son las áreas del futuro embalse que pueda representar algún peligro potencial de filtraciones o estabilidad. Actualmente se sabe que las principales estructuras que afectan a la zona están constituidas por fallas y fracturas que tienen rumbos preferenciales N-S y NW-SE, -- llegando a constituir bloques limitados por fallas normales e inversas. Las fallas generalmente se encuentran selladas por diques de diabasa, sin que éstos muestren alguna evidencia de desplazamiento, lo cual nos indica que son fallas inactivas.

El fracturamiento que afecta a las tobas es casi vertical, y está parcialmente cerrado por calcita o cuarzo.

Se localizaron algunas zonas de alteración. En el granito, la alteración más importante es la argilitización, que da-

por resultado que la roca se vuelva muy deleznable; la propilitización se encuentra diseminada, la turmalina aparece también en forma de vetillas o rellenando fracturas pequeñas y la hematita le confiere una coloración rojiza.

La corneana presenta también varias alteraciones: la propilitización diseminada, la hematización y la argilitización que le dan a la roca menos resistencia. Además, la silicificación y la turmalinización que la vuelven más dura y la hacen más resistente al intemperismo.

IV.2 GEOLOGIA DE LA BOQUILLA (Ver plano No.1)

2.1 Introducción

No todas las unidades litológicas mencionadas al describir la geología del vaso afloran en el área de la boquilla. Se observan sólo la corneana u hornfels, el granito-granodiorita, la secuencia ignimbrítica riolítica, diques félsicos y máficos, basaltos y los depósitos de talud y aluvión.

El eje de la boquilla marca prácticamente el contacto entre la corneana, hacia aguas arriba, y el granito, hacia aguas abajo.

Por la margen izquierda la corneana ocupa una faja de 800 metros, que se va adelgazando hacia el norte, al grado que la anchura se reduce a 400 metros en la margen derecha. La exploración subterránea ha confirmado que el espesor de esta roca pasa de 250 metros en la margen izquierda. No hay exploración que defina el espesor de la corneana en la margen derecha pero, en su superficie, aflora desde la cota 150, al nivel del río, hasta la 425, si bien se va angostando el afloramiento.

Desde el punto de vista geotécnico, la corneana adquiere importancia fundamental, ya que en ella se alojarán parcial

mente los túneles de desvío y buena parte de los túneles -
vertederos.

La corneana es una roca de color pardo a gris oscuro, su -
perficie muy fracturada y, por lo general, presenta
una fuerte alteración metasomática o hidrotermal que se ma -
nifiesta por la aparición de zonas de silicificación, pro -
pilitización, argilitización y turmalinización. En estas
condiciones, y a excepción de la primera zona, es fácil --
presa de la erosión y presenta escasos afloramientos, pues
está cubierta por depósitos de talud. A profundidad, sin -
embargo, el fracturamiento no es intenso y se comporta co -
mo roca impermeable.

Esta roca no es sino un remanente de erosión de una anti -
gua secuencia vulcano-sedimentaria que sufrió la intrusión
del granito y granodiorita.

Hacia aguas abajo del eje de la cortina, afloran el grani -
to y la granodiorita de color crema a rosa moteado y verde
oscuro, que están en contacto por falla con la corneana.

Aguas arriba de esta estructura, se la observa también en -
contacto normal por intrusión con extensos afloramientos -
de granitos y granodioritas y está ocupando las partes más
bajas del vaso.

Los granitos y granodioritas en superficies intemperizadas
presentan costras de exfoliación o están alterados al gra -
do de disgregarse, pero a escasa profundidad la roca fres -
ca ya es maciza, dura y compacta.

Sobre la superficie de erosión de corneana y granito, se -
depositó la secuencia ignimbrítica de color rosa y composi -
ción predominante riolítica que ocupa las cimas del área, -
formando escarpes hasta de 200 m, constituidos por bloques
escalonados con paredes verticales de 50 o más metros de -
altura.

La secuencia ignimbrítica presenta ciertas variaciones texturales que permiten dividirla en cinco miembros (toba vítreo-cristalina, toba cristalina, toba lítica, toba soldada y otra toba cristalina).

Cortando a los tres tipos de rocas anteriormente mencionadas se observan diques verticales, inclinados y horizontales (sills o dique-estratos). Son de color gris verdoso oscuro, de composición dolerítica a andesítica, y alterados algunas veces a diabasa, con espesores que varían desde unos cuantos centímetros hasta varios metros, con promedio de 1.5 m.

En el área de la boquilla se encuentra un dique félsico de composición riolítica que se considera uno de los conductos alimentadores de la secuencia ignimbrítica.

Los basaltos empiezan a aparecer a un kilómetro aproximadamente aguas abajo del eje de la boquilla, constituyendo mesetas oscuras de poco espesor y cubriendo a todas las rocas anteriores. Se trata de las últimas manifestaciones del vulcanismo en el área y se piensa que están relacionadas con los diques doleríticos, los cuales serían manifestaciones de este vulcanismo que no alcanzaron la superficie original del terreno.

Desde el punto de vista estructural, en la margen derecha y en el área de la cortina se encuentra un cuerpo que, por su aspecto, se ha denominado informalmente "domo granítico" y que no es sino una superficie de exfoliación de esta roca.

Dicha estructura constituyó uno de los elementos fundamentales durante el depósito de las ignimbritas, pues vino a definir una paleogeografía en el Terciario muy contrastante, que dió por resultado que hacia el NW de este cuerpo la corneana esté por arriba de los 400 m de elevación. Se presenta como un pequeño cuerpo lenticular que se adelgaza

hacia el poniente, en tanto que al NE del "domo" la cornea-na se encuentra desde los 150 m de elevación y tiene un es-pesor considerable, lo que condujo también a un mayor espe-sor de la secuencia ignimbrítica.

La geología estructural del área es bastante compleja. Se han definido varias fallas normales y otras inversas (de reacomodo posterior) que afectan a toda la columna estrati-gráfica. Las más notables son las primeras, que tienen sal-tos grandes, de varias decenas de metros. Además, se tie-ne la presencia de numerosas fracturas que afectan a to-da la secuencia ignimbrítica.

King (op.cit.) señala la presencia de fallas normales e in-versas de orientación N-NW como el patrón tectónico de to-da la región.

2.2 Estratigrafía

La descripción de la secuencia estratigráfica de las rocas que se tienen en la boquilla se hará de acuerdo con su or-den cronoestratigráfico de depósito o emplazamiento. Las unidades son las siguientes:

a) Hornfels o Corneana. Se trata de una roca de tonos os-cu-ros que oscilan entre gris, verde, gris verdoso, rojo pa-rdusco y negro, según la localidad. Su estructura es-compacta y fracturada y su textura varía de brechoide a po-rfídica, piroclástica y arenosa, lo que da idea de las di-versas rocas que la originaron.

Al microscopio se pudieron distinguir cinco tipos de rocas dentro de este cuerpo: el hornfels propiamente dicho, la me-ta-brecha, la meta-toba arenosa, la meta-arenisca y el po-rfido riódacítico metamorfizado, este último sólo en la zona de contacto con el intrusivo granítico. Todas estas rocas presentan un metamorfismo de contacto de baja inten-sidad, dentro de la Facies Corneana de Albita-Epidota (Tur

ner y Verhoogen, 1963, y Turner 1968).

Cuando no fue posible precisar la roca original, el ejem - plar se clasificó simplemente como corneana de albita-epido - ta, o bien de clorita y actinolita, todos ellos mineral - es característicos de la facies mencionada (Muestras - - - LG-80-60, 60-A, 60-B, 93-A y 99, RM-80-15 y Barreno 5, profu - nd - id - ad 85.70 m).

Su textura varía de granoblástica a porfidoblástica. Los - min - er - al - es originales son el cuarzo y las plagioclasas sódica - s, acompañados a veces por cantidades accesorias de felde - sp - ato alcalino y fragmentos de rocas (cuarcitas, diorita - s y andesitas). Los minerales provenientes del metamorf - is - mo son, fundamentalmente, epidota, clorita, actinolita, albita, estilpnomelana, cuarzo y sericita. También se obse - rv - an zonas de alteración hidrotermal que se manifiestan - por la presencia de turmalina, cuarzo, arcillas, propilita (mezcla de minerales verdes con calcita y pirita, así como calcopirita y bornita).

Hay algunas zonas de hematita cuya presencia, en cambio, - se atribuye a procesos superficiales de intemperismo.

La meta-brecha aparece sobre todo en las áreas de entrada - de los túneles de desvío y de vertedores, Alternativa 1 - - (muestras LG-80-94 y 100, RM-80-14 y Barreno 5, prof. 28.35 y 88.56 m). Su textura varía de brechoide y epiclástica - rud - ítica a arenítica, a veces cataclástica, lo que señala - un origen vulcano-sedimentario con deformaciones posteriore - s; está constituida fundamentalmente por fragmentos de - d - ifer - entes rocas volcánicas (andesitas, dacitas, riolítica - s y felsitas), acompañados también ocasionalmente por - - fr - agmentos de rocas metamórficas (cuarcitas, gneises, pizarr - as y metavolcánicas), plagioclasas sódicas, cuarzo y canti - dad - es accesorias de feldespato alcalino. Los minerales - de metamorfismo, así como los provenientes de procesos hi

drotermales y de alteración superficial son esencialmente los mismos de la corneana de albita-epidota.

La meta-toba arenosa también aparece en las áreas de entrada de las obras de desvío y de vertedores, Alternativa 1, y se observó además en las cercanías y debajo del portal de entrada de vertedores, Alternativa 2 (Muestras LG-80-95, 96-A, 97 y Barreno 5 prof. 107 m). Asimismo se encuentra en el Barreno 7, situado sobre el eje de vertedores, cerca del portal de salida (prof. 46.87 y 95.30). Su textura -- siempre varía de piroclástica a epiclástica arenítica. Se compone de fragmentos de rocas volcánicas (traquitas, andesitas, riódacitas y felsitas) y metamórficas (meta-areniscas y cuarcitas), cuarzo, plagioclasa sódica y a veces feldespato alcalino en una matriz cripto-cristalina, cuarzo feldespática con minerales secundarios, siendo éstos turmalina, actinolita, clorita, epidota, cuarzo y pirita.

Hacia la zona de contacto intrusivo corneana-granito, aquella pasa gradualmente a éste a través de una zona de porfido riódacítico metamorfizado, que se observa con claridad en el área de entrada de túneles de desvío (Muestra LG-80-64) y Alternativa 1 de vertedores (Muestras RM-80-13 B y fondo del Barreno 5, desde los 263.90 m).

Se trata de una roca gris clara, gris oscura, verde y crema, de textura porfirítica en matriz microcristalina, a veces brechoide. Sus minerales esenciales son oligoclasa, andesina, ortoclasa o microclina perítica y cuarzo en una matriz microcristalina de la misma composición; como accesorios, máficos alterados, esfena y magnetita, y como secundarios epidota, clorita, actinolita, cuarzo y turmalina, es decir, se encuentra en la misma facies de metamorfismo que todas las rocas pertenecientes al cuerpo de corneanas, razón por la cual se ha incluido dentro de ellas.

Aunque todos los contactos observados entre los diferentes

tipos de rocas metamórficas mencionadas son transicionales, y a veces están interdigitados entre ellos, las observaciones efectuadas en las áreas mencionadas y los datos proporcionados por los barrenos 5 y 7, permiten establecer que la secuencia estratigráfica desde la más profunda a la más superficial es la siguiente: (1) Pórfido Riódacítico; -- (2) Meta-toba arenosa; (3) Meta-brecha, y (4) Meta-arenisca interdigitada con meta-toba.

Las alteraciones hidrotermales que presenta el cuerpo de corneanas están representadas por silicificación, propilitización y turmalinización.

La primera se presenta en toda la roca, siendo más marcada en su parte superior, la segunda afecta a algunas partes sin que se haya podido determinar preferencia por alguno de los tipos mencionados; la turmalinización es irregular y se presenta sobre todo en vetillas, pero también diseminada.

La hematización es una alteración superficial que se caracteriza por impartir a la roca un color pardo rojizo y por lo general se concentra en la parte superior de la corneana.

Estructuralmente la corneana se ve afectada por varios sistemas de fracturamiento: el principal tiene rumbo NE-SW y posición vertical; hay otro sistema normal al primero, que también es importante. Las fracturas se caracterizan por ser cerradas, no soldadas y sin relleno.

b) Granito y Granodiorita. Ambas rocas representan cambios de facies del mismo evento intrusivo conocido en el noroeste del país como Batolito Sonora-Sinaloa, pues sus contactos son transicionales. El término más abundante es la granodiorita que se distingue fácilmente por sus colores gris verdoso y crema, a diferencia del granito que es rosa y gris.

La estructura de estas rocas es compacta y maciza aunque superficialmente es un tanto deleznable por intemperismo, constituyendo costras de exfoliación; también en superficie presenta numerosas fracturas cerradas de tamaño pequeño, por lo general no mayores de un metro. Su textura es holocristalina, fanerítica de grano medio, equigranular e hipidiomórfica, a veces con intercrecimientos gráficos y perfiticos; hacia su contacto con la corneana cambia a porfirítica en matriz microcristalina.

El granito se compone esencialmente de microclina perfitica, oligoclasa, andesina y cuarzo, predominando la primera; como minerales accesorios se observan biotita, hornblenda, magnetita, pirita y apatita, siendo más abundante la biotita; como minerales secundarios pueden aparecer arcillas, clorita, epidota, calcita y hematita. Muestras típicas de esta roca son la GV-80-2 y GB-80-02.

La granodiorita tiene los mismos minerales que el granito, salvo que en proporciones diferentes; las plagioclasas son más abundantes que el feldespato alcalino y la hornblenda predomina sobre la biotita (Muestra GV-80-1).

Ambas rocas están cruzadas por diques aplíticos, además de los doleríticos mencionados previamente. Las aplitas tienen unos cuantos centímetros de espesor, son de color gris claro a rosa, compactos y de textura fanerítica. Mineralógicamente se componen de cuarzo, feldespato, alcalino y plagioclasa sódica; en algunos casos están turmalinizados, silicificados u oxidados a hematita.

En las inmediaciones de la boquilla de Huites el intrusivo se encuentra distribuido ampliamente, constituyendo casi siempre las partes de más bajo relieve caracterizadas por lomeríos arredondados. A lo largo de la carretera El Fuerte-Choix, y sobre todo en las cercanías de esta última población, se ha erosionado al grado de formar penillanuras,

cuya monotonía se interrumpe por unas cuantas mesetas del basalto que lo cubre.

Ya se asentó en los capítulos de Geología Regional del Vaso la edad del batolito, determinada por métodos geocronométricos en diversas partes de Sonora y Sinaloa; se emplazó durante diversas etapas de la Revolución Laramide, que abarca del Cretácico Superior al Eoceno. En el área de -- Choix y La Reforma las últimas determinaciones de 55.8 y -- 58.6 millones de años lo colocan dentro del Paleoceno.

c) Secuencia Ignimbrítica

Descansa discordantemente y en contacto erosional sobre el granito o la corneana. Generalmente se encuentra coronando las partes altas de los cerros y constituyendo cantiles, con taludes verticales.

Su composición es esencialmente riolítica. Esta secuencia presenta algunas variaciones texturales, por lo que se pueden diferenciar hasta nueve unidades diferentes. Sin embargo un análisis más minucioso lleva a la conclusión de que se les puede agrupar en los cinco miembros siguientes: Toba Vítreo Cristalina, T_1 ; Toba Cristalina, T_2 ; Toba Lítica, T_3 ; Toba Soldada, T_4 ; y Toba Vítreo Cristalina, T_5 . Siguiendo este criterio se ha mapeado la secuencia ignimbrítica, pero en algunos lugares es muy difícil precisar el contacto T_2/T_1 ó el T_3/T_2 . Considerando lo anterior y recordando el proceso de formación de una secuencia ignimbrítica, hasta valdría la pena diferenciar únicamente tres miembros, uno parcialmente soldado (T_1 , T_2 y T_3), otro soldado (T_4) y un tercer miembro parcialmente soldado (T_5).

Es interesante hacer notar que en el área de la boquilla - esta secuencia cubre una zona de 0.9 Km^2 y tiene un espesor de 250 m, excepto al NW de la cortina, en donde sufre un notable adelgazamiento hasta reducirse a 150 m. Es-

ta diferencia de espesores se debe al paleo-relieve existente al momento de su efusión. Sin embargo, el comportamiento textural vertical es similar en todos los cantiles, excepto en el bloque localizado en la margen izquierda que está limitado por una falla normal y otra inversa, en la cual los contactos entre los cinco miembros no están claramente definidos.

En el contacto erosional y discordante de la corneana con esta secuencia ignimbrítica se encuentra en algunos lugares una alternancia de brechas volcánicas con tobas cristalinas riolíticas bien estratificadas, lo que hace pensar en efusiones bruscas y lentas alternadas.

La brecha volcánica es de color rosado e intemperiza en rosa más oscuro; está formada por un 50% de fragmentos angulosos de composición variable pero predominando los de corneanas, cuyos tamaños varían desde 1 mm hasta 4 cm que están dentro de una matriz arenosa de cuarzo y feldespatos potásicos.

La toba cristalina es de color semejante al de la brecha, es de composición riolítica con cristales de cuarzo, biotita, plagioclasas alteradas y feldespatos potásicos; tiene algunos líticos de la misma composición y diámetros pequeños.

Esta alternancia, en conjunto es muy cohesiva, pero se presenta muy fracturada, lo cual la vuelve muy inestable. Debido a su estructura heterogénea la brecha es más intemperizable, razón por la cual su contacto con la toba en algunos lugares está abierto.

Dentro de los primeros tres miembros de esta secuencia se encuentran algunos horizontes de grauvaca, cuya presencia ha venido a definir interrupciones durante la efusión piroclástica y a dar lugar a depósitos de materiales híbridos.

Los cinco miembros que constituyen la secuencia ignimbrítica

ca en orden cronoestratigráfico del más antiguo al más joven, son los siguientes:

Miembro 1, T₁. Toba Vítreo-Cristalina

Es una roca piroclástica con matriz criptocristalina por devitrificación, de color gris, ligeramente violeta, que intemperiza en gris más oscuro, su grano es fino y está formada por vidrio, cuarzo, biotita, feldespato potásico y plagioclasas alteradas; tiene un 15% de líticos de composición riolítica y andesítica de diámetros pequeños (1 a 3 mm) y otras más grandes. Es una roca compacta pero debido al alto contenido de vidrio su constitución es frágil.

Miembro 2, T₂. Toba Cristalina

Se trata de una roca de color rosa, de grano fino, que presenta una costra de intemperismo más oscura; está constituida por cuarzo, biotita, feldespato potásico y plagioclasas, así como por un 10% de líticos de composición riolítica y diámetros pequeños (1 a 3 mm). Además es porosa, poco compacta y muy intemperizable.

Miembro 3, T₃. Toba Lítica

Es una unidad con matriz criptocristalina, de colores blanco y rosado que intemperiza en tonos más oscuros, los que le confiere una apariencia muy porosa. Está formada por cuarzo, plagioclasas muy alteradas, biotita y feldespato potásico, con devitrificación y silicificación muy acentuadas. Los líticos disminuyen desde la base (40%), hacia su cima (15%) y son de composición que varía de riolítica a andesítica. Sus diámetros varían de 1 a 15 mm aumentando hasta 4 cm. La roca es muy intemperizable, porosa y poco cohesiva.

Miembro 4, T₄. Toba Soldada

Este miembro presenta las típicas texturas eutaxítica o esferulítica por devitrificación; su color es morado e intemperiza ligeramente a tonos más oscuros. Está constituida por cuarzo, vidrio, feldespatos y biotita. Presenta un soldamiento muy acentuado, que aumenta hacia la parte media de la unidad; hacia su cima tiene algunos fragmentos de diámetros pequeños y de composición riolítica, su alto contenido de vidrio la hace muy frágil y presenta un fracturamiento rómbico en 5 direcciones.

Miembro 5, T₅. Toba Vitreo-Lítica

La textura de esta roca es axiolítica y en partes está devitricada; su color es blanco hacia su base y amarillo-rosado hacia su cima, con intemperismo a tonos más oscuros. Está constituida por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita y algunos líticos de composición riolítica y andesítica cuyos diámetros varían de 1 mm hasta 1.5 cm. Es una roca muy porosa, poco compacta y frágil.

d) Diques de dolerita o diabasa y basaltos. El último -- evento magmático dentro del área es el correspondiente a la intrusión de diques básicos, constituidos esencialmente por doleritas y diabasas. El término "diabasa" se emplea aquí en el sentido original, ésto es el de dolerita alterada. Estas rocas se emplazaron preferencialmente a rumbo de fallas y fracturas, soldándolas y por lo general atraviesan toda la secuencia litológica. Megascópicamente son de color verde grisáceo, compactas, poco fracturadas, fá - cilmente intemperizables y erosionables, y constituyen cañadas en el relieve. Sin embargo, a profundidad se vuelven más duras.

Cuando está fresca la roca, sus minerales esenciales observables son plagioclasas cálcicas (labradorita y bitownita)

y los accesorios olivino, piroxenos y magnetita. Los secundarios está representados por clorita y calcita que, cuando son abundantes, transforman a las doleritas en diabasas. Su textura es holocristalina, equigranular fina, hipidiomórfica, a veces ofítica. La composición de las metasetas de basalto, que empiezan a aparecer un kilómetro aguas abajo del eje de la boquilla, es esencialmente la misma, por lo que se considera que estos diques son sus conductos alimentadores.

e) Depósitos de talud y aluvión. El talud que cubre la mayor parte del área se compone fundamentalmente de bloques grandes y numerosos de ignimbritas que llegan a alcanzar diámetros de hasta cinco metros. Se localiza sobre todo a lo largo de los arroyos, encima del granito y la corneana. Se llegan a observar también fragmentos de estas dos últimas rocas, pero son mucho más pequeños y escasos. Junto a los bloques se presentan conglomerados, areniscas y lutitas recientes, poco consolidados, que pueden alcanzar espesores de hasta 20 cm. Algunas veces las gravas y arenas que se localizan en ambos márgenes del Río Fuerte constituyen terrazas bien formadas.

El aluvión constituye llanuras de inundación en el Río Fuerte formadas esencialmente por limos, arcillas y arenas. Las gravas aparecen preferentemente en el lecho del río.

2.3 Geología Estructural

La tectónica de la zona es muy compleja, debido a que representa una debilidad estructural como consecuencia de localizarse en el punto límite entre la región montañosa y la costera. Además, la presencia de rocas intrusivas, extrusivas y metamórficas define un marco general que se ha visto afectado estructuralmente por factores endógenos

(diacclasamiento) y exógenos (fracturamiento y fallamiento) combinados, razón por la que el área está muy fracturada y afallada en bloques, limitados por fallas debidas a esfuerzos distensivos (normales) y a esfuerzos compresivos (inversas), de reacomodo posterior.

La zona de la boquilla es tectónica y las fallas y fracturas importantes generalmente están selladas por diques de diabasa, y aunque superficialmente se encuentran muy intemperizados, a profundidad mejoran su calidad.

Regionalmente se tienen antecedentes (Rodríguez T. y Córdoba, op.cit.) de la presencia de fallas con rumbo N-NW e inclinación con un rango de 30° que suelen formar contactos afallados entre dos tipos diferentes de roca. Localmente tenemos el mismo fenómeno: contacto afallado corneana/granito. La distribución de este tipo de estructuras y su abundancia, dan lugar a un relieve caracterizado por la presencia de Horst y Graben.

Actualmente ya se tiene definida la geología estructural del área.

Las fallas del área de la boquilla mencionadas desde aguas abajo y hacia aguas arriba son las siguientes:

Margen Izquierda

Falla del contacto corneana/granito

Esta falla ha sido observada en superficie en donde se presenta cerrada por arcillas rojas. Tiene un rumbo N 18° W con una inclinación de 38° NE, el cual se confirmó en el crucero 1 del Socavón 3, que se desarrolló siguiendo la falla, y se tiene expuesta por 22 m con un rumbo N 25° W y una inclinación de 55° NE. Al igual que en superficie se le observa cerrada por arcillas rojas.

El Socavón 17 tuvo por objetivo la exploración de esta fa-

lla en el área del eje de la cortina. Esta estructura está visible por 14 m pudiéndose observar una zona de falla claramente definida con una zona cataclástica que mide de 0.30 m hasta 2.50 m, tiene un rumbo de N 10° W y 60° de intensidad hacia el este.

Esta misma falla se registró en el Socavón 9, en el cual presenta claramente su plano de falla cubierto por jaboncillo. Tiene datos de rumbo N 10° W e inclinación de 85° al NE. Además se la localizó en el subsuelo por medio de los barrenos de diamante Nos. 7, 25, 27 y 20. Este último se encuentra en el río y presenta una zona cataclástica de 33.54 metros de espesor.

Esta estructura corta el cauce del río transversalmente y se ha interpretado como una falla de gran desplazamiento debido a que en la margen derecha pone en contacto la secuencia ignimbrítica con el granito. Se localiza en la margen derecha junto a la estructura denominada "domo granítico" por lo cual se le ha dado rumbo variable.

Falla normal

De importancia en el área es otra falla normal que afecta a toda la columna estratigráfica y está emplazada por un dique.

Tiene una orientación casi N-S y una inclinación mayor de 75° hacia el oriente. Se le ha interpretado como importante, pues tiene un salto vertical de más de 100 metros y una bifurcación con un salto similar.

Además, se tienen en esta margen otras 2 fallas inversas, emplazadas por diques. La primera tiene un rumbo de N 25° W con una intensidad de 75° al NE y un salto estimado de 20 metros. La otra tiene un rumbo de N 50° con 48° de inclinación hacia el NE y un salto de 30 metros.

Estas cuatro fallas limitan 4 bloques perfectamente definidos en la margen izquierda y exceptuando la falla del contacto corneana/granito, todas las demás están emplazadas -- por diques básicos, los cuales al erosionarse constituyen cañadas o bien dejan sus respaldos bien firmes.

Asociados con estas estructuras se tienen alteraciones hidrotermales, un marcado fracturamiento de la roca, o bien zonas de cataclasita.

Margen Derecha

En esta margen la estructura más importante que se tiene es la misma falla del contacto corneana/granito, localizada en una cañada que está llena por talud, por lo cual se dificulta su observación directa. En el subsuelo fue identificada en el crucero 2 del Socavón 4 y en el crucero 1 del Socavón 6, puntos en los cuales es observable con un rumbo N 15°W e inclinación de 70° al NE.

Se tiene también otra falla normal, como una bifurcación de la anterior con una actitud sensiblemente vertical y un desplazamiento de varias decenas de metros.

Otra falla interesante en esta margen es una inversa, de poco desplazamiento, que también está emplazada por un dique y tiene un rumbo de N 37°W con inclinación de 77° al SE.

Además se observan otras fallas normales menores, con saltos poco significativos.

En la boquilla existe un fracturamiento que puede agruparse en tres sistemas principalmente, un sistema N-S, otro N 25° W y otro N 25° E.

El primero representa el evento tectónico más joven del área y afecta a toda la secuencia estratigráfica. Sin embargo es más intenso en la corneana, llegando hasta una densidad de 10 fracturas/metro. Generalmente están relle-

nas por hematita o calcita.

El segundo también afecta preferentemente a la corneana. - Se considera importante porque son fracturas abiertas de 2 a 5 mm, sin relleno alguno. En el granito tiene una densidad menor pero con una longitud mayor de hasta 15 m, aunque sea sólo superficialmente. El último de los sistemas- N 25° E, tiene muy poca importancia.

CAPITULO V

GEOLOGIA DE LAS OBRAS Y ASPECTOS GEOTECNICOS

V.1 SOCAVONES, BARRENACION Y GEOFISICA

Para conocer las condiciones geológicas y geotécnicas de las áreas en las que quedarán emplazadas las diferentes obras civiles, se programaron y desarrollaron varios socavones, barrenos de diamante y líneas de geofísica (sísmica de refracción y sondeos geoelectricos), cuyos resultados complementaron los obtenidos por geología superficial. En particular se trató de conocer:

- Los espesores de las diferentes unidades rocosas, incluyendo aluvión y talud.
- Su grado de alteración y
- Sus características estructurales

Objetivos suplementarios determinados por la barrenación de diamante fueron la determinación de la recuperación, el índice de calidad de la roca (RQD) y la permeabilidad, realizando pruebas de tipo Lugeon; los de la excavación subterránea fueron la densidad del fracturamiento, empleando levantamientos geológicos y estructurales, y en el caso de los métodos geofísicos, las velocidades sísmicas de propagación, las resistividades y los módulos elásticos de la roca.

1.1 Desplante de la Cortina

En el cauce del río se programaron y perforaron 8 barrenos distribuidos en una línea recta de 500 m.

Se tuvieron los siguientes resultados:

BARRENO No.	ELEVA CION (m)	PROFUN DIDAD (m)	CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS	CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES
2	148.20	68.00	De 0 a 14.64 m Aluvi6n De 14.64 a 68.00 Granito de Biotita	Recuperaci6n de buena a muy buena; - RQD muy bajo, menor de 25% hasta los 40 m, luego mejora a 60%. No se rea- lizaron pruebas de permeabilidad y - se observaron muchas fracturas rellenas por clorita.
10	145.88	35.35	De 0.0 a 14.00 m Aluvi6n De 14.00 a 35.35 Granito de Biotita	En t6rminos generales todo el barre- no presenta recuperaci6n alta del -- 100% y RQD mayor del 50%, excepto el tramo de 20.00 a 27.50 m en donde am- bos valores bajan a 40% y 10% respec- tivamente. En general el barreno -- tiene poco fracturamiento. No se hi- cieron pruebas Lugeon.
12	145.86	33.75	De 0.00 a 10.50 m Aluvi6n De 10.50 a 33.75 Granito de Hornblenda	Recuperaci6n buena, mayor del 50%, - fracturas rellenas por calcita y clo- rita. Las pruebas de permeabilidad- registraron hasta 75 U.L. (Unidades- Lugeon) a los 16.55 m y 50 U.L. a -- los 25.90 m, debido al fracturamien- to excesivo.
14	146.98	35.35	De 0.00 a 14.05 m Aluvi6n De 14.05 a 35.35 Granito de Hornblenda	Recuperaci6n menor del 60% hasta los 22.35 m. Hacia abajo es mayor del -- 80%. El RQD se mantiene cerca del -- 20% y hasta los 33 m sube al 53%. - La roca est1 muy fracturada y se re- registraron desde 78 U.L. hasta 10 U.L. a los 28.20 m de profundidad, mejo- rando hasta el final del barreno a - 1.9 U.L.

BARRENO No.	ELEVA CION (m)	PROFUN DIDAD (m)	CARACTERISTICAS LITOLOGICAS	CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES
16 (Ver plano No.2)	147.03	37.80	De 0.00 a 16.60 m Aluvi3n De 16.60 a 37.50 Granito de Hornblenda	Hasta los 25.60 m recuperaci3n y - RQD muy bajos, menores del 50 y 20% respectivamente. Luego va mejorando progresivamente. Las U. L. varfan de 1 a 7.5.
18	147.05	50,00	De 0.00 a 14.85 m Aluvi3n De 14.85 a 50.00 Granito de Hornblenda	Hasta los 25.60 m rescuperaci3n y- RQD muy bajos, menores del 60% y - 27%. Es la zona del intemperismo.- Fracturas rellenas por clorita y - pirita. Luego mejora notablemente- a un granito muy sano con recupera ci3n del 100% y RQD del 70%. De -- los 25.60 m en adelante se comporta como una roca pr3cticamente im- permeable.
20		151.45	De 0.0 a 19.44 m Aluvi3n De 19.44 a 113.40 Corneana De 113.40 a 146.94 Zona de Falla De 146.94 a 151.45 Granito	Tanto la recuperaci3n como el RQD- van mejorando con la profundidad,- hasta llegar a los 44.0 m en donde se mantienen con valores del 100%- y mayores del 60% respectivamente. Es evidente la zona de falla; des- pu3s de ella se observa el granito bastante sano.
24	144.00	40.50	De 0.00 a 15.00 m Aluvi3n De 15.00 a 40.50 Granito de Hornblenda	Hasta los 18.25 m se tienen recupe raciones y RQD muy bajos, hasta -- 40 y 10%. Luego mejoran hasta 100 y 52% respectivamente. A los 30.0- m mejora la calidad del granito.

En esta área y longitudinalmente al río se hicieron las líneas de geofísica, Nos. 1, 2, 3, 7, 8 y 9 con levantamientos sísmicos y geoelectrónicos. Sin embargo, debido a que los segundos se ven afectados por más variables en su interpretación, únicamente se utilizaron para analizar la correlación entre ambos métodos, la cual sí fue evidente en algunos casos e inexistente en otros.

Se interpretó una capa de corneana con poco espesor y velocidades sísmicas que varían entre 2 500 y 3 500 m/seg que corresponde a una roca de calidad regular.

El granito que se encuentra abajo es de buena calidad y tiene velocidades sísmicas mayores de 4 000 m/seg.

En el área del cauce del río también se efectuaron levantamientos geofísicos, empleándose sísmica de refracción. Para ello se trazaron 3 líneas longitudinales al río, que cubrieron un área aproximada de 18 000 m², y se configuró el plano de isopacas correspondientes al aluvión. Los mayores espesores se determinaron al centro del cauce y fueron de hasta 16.25 m mientras que los menores fueron de 9.00 m.

Debajo de esta capa de acarreo se obtuvieron velocidades sísmicas de propagación mayores a 4 000 m/seg, que pudieron interpretarse como correspondientes a un granito bastante sano.

Es posible correlacionar estos datos con los logrados con la barrenación. En efecto, se puede concluir que el espesor del aluvión es variable y llega a tener hasta 19.44 m, estando constituido por cantos, arenas y gravas de diferentes tamaños y composiciones que incluyen a todas las rocas de la región.

Debajo de esta cubierta de aluvión siempre están presentes el granito o la corneana intemperizados con espesores de hasta 25 m y que se caracterizan por presentar recupe-

raciones y RQD bajos, como consecuencia de un marcado --- fracturamiento. Debajo de la capa de intemperismo se ob-serva una notable mejoría en la roca que ya está muy sana y poco fracturada.

De lo anterior se puede deducir que para construir el nú-cleo impermeable de la cortina va a ser necesario remover un volumen regular de aluvión y además programar una pan-talla de inyecciones que vuelvan impermeable la zona en - que estará emplazada la cortina.

1.2 Empotramiento de la Cortina (Ver plano No.3)

El lugar en el que se localizará el eje de la cortina es - un cañón de forma trapezoidal que presenta condiciones to-pográficas favorables para emplazarla. Hacia su base tie-ne la anchura del río, que es de 90 m, y a la altura de - la corona tiene 450 m.

Sin embargo, estas condiciones topográficas óptimas se -- ven oscurecidas parcialmente por las condiciones geológi-cas estructurales prevalecientes en ambas márgenes, que - están determinadas por una zona caótica cruzada por va -- rias fallas.

Al inicio del proyecto se había localizado un primer eje - de la cortina, sobre el cual se programaron y desarrolla-ron inicialmente cuatro socavones de exploración (Nos.1, - 3, 5 y 4) y el barreno No.2. Posteriormente se desarro - lló el socavón No.17 para explorar el contacto afallado - corneana/granito. Actualmente se ha desplazado este si - tío 50 m hacia aguas arriba con el objeto de tener un me-jor empotramiento del eje de la cortina en las laderas -- del cañón.

El eje de la cortina en la margen izquierda corta práctica-mente el contacto afallado entre el granito y la corneana

a la altura del río; este lado del perfil quedará emplazado sobre todo en la corneana y sólo su parte más alta en ignimbrita; hacia aguas abajo, el apoyo será básicamente en granito.

El contacto afallado corneana/granito se encuentra relleno por arcillas. Sin embargo no se ha considerado como un riesgo de estabilidad debido a que cruza el río con un ángulo de 65° y tiene una inclinación mayor de 65° hacia el NE.

El contacto ignimbrita/corneana se encuentra abierto superficialmente en algunos lugares, pero en los barrenos siempre se ha observado soldado.

El eje de la cortina en la margen derecha estará emplazado exclusivamente en granito, su perfil quedará hacia aguas abajo totalmente en la misma roca y, en dirección contraria, en corneana y su parte más alta en ignimbrita.

La Geología Estructural ha confirmado la presencia de las fallas principales de la boquilla que afectarán al emplazamiento de la cortina. Tal es el caso del contacto afallado corneana/granito en ambas márgenes y de la falla normal existente en la margen izquierda; sin embargo por sus condiciones de rumbo e inclinación no representan mayor riesgo de estabilidad, ni de filtraciones por el hecho de estar selladas.

Los resultados que se obtuvieron con la exploración por socavones fueron los siguientes:

Margen Izquierda

Socavón 1. Se inició en la alternancia de tobas arenosas y brechas volcánicas que están en la base de las ignimbritas. A 10 metros del portal de entrada se encontró el contacto con la corneana el cual es discordante con rumbo

casi oriente-poniente e inclinación hacia el norte. Se trata de una superficie normal de erosión que no presenta mayor efecto tectónico.

El socavón se prolongó hasta 48 metros de desarrollo, y continuó en la corneana, que se encuentra poco afectada por fracturas pequeñas, llegando a tener una densidad de 6 a 10 fracturas/metro que pueden agruparse dentro de dos familias preferentemente, una con rumbo NE-SW e inclinación mayor de 50° al SE y la otra con rumbo NW-SE e inclinación menor de 50° hacia el SW.

Los resultados que se obtuvieron por medio de microsismica de refracción para las velocidades de propagación de las ondas longitudinales fueron 2 580 a 3 021 m/seg y las transversales de 1 737 a 2 121 m/seg; estos valores, junto con los obtenidos para los diferentes módulos elásticos han venido a confirmar la buena calidad de la roca en este socavón.

Socavón 3. (Ver plano No. 4). Se inició en corneana, muy cerca del contacto afallado con el granito. Tiene una longitud de 29.60 m y todo su desarrollo está en la misma roca.

A 17 metros de su portal de entrada se inició un crucero con una longitud de 26.80 m hacia el suroeste, que tuvo por objetivo localizar el contacto afallado con el granito. Una vez logrado ésto, se le cambió de rumbo, llevándosele paralelo a dicho contacto el cual quedó expuesto por 22 metros, mostrando un rumbo de $N 25^\circ E$ e inclinación de 56° al NE y presentando relleno de salbanda rojiza que tiene un espesor hasta de 10 cm. El granito queda expuesto hasta por 3 metros hacia el bajo de la falla y se puede apreciar que está poco fracturado y es una roca de buena calidad.

La corneana presenta cierto grado de hematización, especialmente en la proximidad del contacto. Se comporta como una roca compacta, poco fracturada, con una densidad de cerca de 7 fracturas/m, algunas rellenas por calcita u óxidos de hierro. Estas fracturas pueden agruparse en -- cuatro familias preferenciales. Dos de ellas con rumbos NE-SW y con inclinaciones menores de 50° hacia el SE y NW respectivamente. Las otras dos tienen rumbos NW-SE e inclinaciones menores de 50° hacia el NE-SW.

Del levantamiento microsísmico del socavón se puede concluir que la corneana, aún cuando está cerca del contacto afallado, es una roca de regular calidad, con velocidades sísmicas de propagación de cerca de 3 000 m/seg. El granito es de buena calidad y tiene velocidades mayores de 4 000 m/seg.

Socavón 5. Tuvo como objetivo lograr mayor información del granito que se encuentra cerca del contacto afallado con la corneana. Se inició en granito, en el bloque de piso de falla. Todo su desarrollo está en la misma roca, exceptuando tres cuerpos irregulares de corneana, localizados a las profundidades de 14 m, 17 a 27 m y 73 a 94 m, que se han interpretado como xenolitos.

El fracturamiento de este socavón puede agruparse en 4 familias preferenciales, dos con rumbos NE-SW e inclinaciones mayores de 50° hacia el NW y SE, las otras dos con rumbos NW-SE e inclinaciones mayores de 50° al NE y SW.

El levantamiento microsísmico del socavón viene a confirmar también que la roca está bastante sana, pues se tienen velocidades sísmicas mayores de 4 000 m/seg, con -- excepción de la profundidad inicial, en la cual el granito está bastante fracturado e intemperizado. Los valores de los módulos elásticos son también aceptables.

Socavón 17. Se localiza 12 m hacia aguas abajo de donde quedó localizado el nuevo eje de la cortina. Tiene un desarrollo de 23.93 m, de los cuales los primeros 9.50 m están en granito, luego tiene un cambio de dirección y va siguiendo el rumbo del contacto falla granito-corneana -- que es N 10°W el cual quedó expuesto con inclinación de 60°E.

El granito está bastante fracturado debido a la falla y a que se encuentra muy cerca de superficie. La falla presenta una zona cataclástica que varía entre 0.30 y 2.50 m de espesor.

El levantamiento sísmico del socavón confirma la presencia de una roca de calidad regular, con velocidades sísmicas que varían de 2 300 a 2 500 m/seg.

Margen Derecha

En esta margen se abrió el Socavón 4 con 2 cruceros, uno de cuyos objetivos fue conocer las características del granito en la zona del eje de la cortina.

Se puede afirmar que este socavón se inicia en un granito de hornblenda y a partir de una discontinuidad estructural a la profundidad de 66 metros cambia a una facies de granito de biotita. La única heterogeneidad litológica que presenta en todo su desarrollo, que es de 175 m, es un cuerpo pequeño e irregular de corneana de los 70 a los 74 metros. En general, es una roca bastante compacta, poco fracturada, que tiene una densidad menor de 5 fracturas/metro, cerradas y con rumbos preferenciales al NW e inclinaciones mayores de 50° al NE y SW.

Las velocidades de propagación sísmica, cercanas a 4 000 m/seg, reflejan también que la roca está bastante sana y es de buena calidad, lo que se ve confirmado por los valo

res de sus módulos elásticos.

En conclusión es posible afirmar que las laderas del cañón en las que quedará emplazada la cortina están constituidas por una zona de fallas inactivas y selladas por diques de diabasa, a excepción de la falla existente entre el granito y la corneana que se encuentra sellada por una capa de arcillas rojas.

De la información obtenida sobre estas fallas se ha concluido que no representan mayor riesgo de filtración y menos aún para la estabilidad de la presa si consideramos su posición e inclinación relacionada con el río.

Es posible minimizar el riesgo que representa el poco fracturamiento de las rocas y la debilidad ocasionada por las alteraciones de la corneana mediante pantallas de inyección que eliminen la permeabilidad de la zona.

Otro riesgo que presenta la zona estriba en que debido al fracturamiento y al diaclasamiento propio del paquete ignimbrítico hay algunos bloques que se observan bastante inestables y en determinado momento pueden poner en peligro la seguridad de la presa, por lo cual se hace necesario removerlos a su debido tiempo.

Otra consideración importante y adicional es que cerca del eje de la cortina, en ambos márgenes, hay una cañada que se encuentra rellena de una cantidad considerable de coluvión, que se hará necesario remover en el momento de realizar la limpia del área.

1.3 Obras de Excedencia

Para los túneles vertedores se han considerado tres alternativas:

<u>Alternativa</u>	<u>Longitud</u>
1. Vertedores Largos	1 040 m
2. Vertedores Cortos	635 m
3. Vertedores en el Puerto de las Cruces	2 027.5 m

Las primeras dos alternativas tienen diferentes entradas y la misma salida. Están ubicadas en la margen izquierda del río, cerca del área que abarca la cortina y consistirán en tres túneles revestidos de 15 m de diámetro cada uno. Fueron evaluadas por medio de obras directas, barrenación de diamante y Geofísica.

La última alternativa implica la conducción de agua por medio de un canal abierto que se localizaría en el Puerto de Las Cruces, 5 Km aguas arriba del proyecto Huites, y fue evaluada por medios topográficos, métodos sísmicos de refracción y geoelectrónicos.

VERTEDORES LARGOS (Ver plano No.5).

Para evaluar esta alternativa se programaron y desarrollaron cuatro barrenos (Nos. 1, 3, 5 y 7) y dos socavones, -- uno en el portal de entrada y otro en el portal de salida, (Nos. 7 y 9 respectivamente) así como levantamientos geofísicos. Estas exploraciones se realizaron sobre el eje del túnel del vertedor central.

La información que se tuvo con la barrenación de diamante fue la siguiente:

BARRENO No.	ELEV. (m)	PROF. (m)	CARACTERISTICAS	CARACTERISTICAS
			LITOLOGICAS	ESTRUCTURALES
1	497.15	335.00	De 0.00 a 80.0 m: T ₅ De 80.00 a 149.00: T ₄ De 149.00 a 215.00: T ₃ De 215.00 a 236.40: T ₂ De 236.40 a 315.10: T ₁ De 315.10 a 335.00: Corneana (Ksc)	En general, todo el barreno presenta una recuperación y un RQD muy buenos, mayores del 80%, excepto T ₄ en donde por el extremado fracturamiento, baja la recuperación y el RQD es de 0%. No hubo pruebas de permeabilidad.
3	409.37	283.25	De 0.00 a 2.40 m: Coluvión De 2.40 a 63.50: T ₃ De 63.50 a 91.14: T ₂ y T ₁ De 91.14 a 191.30: Ksc sericitizada y hematizada De 191.30 a 283.25: Ksc	Todo el barreno en general tiene una recuperación y un RQD muy buenos, mayores del 80% y 60% respectivamente, excepto el tramo de 40.00 a 62.50 m en donde ambos parámetros bajan notablemente. No se realizaron pruebas de permeabilidad.
5	417.34	300.0	De 0.00 a 15.00 m: Coluvión De 15.00 a 32.00: Corneana clo_ritizada De 32.00 a 83.90: Corneana clo_ritizada y epidotizada De 83.90 a 96.30: Corneana seri_tizada De 96.30 a 131.82: Corneana hema_tizada De 131.82 a 136.10: Dique de Dia_basa De 136.10 a 300.00: Corneana con_calcita	De 0.0 a 25.00 recuperación muy baja, 20%. A profundidad mejora y se mantiene en 100%. Hasta los 90 m tiene un RQD menor de 40% debido a que presenta alta densidad de fracturamiento. Con inclinaciones variables. No se hicieron pruebas de permeabilidad.
7	277.68	170.00	De 0.00 a 148.80 m: Ksc Brechoi de silicificada y sericitizada De 148.80 a 170.00: Granito (Ksgr)	Se tuvo alta recuperación en todo el barreno. mayor del 80%. El RQD hasta los 20 m es muy bajo y después mejora arriba del 60%. A 148.80 m se tuvo el contacto afilado Ksc/Ksgr. No hubo pruebas de permeabilidad

Socavón 7. Se inició en corneana muy cerca de su contacto por intrusión con el granito, de tal forma que en los primeros 60 metros de su desarrollo se presentan algunas apófisis de esta roca; fuera de ellas y de un dique diabásico que se cortó a los 146 m todo el socavón está labrado en corneana, con ligeras variantes en sus condiciones mecánicas.

Del portal de entrada hasta los 29 m de profundidad la corneana está alterada por propilitización y argilitización, al grado de ser muy deleznable. Hay numerosas fracturas que por lo general están selladas por arcilla ferruginosa o calcita. Todo este tramo es de roca de mala calidad.

De los 29 a los 60 m mejora la calidad de la roca y se tiene menos fracturamiento. Más adelante, hasta los 95 m, se distingue un elevado contenido de epidota en la corneana, aunque persiste el fracturamiento y algunas apófisis de granito que tienen la forma de pequeños diques de hasta 2.5 cm de espesor. A los 118.50 m hay una falla pequeña sellada con arcillas y calcita.

A los 145 m se observa una zona de falla de hasta 2 m de ancho con relleno de arcilla ferruginosa, calcita, cuarzo y corneana alterada. A los 149 m hay un dique de diabasa que atraviesa el socavón, engrosándose hacia la tabla derecha. Las fracturas siguen presentes hasta el final del socavón, algunas veces rellenas por turmalina, calcita, cuarzo y arcilla. Hasta el final de su desarrollo, a los 184.95 m, la roca está silicificada y presenta fracturamiento menor.

Este socavón tiene un fracturamiento muy marcado. Posee una densidad muy alta, cerca de 10 fracturas/metro. Sin embargo, hay dos familias muy numerosas, con rumbos NW-SE e inclinaciones que varían de 30° a 60° hacia el NE y de-

30° a 70° hacia el SW, respectivamente.

El levantamiento microsísmico de este socavón vino a con-firmar los datos obtenidos por Geología, pues se determinió que desde el inicio del socavón hasta los 29 m se tiene una roca de mala calidad, con velocidades de propagación menores de 1 500 m/seg; luego mejora su calidad a regular y el tramo que llega hasta los 73 m tiene velocidades de 2 500 m/seg. A partir de esa longitud y hasta el final del socavón la roca es de muy buena calidad, con velocidades cercanas a 5 000 m/seg.

Socavón 9. La exploración de la salida de vertederos es común a las alternativas 1 y 2 y se llevó a cabo por medio de este socavón, también encaminado a investigar el contacto afallado entre el granito y la corneana, el cual podría representar complicaciones para la construcción de la obra civil.

La longitud total de este socavón es de 244 metros. Se inició en granito, el cual persistió hasta los 202 metros, en donde se encontró el contacto afallado con la corneana, con rumbo N 10° W e inclinación de 45° al NE y con las características de planos definidos, pulidos y rellenos por salbanda, así como de una zona cataclástica.

Nada hay en el socavón que da idea de la magnitud del desplazamiento y la única información que se tuvo para determinar fue su correlación con otros datos de barrenación y geología superficial. Ambas rocas son de buena calidad, compactas, con poco fracturamiento y una densidad menor de 5 fracturas/metro. Se pueden notar 2 direcciones preferenciales de fracturamiento, una con rumbo NW-SE e inclinaciones mayores de 50° hacia el NE, la otra de rumbo similar y echado mayor de 40° hacia el SW.

Hay algunas zonas con filtraciones que, más que tener algún significado estructural, deben ser el resultado de la

proximidad del socavón con la superficie y su relación -- con el cauce de un arroyo de regular importancia.

La corneana que está expuesta al fondo del socavón no tiene más del fracturamiento normal en el área y es firme, -- por lo que no hay razón para temer mayor complicación al realizar las obras necesarias para la salida de vertedores.

Los estudios geofísicos que se emplearon en los portales de entrada y salida de vertedores y a lo largo del eje -- del túnel central fueron sísmica de refracción y prospección geoeléctrica. De la interpretación de las cuatro líneas levantadas en el portal de entrada de vertedores se pudo deducir que la cubierta de talud es mínima, llegando a tener hasta 2.5 m y que los espesores de la corneana -- son de poca magnitud hasta de 30 metros. Es una roca de muy mala calidad debido al gran fracturamiento y a las alteraciones que presenta, razón por la cual sus velocidades sísmicas de propagación oscilan entre 1 000 y 2 000 m/seg. El granito alterado que se encuentra en contacto directo con la corneana es de baja calidad, con velocidades de propagación sísmica muy bajas y un espesor mínimo. Abajo se encuentra el granito sano, con velocidades de -- propagación mayores a 4 000 m/seg.

En los lugares donde aflora el granito, presenta una capa de intemperismo con espesores de hasta 12 m. A mayor profundidad mejora su calidad notablemente.

De los estudios geofísicos realizados en el portal de salida de vertedores es posible concluir que:

- Los espesores del talud miden hasta 5 metros
- La corneana es de buena calidad y tiene velocidades de propagación arriba de 2 500 m/seg, con espesores hasta de 30 metros.

- El granito, como siempre, presenta una cubierta de intemperismo que alcanza hasta 10 metros de espesor y tiene velocidades de cerca de 1 000 m/seg. Por debajo de esta profundidad mejora su calidad y alcanza velocidades superiores a los 4 000 m/seg.

Asimismo, se interpretó como afallado al contacto corneana-granito.

De la correlación de toda la información anterior con la geología superficial se obtuvo la siguiente sección paravertedores largos:

Los túneles vertedores se iniciarán en corneana, roca que aparece en el Socavón No.7 y que se encuentra bastante --diaclasada y afectada por propilitización y argilitiza--ción, que la vuelven algo inestable.

La obra habrá de cruzar una zona de falla a los 135 m de su portal de entrada, la cual tiene en superficie un rumbo N 22°W, inclinación de 38° NE y un salto estimado de -30 m.

A los 190 m de su desarrollo se intersectará con el barreno No. 5, a la elevación de 210.0 m, en el cual se tuvo -una recuperación del 100% y un RQD que varía entre 40 y -60% debido al fracturamiento que presenta la roca, además de estar también propilitizada y cloritizada.

Los túneles continuarán en corneana hasta llegar a la profundidad de 430 m, en donde encontrarán el contacto con -la ignimbrita mediante una superficie discordante y erosiva; continuarán en la misma roca y a los 480 m cruzarán -al barreno No. 1 a la elevación de 204 m, punto en el -cual la roca se encuentra muy sana y nada fracturada, con recuperación y RQD del 100%.

A los 560 habrán de cruzar nuevamente otra falla, con rumbo diagonal al de la obra y una inclinación casi vertical.

Otra falla se hará presente 90 m adelante, la cual cortará a los túneles casi normalmente y con una inclinación de 85° . A esta profundidad los túneles entrarán nuevamente en la corneana y según lo muestra el barreno No. 3, a la elevación de 200.0 m. La roca está bastante sana y -- presenta una recuperación del 100% y RQD que oscila entre el 40 y 60%. Los datos obtenidos con el barreno No. 7 a esta misma elevación son similares y vienen a confirmar la buena calidad de la roca.

Los túneles continuarán en corneana hasta llegar a 30 metros de su salida, punto en el cual se encontrará el contacto afallado con el granito que se pudo observar en el Socavón No. 9; ambas rocas se presentan sanas, la corneana muy compacta, silicificada y con mucha dureza. El granito en el cual estará emplazada la salida de los túneles se halla bastante intemperizado debido a su cercanía con la superficie.

Geotécnicamente se considera que esta obra no representa mayor riesgo y las zonas más problemáticas pueden ser los portales de entrada y de salida; el primero, debido a que la corneana se halla muy diaclasada y alterada y el segundo, por su cercanía a una falla y al intemperismo del granito lo que lo vuelve muy deleznable, factores que pueden representar riesgos para la estabilidad de la obra.

El factor estructural de que los túneles crucen por varias fallas no se considera que pueda representar algún riesgo, debido a que estas fallas son inactivas y prácticamente los atraviesan normalmente y con inclinaciones favorables.

Vertedores Cortos (Ver plano No. 7)

Para evaluar esta alternativa se programaron y desarrollaron cinco barrenos de diamante, dos localizados en el eje del túnel de la derecha (Nos. 21 y 27), uno en el eje cen

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA



NOTA

- 1- Sierras Magadas
- 2- Monte de Chiapas
- 3- Cuenca Central
- 4- Sierra de Chiapas
- 5- Piedra Costera

Autor: E. Rojas - 1957

ESCALA GRAFICA

0 200 600 1200 Kms

U. N. A. M.	
FACULTAD DE INGENIERIA	
PROVINCIAS FISIOGRAFICAS	
DE LA	
REPUBLICA MEXICANA	
TESIS PROFESIONAL	
<i>Jorge R. Hernández Samayoa</i>	
1961	Fig. Nº 2

tral (No.25), otro fuera de este eje (No.23) y el último localizado en el eje del túnel de la izquierda (No.15).

Para explorar las condiciones de la roca en el portal de entrada se abrió el Socavón No. 11 con cuatro cruceros. - El portal de salida prácticamente es el mismo que el de la alternativa 1 y su características ya se expusieron anteriormente.

Los resultados que se obtuvieron con la barrenación fueron los siguientes:

BARRENO No.	ELEV. (m)	PROF. (m)	CARACTERISTICAS LITOLOGICAS	CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES
15			<p>De 0.00 a 154.00 m: T₅ De 154.00 a 248.70: T₄ De 248.70 a 253.70: Dique Bási De 253.70 a 258.10: T₄ (co) De 258.10 a 264.65: Dique Bási De 264.65 a 268.70: T₄ (co)</p>	<p>Todo el miembro T₅ presenta alta recuperación y RQD mayores del 60%. El miembro T₄ tiene un alto contenido de vidrio y un diaclasamiento muy marcado, y con un diámetro de barrenación AX da recuperaciones prácticamente menores del 40% y RQD de cero. No hubo pruebas de permeabilidad.</p>
21		230.15	<p>De 0.00 a 127.25 m: T₃ De 127.25 a 145.55: T₂ De 145.55 a 185.20: T₁ De 185.20 a 230.15: Ksc</p>	<p>La recuperación es muy buena, mayor del 90%. El RQD es mayor del 80% y sólo decrece en la corneana hasta llegar al 0%. Toda la ignimbrita presenta poco fracturamiento. La corneana está en cambio, muy fracturada.</p>
23	409.05	235.15	<p>De 0.00 a 87.40 m: T₅ De 87.40 a 154.00: T₄ De 154.00 a 213.55: T₃ De 213.55 a 218.65: Gradvaca De 218.65 a 235.15: T₂</p>	<p>Todo el barreno presenta una recuperación muy buena, mayor del 80%, al igual que el RQD; excepto del T₄, que por el mismo diaclasamiento de la roca, su RQD es menor del 20%. En general es una roca de buena calidad. No se realizaron pruebas de permeabilidad.</p>
25	242.76	196.50	<p>De 0.00 a 86.00: Ksc De 86.00 a 196.50: Ksgr</p>	<p>Hasta los 20 m la recuperación y el RQD son muy bajos, menores del 60% y 40% respectivamente. Luego mejoran y tienen valores medios del 80 y 60%, excepto en el tramo de 140 a 145 m en donde bajan casi a cero. Las pruebas de permeabilidad se hicieron hasta los 100 m y registran valores menores de 3.0 U.L. El contacto Ksc/Ksgr está afallado.</p>
27	303.27	200.00	<p>De 0.00 a 74.35 m: Ksc De 74.35 a 77.00: Dique Bási De 77.00 a 200.00: Grani (co to)</p>	<p>Hasta los 40 m de profundidad la roca está muy fracturada, con baja recuperación y RQD. A mayor profundidad mejoran ambos parámetros y se tienen recuperaciones del 100% y RQD mayor del 80%. El contacto entre estas rocas está afallado y presenta una zona cataclástica que se manifiesta por 43.32 m.</p>

La condición del portal de entrada de vertedores cortos se exploró mediante el Socavón No.11 que tiene una longitud total de 110.06 m, de los cuales los últimos 20 m se desarrollaron siguiendo el eje del túnel central. Se le hicieron cuatro cruceros, dos de ellos se iniciaron a los 46 m de su portal de entrada y tienen longitudes de 87.72 y 54.30 m hacia la izquierda y derecha (C-1' y C-2') respectivamente. Los otros dos (C-1 y C-2) con longitudes de 16.68 y 17.24 m se inician a los 90.5 m de profundidad y se abrieron siguiendo la dirección de una de las bermas. No se terminaron de acuerdo con su longitud inicial programada con el fin de no debilitar la zona en donde quedarán posteriormente las bermas.

Tanto el socavón como los cruceros se desarrollaron completamente en la ignimbrita en el miembro 1, pero su contacto con la corneana se halla cerca del portal de entrada. Hasta el final del socavón está el contacto con el miembro 2.

Del reconocimiento estructural preliminar del socavón se pudo verificar que la roca está bastante sana, compacta, y tiene una densidad de fracturas menor de 5 por metro. Generalmente están cerradas, algunas selladas por arcilla, especialmente las pocas que se presentan como fallas pequeñas. Asimismo se determinó que este fracturamiento sigue 4 orientaciones preferenciales: dos de ellas cercanas a $N 45^{\circ} W$ e inclinaciones mayores de 50° hacia el NE y SW respectivamente; las otras dos inclinaciones semejantes y rumbos cercanos a $N 45^{\circ} E$.

Del levantamiento microsísmico del socavón se pudo determinar que la roca es de calidad regular con velocidades sísmicas mayores de 2 500 m/seg.

De la correlación de los datos anteriores con la geología superficial se obtuvo la sección de vertedores cortos, la cual tiene las siguientes características:

Iniciará su desarrollo en la ignimbrita, y considerando el poco fracturamiento que presenta la roca en el Socavón 11- y su estabilidad para formar taludes naturales, no se considera que exista riesgo posible en su portal de entrada.

Estas condiciones óptimas de litología se ven confirmadas por el barreno 21, cuyos núcleos presentan recuperaciones y RQD mayores del 80 y 90%, respectivamente, a la elevación en la que quedará esta obra.

Continuará avanzando bajo estas condiciones hasta llegar a los 240 m, donde encontrará una zona de falla que lo cruza casi normalmente y tiene inclinación cercana a la vertical.

Al pasar la falla el túnel continuará su desarrollo en la corneana, la cual tiene recuperaciones y RQD muy altos, -- con valores medios de 80 y 60% a esa profundidad.

Se conservarán estas condiciones de la roca hasta llegar el túnel a los 510 m de avance, en donde encontrará el contacto afallado con el granito, el cual en el Socavón 9 tiene un rumbo de N 10° E e inclinación de 45° al NE.

Los últimos 190 m del túnel quedarán en granito el cual, - debido a su cercanía con la superficie, es posible que se presenta bastante intemperizado hasta llegar al portal de salida.

Geotécnicamente, como la roca está muy sana y tiene poco - fracturamiento, se considera que el avance de estas obras - no representará mayor problema de estabilidad, excepto ya - cerca de su portal de salida, en el cual el granito por su cercanía con la superficie está muy intemperizado y es deleznable.

Vertedores en el Puerto de Las Cruces

La evaluación de esta alternativa se hizo con Geofísica, - mediante los métodos geoelectrico y sísmico de refracción,

contando para ello con el apoyo topográfico.

Esta alternativa consiste en la construcción de un canal -abierto de 2 027.5 m de longitud y rumbo aproximado N 36° -W, excavado en granito en el lugar denominado Puerto de --Las Cruces, localizado 5 Km aguas arriba del Proyecto Hui -tes.

El área estudiada fue de 608 250 m²; para ello se trazó --una línea base perpendicular al Puerto, de 2 027.5 m de --longitud y 10 líneas perpendiculares a la anterior, de 300 m cada una y separaciones variables entre ellas.

Para el método geoelectrico se efectuaron 46 SEV (sondeos-eléctricos verticales) equidistantes 50 m inicialmente y -150 m posteriormente, con abertura semielectrónica varia -ble entre 100 y 200 m.

Para el método sísmico se efectuaron 65 tendidos, 55 con -una longitud de 100 m cada uno y 10 de 40 m, traslapándose 20 m con respecto al siguiente y cubriendo una longitud de 5 027 m lineales.

Por correlación de ambos métodos se obtuvieron los siguien -tes resultados:

CAPA	RESISTIVIDAD Ohm-m	VELOCIDAD SISMICA m/seg	ESPESOR m
Suelo Vegetal y Talud	44 a 2 060	159 - 552	
Granito Intemperizado	58 a 3 350	345 - 2 716	15
Granito Sano	252 a 4 990	3 021 - 6 545	15

En conclusión se puede afirmar, considerando el control topográfico, que esta alternativa resulta poco atractiva económicamente pues habría que realizar un movimiento de tierras grande para llevar a la elevación de los túneles ver-

tedores. Además sería necesario modificar una porción del trazo del Ferrocarril Chihuahua al Pacífico que se vería afectada. De la interpretación geofísica se concluye también que la roca sana se encuentra 15 m por debajo de la roca intemperizada.

1.4 Túneles de Desvío (Ver plano No.8)

Para realizar la exploración del lugar en el que quedarán emplazados los túneles de desvío se programó y desarrolló el Socavón No. 15 siguiendo la localización del eje del túnel de la derecha. Además se hicieron los barrenos Nos. 11 y 13; el primero queda sobre el mismo túnel y el No. 13 en el portal de salida del túnel central. Por último, se levantó el portal de entrada con 5 líneas de Geofísica.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

BARRENO No.	ELEV. (m)	PROF. (m)	CARACTERISTICAS LITOLOGICAS	CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES
11	241.82	90.15	De 0.00 a 90.15 m: Corneana muy diaclasada y alterada - por cloritización, hematización y epidotización	Hasta los 37.50 m de profundidad, la roca está muy fracturada, con una recuperación media de 20% y RQD de 0%. A partir de esa profundidad mejoran ambos parámetros. La recuperación se mantiene casi a 100%. El RQD aumenta progresivamente hasta 40% en la profundidad de 62.95 m. El fracturamiento es cerrado y -- las pruebas Lugeon que se hicieron por debajo de los 40 m, registraron 0 U.L. (Roca prácticamente impermeable).
13	203.0	64.75	De 0.00 a 13.00 m: Muestra - de canal De 13.00 a 30.00: Granito - intemperizado De 30.00 a 64.75: Granito - sano	Hasta los 13.00 m se tuvo recuperación de arenas limosas: por debajo y hasta los 30 m la recuperación promedio es del 80% y el RQD es muy bajo, menor de 40%. A mayor profundidad aumenta la recuperación a 100% y el RQD arriba de 60%. Tiene una densidad de fracturas cerradas de 4/metro. Las pruebas de permeabilidad proporcionaron de 4 hasta 0 U.L. disminuyendo con la profundidad.

El Socavón 15 se abrió siguiendo el eje del túnel de la derecha y tiene una longitud de 98.70 m. Se desarrolló en corneana que presenta alteraciones como la propilitización, silicificación y hematización.

El reconocimiento estructural del socavón ha permitido definir un diaclasamiento en la roca, muy similar al del Socavón 6, el cual está cerrado y bien sellado por calcita. Se han definido dos direcciones preferenciales que son NW SE e inclinaciones mayores de 50° al SW y otra oriente-poniente con tendencia a la vertical.

Este socavón presenta también algunas fallas pequeñas, rellenas por calcita, material cataclástico y arcillas, localizadas en las profundidades 53, 85, 88 y 93 m. Además a la longitud de 30 m hay dos hilillos mineralizados con pirita y turmalina con espesores de 7.5 cm.

En conclusión podemos afirmar que los primeros 40 m del socavón se presentan bastante fracturados, diaclasados y con filtraciones debido a su cercanía con la superficie y a las alteraciones que presenta la roca.

Lo anterior se ve confirmado por la geofísica que señala para este mismo tramo una roca de calidad regular con velocidades sísmicas cercanas a los 2 500 m. Luego mejora la roca hasta el final del socavón y tiene velocidades mayores de 4 000 m/seg.

De las cinco líneas levantadas con Geofísica se puede concluir que la roca en la que estarán localizados los túneles de desvío es de una calidad aceptable, pues sus velocidades sísmicas de propagación dan valores que oscilan entre 2 000 y 2 500 m/seg.

De la correlación de la información anterior, se obtuvo la siguiente sección de Túneles de Desvío: su portal de entrada estará en la corneana, que se encuentra bastante diaclasada y alterada por lo que representa riesgos de es

tabilidad. Luego, a profundidad mejora su calidad y el riesgo disminuirá notablemente, continuándose en esta misma roca hasta llegar a su contacto afallado con el granito. En su desarrollo en la corneana y aproximadamente a las profundidades de 290 y 390 habrán de encontrarse dos fallas que cruzan diagonalmente esta sección, con inclinaciones de 75° al SE y salto estimado de 70 a 10 m respectivamente. Este contacto afallado tiene en superficie un rumbo de N 35° W y una inclinación de 47° hacia el SW, y aunque se presenta abierto, es de suponerse que a profundidad esté sellado por arcillas rojas como se le ha observado en los socavones 3 y 17. Además las rocas a ambos lados de la falla se encuentran muy sanas y aparentemente son resistentes, por lo cual no se considera que haya el menor riesgo de estabilidad.

En el portal de salida se considera problemático el último tramo cuyo techo de granito es menor de 30 m, debido a que este es el espesor que tiene el granito intemperizado y origina condiciones de inestabilidad.

1.5 Obra de Toma, Casa de Máquinas y Desfogue (Ver plano No. 9)

Para conocer las condiciones de la roca en donde quedarán localizadas estas obras, se programaron y desarrollaron los socavones Nos. 4 y 6 y los barrenos 30 y 32.

Los resultados que se tuvieron fueron los siguientes:

Barreno 30. Elevación 208.00 m

Todo su desarrollo está en granito de biotita-hornblenda. Es una roca muy sana que en algunas zonas se encuentra afectada por hidrotermalismo. Tiene muy escaso fracturamiento y presenta recuperaciones y RQD prácticamente del 100% para todo el barreno.

Barreno 32. Elevación 199.72 m

Debajo de 15.20 m de talud todo su desarrollo está en grnito. Hasta los 26.80 m de profundidad la roca está muy -
intemperizada y es fácilmente deleznable, con recuperacio
nes cercanas al 20% y RQD del 0%. De esta profundidad y-
hasta el final del barreno, va mejorando su calidad, y a-
partir de los 44.15 m conserva recuperaciones del 100% y-
RQD mayores del 60%.

Socavón No. 6

Este socavón tiene una longitud de 159.65 m y además un -
crucero de 57 m, cuya finalidad adicional fue revisar los
contactos de la corneana con la ignimbrita y el granito.

Todo el desarrollo del socavón está en corneana, que se -
presenta parcialmente argilitizada, propilitizada y fuer-
temente diaclasada en los primeros cincuenta metros, en -
donde tiene una densidad de fracturamiento mayor de 10 --
fracturas/metro, mismas que se pueden agrupar en 3 direc-
ciones preferenciales: una oriente-poniente con echados -
mayores de 50° hacia el sur, otra similar con inclinacio-
nes mayores de 60° hacia el norte y la última con rumbo -
norte-sur y echados mayores de 60° hacia el poniente.

El levantamiento microsísmico confirmó la mala calidad de
la roca al inicio del socavón pues se obtuvieron velocida
des de 2 419 m/seg.

A partir de esos cincuenta metros y hasta el final del so-
cavón mejora considerablemente la calidad de la roca que-
se presenta silicificada y tiene una frecuencia de fractu-
ramiento menor de 5 por metro, conservando las tres orien
taciones preferenciales antes mencionadas. Estas condi-
ciones fueron confirmadas por geofísica que interpretó es
ta roca como de buena calidad con velocidades sísmicas ma
yores de 4 000 m/seg.

El crucero de este socavón inicia su desarrollo en la corneana y continúa en la misma roca hasta los 31 m, en donde se encuentra el contacto parcialmente afallado con la ignimbrita, teniendo una orientación N 36° W e inclinación de 56° hacia el SW.

Esta misma roca se presenta hasta los 50 m del socavón, en donde se localiza el contacto afallado con el granito, con rumbo N 17° W y una actitud de 66° hacia el NE. El granito continúa hasta el tope de esta obra a los 56.80 m.

Además de estas dos fallas y un pequeño dique a los 24 m de su desarrollo, el crucero presenta algunas fracturas pequeñas y una densidad menor a 5/ metro. La buena calidad de la roca fue confirmada por geofísica que determinó velocidades mayores de 3 000 m/seg para este crucero.

Socavón No. 4

Este socavón ya fué descrito al exponer las exploraciones hechas sobre el eje de la cortina, faltando únicamente la descripción de sus dos cruceros.

Crucero No.1

Todo su desarrollo de 59.89 m está en granito de buena calidad, tiene poco fracturamiento y una densidad menor de 5 fracturas por metro, mismas que se pueden agrupar en 2 direcciones preferenciales hacia el NW-SE e inclinaciones mayores de 50° hacia el NE y SW respectivamente.

El levantamiento microsísmico vino a confirmar también la buena calidad de la roca, proporcionando velocidades sísmicas cercanas a 4 000 m/seg.

Crucero No. 2

Esta obra tiene un desarrollo de 114.66 m. Se inicia en granito y continúa en esta roca hasta llegar a los 98.0 m, en donde se encuentra su contacto normal por intrusión --

con la corneana, misma que se presenta hasta los 100.30 m, en donde hay un dique vertical de 1.00 m de espesor, para continuar por 2.0 m más en granito. Allí, a los 103.90 m se encuentra una falla normal con rumbo de 60° hacia el NW e inclinación de 67° hacia el NE que lo pone en contacto con la ignimbrita, misma que se mantiene hasta los 106 m, en donde se tiene un dique de diabasa, sensiblemente vertical, de 2 m de espesor. El crucero continúa en la ignimbrita hasta llegar a los 109.50 m en donde la presencia de una falla con orientación N 42° W e inclinación de 77° al NE produce el cambio litológico a corneana, la cual queda expuesta hasta llegar al final del crucero.

El socavón se presenta poco afectado estructuralmente. Se observan algunas fracturas y fallas pequeñas, con una densidad menor de 5 por metro, y una orientación similar a la que se observa en el crucero No.1.

Geofísica ha confirmado la buena calidad de la roca registrando velocidades sísmicas cercanas a 4 000 m/seg. Asimismo, de la línea sísmica que se levantó en el portal de entrada de la obra de toma es posible concluir que la corneana en esa área es de calidad regular con velocidades de propagación sísmica mayores de 3 000 m/seg.

Por correlación de la información anterior fue posible interpretar la siguiente sección para casa de máquinas, túneles de conducción y desfogue.

La obra de toma inclinada estará desarrollada parcialmente en ignimbrita y continuará en corneana. Los túneles de conducción estarán en la corneana los primeros 140 m de su desarrollo, en donde encontrarán al granito por contacto afallado. Esta falla tiene un desplazamiento mayor de 150 m, con rumbo perpendicular a la obra y una inclinación mayor de 68° . Esta estructura no se considera que represente ningún riesgo de estabilidad debido a las características observadas.

1.6 Acceso a la Corona y Entrada de Vertedores

Este acceso se logrará por medio de un camino que se abrirá siguiendo la dirección del túnel de exploración No.13, el cual tiene sección de 4 x 4 m y consta de tres partes con longitudes de 206, 68 y 113 m respectivamente, limitadas por dos cañadas de 23 y 18.45 m.

Sección 1

Su portal de entrada está excavado en corneana, 13 m al oriente de su contacto afallado con el granito.

La corneana está argilitizada y propilitizada y además de un diaclasamiento y unas zonas de oxidación muy marcadas, se observan algunas fallas pequeñas; sin embargo no se tuvo ningún problema con la estabilidad de la roca, debido a que es compacta y resistente, A los 98 m de su desarrollo se llegó a su contacto discordante y erosivo con el miembro 7 de la ignimbrita, el cual tiene una orientación N 74° E y una inclinación de 52° al NW. El socavón continúa su desarrollo en esta misma roca hasta llegar al final. El único cambio litológico que presenta son diques de diabasa localizados en las profundidades 167 y 175 m.

La ignimbrita es de mejor calidad y manifiesta una densidad menor de 5 fracturas/m. El fracturamiento tiene inclinaciones mayores de 50° con cuatro direcciones preferenciales, dos hacia el NE y las otras dos hacia el NW. Se ha clasificado la roca como compacta y poco fracturada.

El levantamiento microsísmico de este túnel vino a confirmar la calidad regular de la roca, con velocidades sísmicas cercanas a 2 500 m/seg.

Al término de la sección 1 se encuentra una zona cataclástica, propia de la falla inversa que se localiza entre las secciones 1 y 2 del túnel.

Sección 2

Esta sección está desarrollada en el miembro 1 de la ignimbrita y el único cambio litológico que presenta son dos diques ramificados de diabasa a los 28 y 34 m de profundidad.

Por encontrarse este túnel excavado en un bloque de ajuste entre dos fallas está bastante fracturado, con una densidad menor de 10 fracturas/m, sin que haya necesitado fortificación alguna en todo su avance. Las fracturas tienen inclinaciones mayores de 50° hacia el NE y SW y rumbos preferenciales hacia el NW.

El levantamiento sísmico del socavón determinó velocidades sísmicas cercanas a 2 000 m/seg, lo cual confirma la mala calidad de la roca.

Al final de este socavón se encuentra una cañada de regular importancia, cubierta por talud y en la cual se logra apreciar un dique que está emplazando una falla normal con rumbo $N 25^\circ W$ e inclinación de 80° al NE.

Sección 3

Esta sección del túnel inicia su desarrollo en el miembro 3 de la ignimbrita, pero al llegar a los 100 m alcanza su contacto con el miembro 2, que tiene un rumbo $N 47^\circ W$ y una inclinación de 20° al SW. Se trata de una roca compacta, poco fracturada, con una densidad menor de 5 fracturas/m y una dirección preferencial hacia el NW e inclinaciones mayores de 50° hacia el SW.

Se determinaron velocidades sísmicas mayores de 2 500 m/seg, lo cual refleja una buena calidad de la roca.

V.2 BANCOS DE MATERIALES (Ver plano No.10)

2.1 Introducción

La construcción de la cortina de materiales graduados requiere cerca de 4.5 millones de m^3 de arcillas y 3.0 millones de m^3 de grava-arena. Para el material de los respaldos hay rocas que pueden servir de cantera.

Toda la exploración se ha orientado a la búsqueda de estos materiales en las cercanías del proyecto, con el objeto de que la economía en su extracción no sea un factor limitante para su aprovechamiento.

2.2 Arcillas

Para la exploración de las arcillas se hizo uso primeramente de la fotogeología; en las fotografías aéreas a escala 1:55 000 se localizaron los bancos Nos. 1, 2, 3 y 4 aplicándose el criterio de que las arcillas se encuentran en la parte superficial de las mesetas de basalto. Luego se hizo un reconocimiento en esas áreas y finalmente se procedió a su cuantificación. Para ello se empleó la geofísica que dió resultados negativos, pues no fue posible diferenciar con sísmica o geoelectrica los espesores de las arcillas y del basalto intemperizado.

Se hizo necesario levantar los bancos por medio de una cuadrícula topográfica de 100 x 100 m y en los puntos de intersección se abrieron catas, con el fin de determinar el espesor real de la capa de arcillas y sus características megascópicas. Esto ayudó a delimitar el área que constituiría el banco. Luego se determinó el espesor medio de cada cuadrícula, tomando para ello, los espesores medidos en cada uno de sus vértices. Con estos resultados se calculó el espesor medio general del banco, y tomando en cuenta su área se obtuvo el volumen de arcillas-

de cada uno.

Ya se tienen cubicados los cuatro bancos que suman un total de 3 096 000 m³. Es interesante señalar que debido a su volumen y cercanía son los únicos significativos dentro del área.

Se ha pensado en completar el volumen de arcillas, agregándole materiales inertes con el doble objeto de disminuir también su plasticidad.

Los bancos Nos. 1 y 2 se encuentran cerca del poblado de Agua Caliente. El primero sobre la margen derecha del Río Fuerte, a 6.7 kilómetros de la boquilla y tiene un volumen de 354 000 m³. El otro con un volumen de 1.9 millones de m³ se localiza sobre la margen izquierda, a 9.1 kilómetros.

Las arcillas se encuentran generalmente cubriendo al basalto. En contacto con éste hay una capa constituida por arena volcánica, lapilli, bombas y bloques de basalto. Este material es de color gris oscuro, con tonalidades amarillas claras en superficies muy intemperizadas, encima del cual se han definido cuatro capas arcillosas.

La primera capa, que es la inferior, tiene un espesor medio de 0.35 m. Está formada por arena y arcilla de plasticidad media y color rojizo, con pocos fragmentos de basalto de diámetros de 0.05 a 0.35 m.

La segunda capa tiene un espesor medio de 0.3 m. Está compuesta también por arena arcillosa, parda y de plasticidad media. Tiene algunos fragmentos de basalto con diámetro de 0.07 a 0.40 m.

La tercera capa tiene un espesor medio de 0.3 m. Se distingue de la anterior tan solo por ser más plástica.

La cuarta capa que es la más superficial, tiene el espesor mayor y es de 0.90 m. Es de color más oscuro, presen

ta mayor plasticidad y sus fragmentos de basalto son aún más escasos:

Se colectaron dos muestras de estos bancos y se mandaron al laboratorio quedando clasificadas, de acuerdo con la carta de plasticidad de arcillas, dentro del grupo CH*, es decir arcillas inorgánicas compresibles, de alta plasticidad, razón por la cual no es aconsejable su uso directo para formar el corazón impermeable de la cortina, debido a las presiones a que quedará sometida ésta.

El banco de arcillas No.3 se localiza al N del No.1 y dista 3.0 kilómetros del proyecto. Tiene un volumen de - - - 404 000 m³ de arcilla negra, arenosa, de alta plasticidad, y se encuentra por debajo de una cubierta de suelo vegetal de espesor variable.

El banco de arcillas No.4 se encuentra localizado en la margen derecha del Río Fuerte, al NE del banco No. 1 y dista 2.5 kilómetros del proyecto. Tiene un volumen de 438 000 m³. Ha sido posible diferenciar dos capas únicamente en sección vertical. La primera está constituida por el suelo vegetal y arena arcillo-limosa, con un espesor medio de 0.20 m. Debajo de esta capa siempre está la arcilla arenosa, de color rojo o negro y de plasticidad muy alta. Tiene un espesor medio de 0.70 m.

2.3 Gravas y Arenas

La localización de estos bancos se hizo primeramente con fotogeología y se comprobaron más tarde con verificación de campo. Se tienen 14 bancos de materiales, que se hallan distribuidos en ambas márgenes del Río Fuerte; cinco hacia aguas arriba del proyecto y nueve hacia aguas abajo y a una distancia no mayor de 9 Km. La cubicación se hizo por medio de los métodos geofísicos de sísmica de refracción y geoelectrica (Ver plano No.11). Para ello se-

tomaron como base los espesores determinados cada 25 me - tros en las líneas geofísicas, y conociendo la separación entre dichas líneas es posible cubicar el volumen con un método similar al que se empleó con las arcillas.

El volumen determinado suma un total de 3 014 858 m³. Se ha podido determinar que estos bancos están constituidos por arenas cuarzosas y feldespáticas, así como por cantos, boleos y gujarros de tamaños y composiciones variables - que abarcan a todas las rocas de la región.

2.4 Materiales para Enrocamiento

Para seleccionar estos materiales se hizo un análisis geológico megascópico de las diferentes rocas que se encuentran en el área y se llegó a las siguientes conclusiones:

Granito: Se presenta alterado y tiene algunas micas, que al intemperizarse dan lugar a materiales finos y lajeados, con baja resistencia.

Corneana: Está muy fracturada, lo cual dificulta la obtención de bloques de tamaño aceptable. Es resistente al intemperismo al estar silicificada.

Ignimbrita: Debido a su variación textural y a sus diferentes capacidades de intemperismo es difícil su explotación regular.

Basalto: Esta roca es la más interesante, pues se presenta en forma estratificada y con una estructura vesicular-uniforme, lo cual favorece su explotación.

Sin embargo, se hace necesario practicar pruebas de intemperismo acelerado y ver el comportamiento de las posibles canteras. Además es posible aprovechar el material de rezo de las obras, como material para enrocamiento.

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer un muestreo sistemático de las arcillas y la realización de pruebas físico-químicas para conocer sus propiedades cuantitativamente.

Se sugiere llevar a cabo pruebas de intemperismo acelerado para conocer las características de resistencia de las rocas que puedan servir de cantera y escoger así la mejor para los respaldos de la cortina.

Para el área de la boquilla es conveniente disponer de un plano topográfico, para la mejor planeación de las obras civiles, en vista de que el disponible actualmente es fotogramétrico y tiene algunas deficiencias en su restitución.

Es conveniente realizar una galería de inyecciones a lo largo del plano de la falla corneana/granito para reducir al mínimo sus riesgos de estabilidad o posibles filtraciones en la base del eje de la cortina.

Es necesaria la realización de pruebas de mecánica de rocas "in situ" para conocer sus características cuantitativamente y prever su comportamiento cuando estén sujetas a cargas una vez construida la cortina y lleno el embalse.

Es muy importante considerar nuevamente la cota del NAMO (283 m) y la del NAME, que es mayor, por la influencia -- que el vaso lleno tendrá para la cimentación del puente de Palo Dulce del Ferrocarril Chihuahua al Pacífico sobre el Río Chínimas, cuya cima está a los 297 589 m.

Es conveniente darle mayor valor a la información obtenida por métodos geofísicos, así como hubiera sido interesante darle desde el principio del proyecto una debida in

interpretación acorde con la geología.

Para conocer el comportamiento en el subsuelo de las diferentes unidades estratigráficas en la margen derecha, es conveniente la realización de algunos barrenos o, en su defecto, levantamientos geofísicos que proporcionen resultados similares.

Se sugiere para la terminación de la geología regional hacer énfasis en las estructuras que afectan a las rocas, - en especial las que se encuentran inmediatamente en ambos márgenes del río y representen riesgos potenciales como fallas o deslizamientos de talud por el mismo peso de la roca.

En los lugares en los que estarán las obras civiles se sugiere tomar muy en cuenta las direcciones preferenciales del fracturamiento y programar las inyecciones normalmente a éstas, con el objeto de tener una mayor área de influencia y una mejor eficiencia.

Para futuros proyectos, es conveniente la programación de obras en base a parámetros reales de avances, revisión de esos programas y la interpretación conjunta e inmediata de los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

1. Con base a la información obtenida y a las interpretaciones realizadas es posible afirmar que la boquilla no presenta mayor riesgo para la construcción de la cortina. Asimismo, las unidades estratigráficas, sus contactos y sus características estructurales no llegan a constituir elementos negativos determinantes.

2. Aún cuando el área de la boquilla se encuentra bastante afallada, dichas fallas no representan mayor riesgo debido a su posición relativa con las obras ya que generalmente están selladas por diques de diabasa. Además de localizarse el proyecto en un área penesísmica. Sin embargo dicho riesgo es eliminable mediante inyecciones.

3. Regionalmente tampoco se han identificado estructuras que puedan representar algún riesgo de estabilidad o de filtraciones.

4. Las alteraciones observables en las rocas como son la cloritización, la propilitización, la silicificación y la argilitización no se han considerado importantes, pues se ha determinado que, a excepción de la última, no afectan desfavorablemente a las rocas.

5. En ninguna de las obras civiles se ha visualizado mayor riesgo de estabilidad; sin embargo, es importante hacer las siguientes consideraciones:

- Los túneles de desvío con un diámetro de 15 m y excavación en la corneana muy diaclasada y fracturada van a necesitar de algún sistema de fortificación para asegurar su funcionalidad.

- Se recomienda realizar la Alternativa 2 de Vertedores,

pues además de ser la más económica debido a su menor longitud, es la que representa menor riesgo de estabilidad estructural.

- Todos los portales de entrada y salida de las obras -- van a necesitar de algún sistema de fortificación durante su construcción, debido a que cuando se trata de la corneana, la roca superficialmente se presenta bastante diacclasada e intemperizada y cuando es el granito, se vuelve muy deleznable.

6. Se ha confirmado también la calidad inmejorable del granito en donde estará localizada la casa de máquinas, lo cual se ha comprobado por medio de las obras de excavación y los barrenos realizados.

7. El acceso a la corona y entrada de vertedores será -- bastante seguro siguiendo el túnel 13, excepto en el tramo correspondiente a la sección 2, en la cual la roca se presenta muy fracturada y se hará necesario algún sistema de fortificación permanente.

8. Se tiene la disponibilidad de los materiales necesarios para gravas-arenas, y posiblemente se llegue a completar el de arcillas agregándoles algún material inerte con el objeto de reducir su plasticidad.

BIBLIOGRAFIA

- (1960) Palacios Nieto, M. Informe geológico preliminar relacionado con la boquilla de Huites, sobre el Río Fuerte, Sinaloa. Reporte No.11 (Inédito). Archivo de la C.F.E.
- (1960) Estudios y Proyectos, S.A. Estudio comparativo de las diferentes alternativas de aprovechamiento del Río Fuerte. 1a. y 2a. parte (Inédito). Archivo de la C.F.E.
- (1962) García Herrera y Díaz Cabral. Informe geológico preliminar de la boquilla de Huites sobre el Río Fuerte, Sin. Informe No. 1 -- (Inédito). Archivo de la C.F.E.
- (1963) Ramírez Gutiérrez M. y García Herrera C. Geología de la boquilla de Huites (Localización, Exploración y Resultados). (Inédito). Archivo de la C.F.E.
- (1966) Departamento de Planeación y Estudios, C.F.E. Sistema Sonora-Sinaloa, Proyecto Hidroeléctrico de Huites (Inédito). Archivo de la C.F.E.
- (1970) Razo Montiel, A. y Constance, R. Visita de Inspección a los sitios de presas Huites, en el Río Fuerte y Chnipas I, en el Río Chnipas (Inédito). Archivo de la C.F.E.
- (1979) García Barragán, J.C. y otros. Geología del P.H. Huites, Sinaloa (Inédito). Archivo de la C.F.E.
- (1979) Gerencia de Estudios e Ingeniería Preliminar, C.F.E. Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Huites, Sin. (Inédito). Archivo de la C.F.E.
- (1980) Cepeda Dávila, L., S. Ulloa Arredondo y J.R. Vallarino Guzmán. Geología del P.H. Huites, Mpio. de Choix, Sinaloa (Inédito). Archivo de la C.F.E.

- (1959) Raisz, E. Land forms of México; Cambridge, --
Mass. Mapa a escala 1:3 000 000
- (1960) Alvarez Jr., Manuel Provincias fisiográficas de la Repú-
blica Mexicana. Bol. Soc. Geol. Mé-
xicana, 24
- (1977) Rodríguez Torres, R. y Córdoba, D.A. Atlas Geológico y Eva-
luación Geológica Minera de Sinaloa,
México. UNAM. Inst. de Geología y -
Secretaría del Desarrollo Económico
del Estado de Sinaloa.
- (1980) ELC (Electroconsult) P. H. Huites (Inédito). Archivo de-
la C.F.E.
- (1939) King, R. E. Geological Reconnaissance in - - -
Northern Sierra Madre Occidental of
México. Geol. Soc. America, v.50, -
No.11
- (1961) De Cserna, Z. y Kent, B.H. Mapa geológico de reconocimiento y
secciones estructurales de la región
de San Blas y El Fuerte, Estados de-
Sinaloa y Sonora, México; Inst. Geo-
logía. Mex. Cartas geológicas y mine-
ras No.4 (Carta 1:1 000 000)
- (1962) De Cserna, Z.; Schmitter, E., Damon, P.E., Livingston, D.E. y
Kulp, F.E. Edades isotópicas de rocas metamór-
ficas del centro y sur de Guerrero y
de una monzonita cuarcífera del nor-
te de Sinaloa; Inst. Geología Mex. -
Bol. 64 p. 71-84
- (1969) Anderson, T.H. et al. Mesozoic Magmatic Events of the - - -
Northern Sonora Coastal Region. Geol.
Soc. America, Ann. Meet. Atlantic --
City, Abstr. and Programs, Part. 7
- (1969) Carta Sísmica de la República Mexica
na
- (1970) Atwater, T. Implications of Plate tectonics for-
the Cenozoic tectonic evolution of --
Western North-America; Geol. Soc. Am.
Bull. 81, p. 3513-3536

- (1971) Bonneau, M. Una nueva área cretácica fosilífera en el Estado de Sinaloa. Bol. Soc.-Geol. Mex., v.32, n.2, p.159-167
- (1971) Roldán-Quintana, J. Algunas observaciones acerca de las rocas volcánicas cenozicas del Estado de Sinaloa; Inst. Geol. Mex. 12-p.
- (1972) Mc Dowell, F.W. y Clabaugh, S.E. Edades potasio-argón de rocas volcánicas en la Sierra Madre Occidental, al noreste de Mazatlán, 2a. conv. nac. Memoria. Soc.Geol. Mexicana (Resumen) p.182-185
- (1973) Mc Dowell, F.W y Keiser, R.P. Mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental near Durango, México (abs); Geol. Soc. America, Ann. Mtg. Prgm. Dallas, p.731
- (1974) Damon, P. E. Vease (1976) Clark, K. F. y de la Fuente, L. F.
- (1975) Damon, P. E. The age and origin of porphyry copper and genetically related mineral deposits in Mexico (abs.); Ariz. Geol. Soc. Porphyry Copper Symposium, Tucson, Ariz.
- (1975) Demant, A. y C. Robin Las fases del vulcanismo en México: una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. Revista del Instituto de Geología, UNAM, 75 (1) p. 70-82
- (1976) Bagby, W.C., Cameron, K.L., Cameron, M.E. y Gill, J.B. Petrology of tertiary ash-flow tuffs and related volcanics from barranca de Batopilas, Creel región of Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico (abs.); Geol. Soc. America Rocky mtn. Sec. mtg. pgm., Albuquerque
- (1976) Clark, K.F. Geologic Section across the Sierra Madre Occidental, Chihuahua to Topolobampo, Mexico. New Mexico Geol. Soc. Sp. Publ. No.6
- (1977) Inst. Geología, U.N.A.M. Hoja Huites

- (1980) Lozano Chávez, G. Estudio geológico del yacimiento - Santa Anita, Choix, Sin. Tesis profesional I.P.N. (Inédita).
- (1980) Solano Rico, B., G. Lozano Chávez. Descripción geológico-estratigráfica del área Santa Anita, Mpio. de Choix, Sin., Soc. Geol. - Mex., Resúmenes de la V Conv. Geol. Nal., México, D. F.
- (1963) Turner, F.J. y Verhoogen, J. Petrología ígnea y metamórfica. Ediciones Omega, S.A., Barcelona -- p. 537-538.
- (1968) Turner, F.J. Metamorphic Petrology; mineralogical and Field aspects. Mc Graw Hill Book Company, New York, p. 187
- (1974) Daughtery, F.W. Ciudad Chihuahua to Los Mochis - - (railroad log); West Texas Geol. - - Soc., Fieldtrip Guidebook, Pub. No. 74-64 p.32-47
- (1975) Marsal, R. y D. Resendiz Presas de Tierra y Enrocamiento. -- Ed. Limusa, Mexico
- (1976) Clark, K.F. y De la Fuente L., F. Distribution of mineralization in time and space in Chihuahua with particular reference to Sierra Madre Occidental Province (abs.) -- XXV Congr. Geológico Intern., Sidney
- (1976) Yañez, M. Geocronometría del batolito de Sinaloa. Tesis profesional. Inst. Pol. - Nacional, México.
- (1980) Torres Herrera, F. Obras Hidráulicas. Ed. Limusa, México.

**RELACIONES DE BARRENOS, SOCAVONES
Y LEVANTAMIENTOS GEOFISICOS**

RELACION DE BARRENOS. SU LOCALIZACION Y OBJETIVOS DE EXPLORACION.

BARRENO No.	M.I.	CAUCE	M.D.	COORDENADAS			PROFUNDIDAD (m)	OBJETIVOS DE EXPLORACION
				X	Y	Z		
2		}		17 482.86	2 707.97	148.21	65.30	-DETERMINAR EL ESPESOR DEL ALUVION -CONOCER LAS CONDICIONES DE LA ROCA EN LA BASE DE LA CORTINA.
10				17 308.06	2 625.71	145.48	38.30	
12				17 351.00	2 643.00	145.86	33.75	
14				17 395.82	2 662.92	146.99	35.35	
16				17 440.00	2 688.00	147.03	37.80	
18				17 526.12	2 734.58	147.05	50.00	
20				17 594.36	2 768.98	146.81	151.45	
24				17 753.00	2 847.80	147.20	40.50	
1	}			17 862.40	2 323.31	497.72	335.10	-TUNELES VERTEDDRES ALTERNATIVA 1
3				17 742.85	2 174.53	408.34	283.25	
5				18 193.06	2 481.79	417.60	300.50	
7				17 611.67	2 090.63	277.68	170.20	
15	}			17 788.00	2 322.93	470.50	268.70	-TUNELES VERTEDDRES ALTERNATIVA 2
17				17 937.00	2 502.50	427.97	CANCELADO	
19				17 875.09	2 523.14	449.90	CANCELADO	
21				17 864.41	2 573.37	404.66	230.15	
23				17 856.04	2 435.30	495.90	235.15	
27				17 591.28	2 275.34	303.27	200.00	
11	}			17 904.99	2 664.22	252.19	90.10	-TUNELES DE DESVIO
13				17 391.87	2 360.87	207.04	64.75	
30			x	17 336.77	2 949.77	208.00	69.00	-CASA DE MAQUINAS
32			x	17 183.48	2 723.54	199.72	60.70	-TUNEL DE DESFOGUE

M.I. MARGEN IZQUIERDA

M.D. MARGEN DERECHA

RELACION DE SOCAVONES SU LOCALIZACION Y OBJETIVOS DE EXPLORACION

SOCAVON No.	M. I.	M. D.	COORDENADAS			LONGITUD	OBJETIVOS DE EXPLORACION
			X	Y	Z		
1	X		17561.81	2556.21	255.16	48.50	} Eje preliminar de la Cortina Obra de Toma e Casa de Máquinas
3	X		17541.43	2597.74	198.95	29.60	
4		X	17406.83	2662.10	206.57	176.22	
5	X		17519.45	2635.09	158.42	100.05	
6		X	17580.57	2961.06	217.97	159.38	
7	X		18386.33	2628.37	265.53	184.95	
9	X		17379.03	1926.24	185.85	244.45	
11	X		17919.60	2641.77	267.66	110.46	Partel Entrada—Vertederos Alternativa 2
13	X		17581.59	2352.53	293.79	423.14	Acceso a Corona—Cortina y Vertederos
15	X		17947.36	2819.47	160.87	98.83	Tuneles de Desvío
17	X		17548.09	2655.96	153.53	23.93	Falle Ksc/Kcc
CRUCEROS							
3-C-1	X					26.80	Falle Ksc/Kcgr
4-C-1		X				61.32	Casa de Máquinas
4-C-2		X				114.84	Localizer Falle Kcgr/Kcc
6-C-1		X				56.88	Localizer Falle Ksc/Kcgr
11-C-1	X					17.96	} Partel Entrada—Vertederos Alternativa 2
11-C-2	X					18.25	
11-C-1'	X					86.94	
11-C-2'	X					51.33	

RELACION DE LEVANTAMIENTOS GEFISICOS EN EL AREA DE LA BOQUILLA. SU LOCALIZACION Y OBJETIVOS DE EXPLORACION

LOCALIZACION	METODO		LINEA	LONGITUD (m)	TENDIDOS	SONDEOS	OBJETIVOS	RESULTADOS
	SISMICO	ELECTRICO						
PORTAL DE ENTRADA DE VERTEDORES ALTERNATIVA	X	X	L1	450	5	6	DETERMINAR ESPESORES ENCAPE Y/O ROCA INTemperizada DETERMINAR ANOMALIAS ESTRUCTURALES (QUE SE MAN INTERPHETADO COMO FALLAS O CONTACTOS GEOLOGICOS) CALIDAD DE ROCA	EL BASAMENTO EN TODAS LAS LINEAS ES UN GRANITO DE BUENA CALIDAD. TIENE VELOCIDADES SISMICAS DE 4000 A 6000 m/seg, Y RESISTIVIDADES DE 50 A 1500 ohm-m. SE DIFERENCIAN TRES CAPAS: ENCAPE, CORNEANA ALTERADA Y GRANITO ALTERADO CON VELOCIDADES QUE VARIAN DE 38 A 1750 ohm-m.
	X	X	L3	450	5	6		
	X	X	L5	450	5	7		
	X	X	V-V'	200	1	3		
TUNEL CENTRAL DE VENTEDORES	X	X	V-V'	536	3	6		EL ESPESOR PROMEDIO DEL ENCAPE ES DE 1.5m CON VELOCIDADES DE 225 A 300 m/seg Y RESISTIVIDADES QUE VARIAN ENTRE 136 Y 2200 ohm-m. EL PERFIL LEVANTADO ESTA CONSTITUIDO POR IGNIMBRITAS Y LA ROCA NO PRESENTO CONTRASTES SIGNIFICATIVO DE VELOCIDADES SISMICAS O DE RESISTIVIDADES QUE PUDIERAN INTERPRETARSE COMO CONTACTO GEOLOGICO. SE DETERMINARON DOS ZONAS DE ANOMALIAS ESTRUCTURALES.
PORTAL DE ENTRADA DE VERTEDORES ALTERNATIVA 2 Y TUNELES DE DESVIO	X		L8-L9	290	1			SE DETERMINARON TRES MEDIOS: EL PRIMERO CON VELOCIDAD DE 386 m/seg Y ESPESOR DE 1.8m, EL SEGUNDO TIENE VELOCIDADES DE 2154 m/seg A 2571 m/seg Y UN ESPESOR DE 10m PARA LA PARTE CERCA AL RIO E INDEFINIDO PARA LA PARTE SUPERIOR, EL TERCER MEDIO REGISTRO VELOCIDADES QUE VAN DE 4570 m/seg A 4630 m/seg. ESTOS MEDIOS SE INTERPRETARON COMO ZONA DE ENCAPE, CORNEANA ALTERADA Y GRANITO, RESPECTIVAMENTE.
	X		L6-L8	335	1			
MARGEN IZQUIERDA, LONGITUDINALES Y CERCA DEL RIO	X		L1-L1	700	2			EL GRANITO DE BUENA CALIDAD SE PRESENTA COMO BASAMENTO EN LAS LINEAS HECHAS, TIENE VELOCIDADES QUE VARIAN DE 4643 m/seg A 5895 m/seg Y RESISTIVIDAD DE 230 ohm-m A 1670 ohm-m. EL ENCAPE TIENE VELOCIDADES DE 236 m/seg A 640 m/seg Y RESISTIVIDADES QUE VAN DE 60 ohm-m, CON ESPESORES DE 1m EN LA PARTE MAS DELGADA Y HASTA 5m EN LA PARTE MAS GRUESA. LOS VALORES DE VELOCIDAD DE LA CORNEANA OSCILARON ENTRE 2500 m/seg Y 2826 m/seg Y SU RESISTIVIDAD VARIA DE 74 ohm-m A 900 ohm-m. TIENE ESPESORES QUE VAN DE LOS 6 A LOS 80m. LOS VALORES DE RESISTIVIDAD AUMENTAN EN ALGUNAS ZONAS QUE SUPONEN UN MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA ROCA.
		X	L2-L2	390		9		
		X	L3-L3	706		13		
		X	L4-L4	326		8		
CAUCE DEL RIO	X		L1-L1	330	4		EL ESPESOR DE ACARREO VARIA ENTRE 9m Y 17m, Y TIENE VELOCIDADES DE 1983 m/seg A 2118 m/seg. EL MEDIO QUE SUBYACE AL ACARREO, ES SANO CON VELOCIDADES QUE VAN DE 3679 m/seg A 5143 m/seg. LOS ESPESORES OBTENIDOS SE CONFIRMARON CON BARRENACION.	
	X		L2-L2	490	10			
	X		L3-L3	360	7			
MARGEN DERECHA, LONGITUDINALES Y PARALELAS AL RIO		X	L7-L7	250		6	SE DETERMINARON TRES MEDIOS: EL ENCAPE, LA CORNEANA Y EL GRANITO, CON ESPESORES VARIABLES DE 1.11m Y 5.11m LOS DOS PRIMEROS, SIENDO SUS VELOCIDADES DE PROPAGACION SISMICA Y RESISTIVIDADES SIMILARES A LAS ANTERIORMENTE OBTENIDAS.	
	X		L8-L8	267	3			
		X	L9-L9	279		6		
	X	X	L10-L10	154	1	4		

APENDICE FOTOGRAFICO

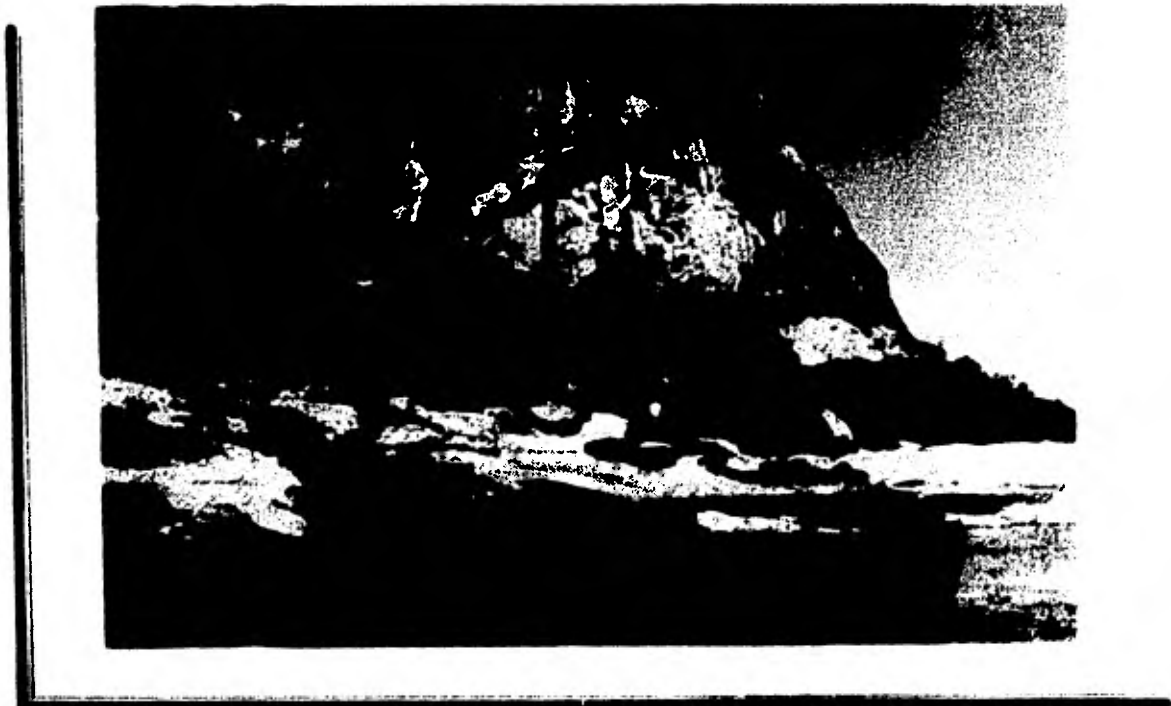


ESTRECHAMIENTO DEL RIO FUERTE, lugar escogido para desplantar la cortina

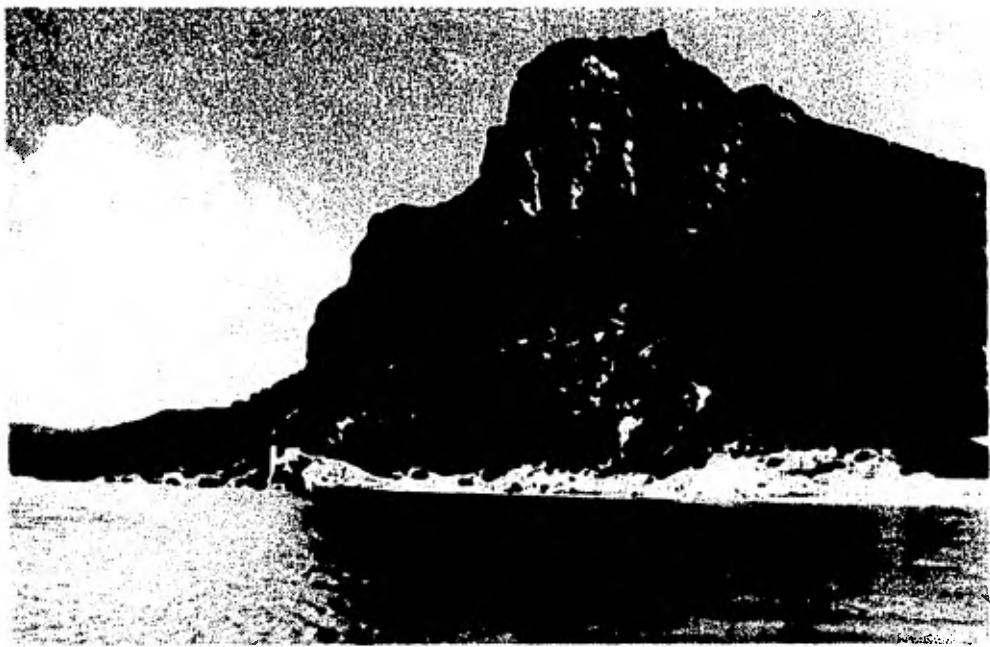




VISTA DE LA MARGEN IZQUIERDA, en donde se localizarán los vertedores, Túneles de desvío y el Túnel de acceso a la corona.



VISTA DE LA MARGEN DERECHA, en donde se localizará la casa de máquinas y los túneles de conducción y desfogue.



DOS VISTAS DE LA MARGEN IZQUIERDA, en el
área de la boquilla





VISTA FRONTAL DEL CASTILLO, en donde se ubicará el eje de la cortina en la margen izquierda



VISTA FRONTAL DEL CASTILLO, en donde se ubicará el eje de la cortina en la margen izquierda



BANCO DE GRAVAS No. 1



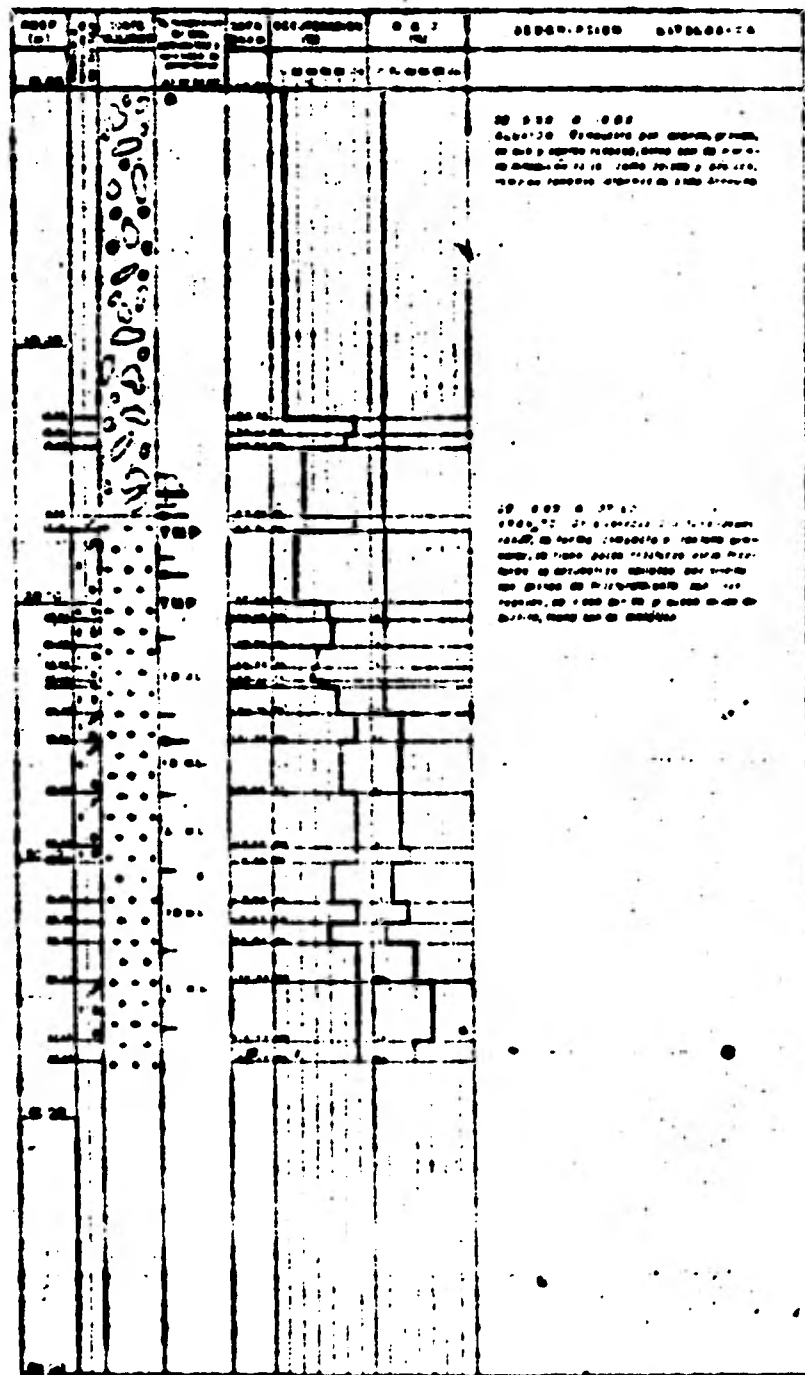
BANCO DE ARCILLA No. 1

RELACION DE PLANOS

PLANOS

NO.	TITULO
1	Geología de la Boquilla y Obra Civil
2	Barreno No. 16
3	Secciones geológicas transversales
4	Levantamiento geológico: del Socavón No.3
5	Planta y sección geológica de vertedores (Alternativa 1)
6	Barreno No. 1
7	Planta y sección geológica de vertedores (Alternativa 2)
8	Planta y sección geológica de túneles de desvío
9	Planta y sección geológica de casa de máquinas
10	Bancos de Materiales
11	Bancos de gravas No.11

BARRENO N° 16
 ELEVACION DEL OJAL 147.00
 PROFUNDIDAD TOTAL 37.00



- EXPLICACION**
- LINEA DE SUPERFICIE DEL TERRENO
 - LINEA DE SUPERFICIE DEL OJAL
 - LINEA DE SUPERFICIE DEL FONDO
 - LINEA DE SUPERFICIE DEL OJAL Y FONDO
 - LINEA DE SUPERFICIE DEL OJAL Y FONDO Y SUPERFICIE DEL TERRENO
 - LINEA DE SUPERFICIE DEL OJAL Y FONDO Y SUPERFICIE DEL TERRENO Y SUPERFICIE DEL OJAL
 - LINEA DE SUPERFICIE DEL OJAL Y FONDO Y SUPERFICIE DEL TERRENO Y SUPERFICIE DEL OJAL Y FONDO
 - LINEA DE SUPERFICIE DEL OJAL Y FONDO Y SUPERFICIE DEL TERRENO Y SUPERFICIE DEL OJAL Y FONDO Y SUPERFICIE DEL TERRENO

SIMBOLOGIA

ARENAS
 ARCILLAS

ARENAS Y ARCILLAS
 ARCILLAS Y ARENAS

ESCALA GRAFICA

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 METROS

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO HIDROELECTRICO QUINES

BARRENO N° 16

TESIS PROFESIONAL

JOSÉ ROBERTO MARTÍNEZ GARCÍA

1981 PLANO N° 8

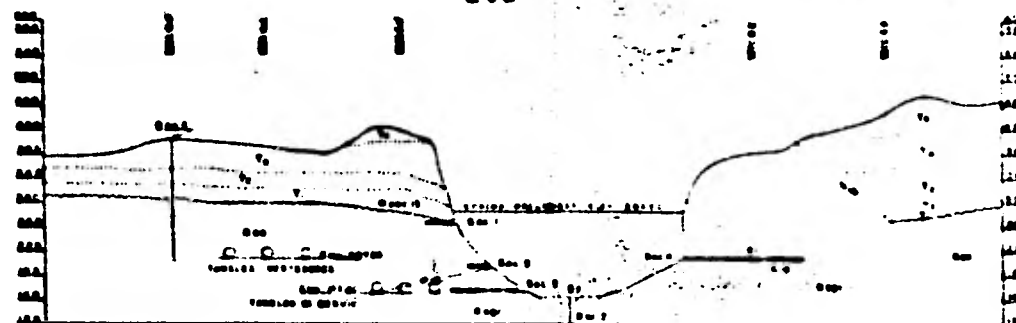
A PARTIR DE
ESTA PAGINA

FALLA DE
ORIGEN.

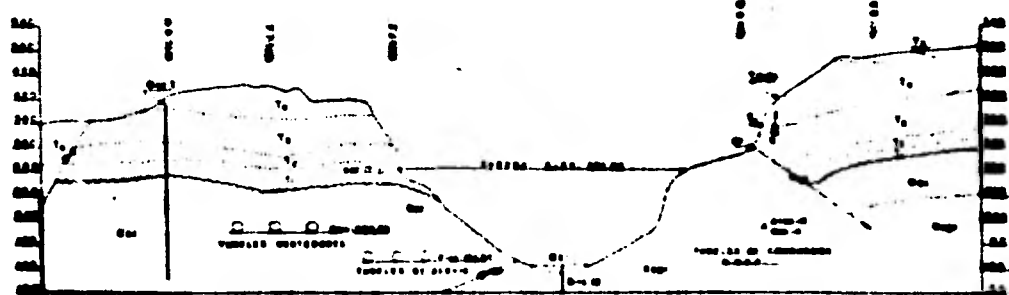
SECCION TRANSVERSAL
Nº 2-2'



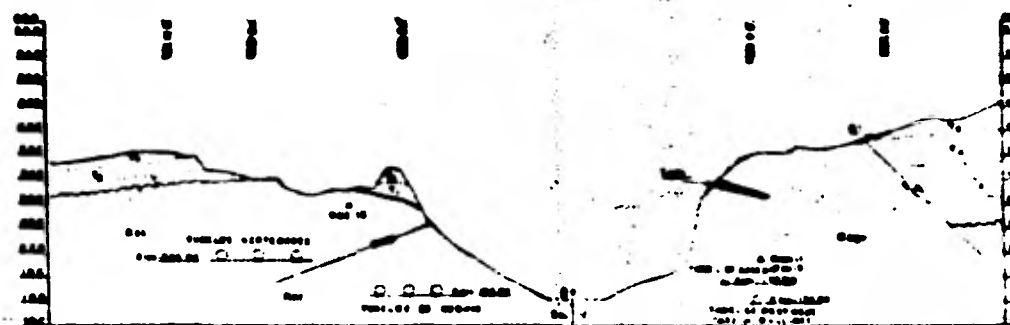
SECCION TRANSVERSAL
"EJE"



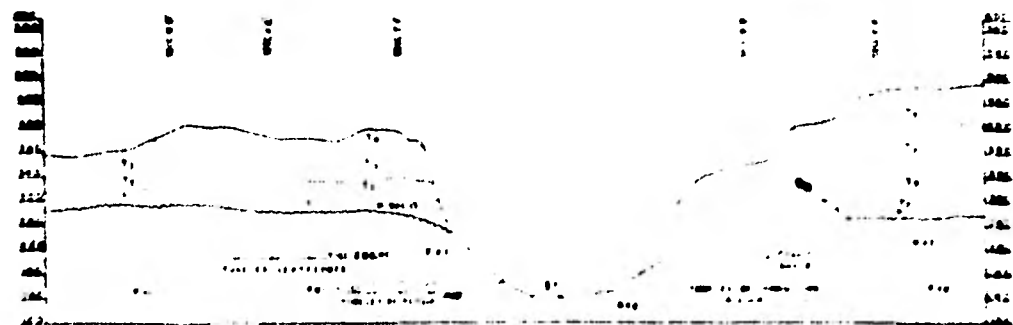
SECCION TRANSVERSAL
Nº 4-4'



SECCION TRANSVERSAL
Nº 7-7'



SECCION TRANSVERSAL
Nº 5-5'



SECCION TRANSVERSAL
Nº 9-9'



LEYENDA

- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...

SIMBOLOGIA

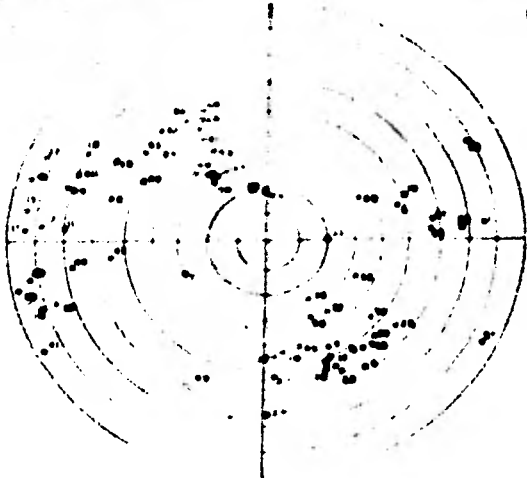
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...
- [Symbol] ...

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
PAQUETES ELECTRICOS
SECCIONES GEOLOGICAS TRANSVERSALES
Nº 2-2', 4-4', 5-5', 'EJE', 7-7' y 9-9'

...
...
...

DIAGRAMA ESTEREOGRAFICO
TUNEL PRINCIPAL



SISTEMA DE FRACTURAMIENTO

- 01 N 77-20° W / 10°-00° NE
- 02 N 47-00° W / 30°-70° W
- 03 N 33-00° E / 30°-00° W
- 04 N 17-00° E / 10°-00° NE
- 05 N 70-00° W / 0°-00° W
- 06 N 00-00° E / 10°-00° W
- 07 N 00-00° E / 10°-00° W

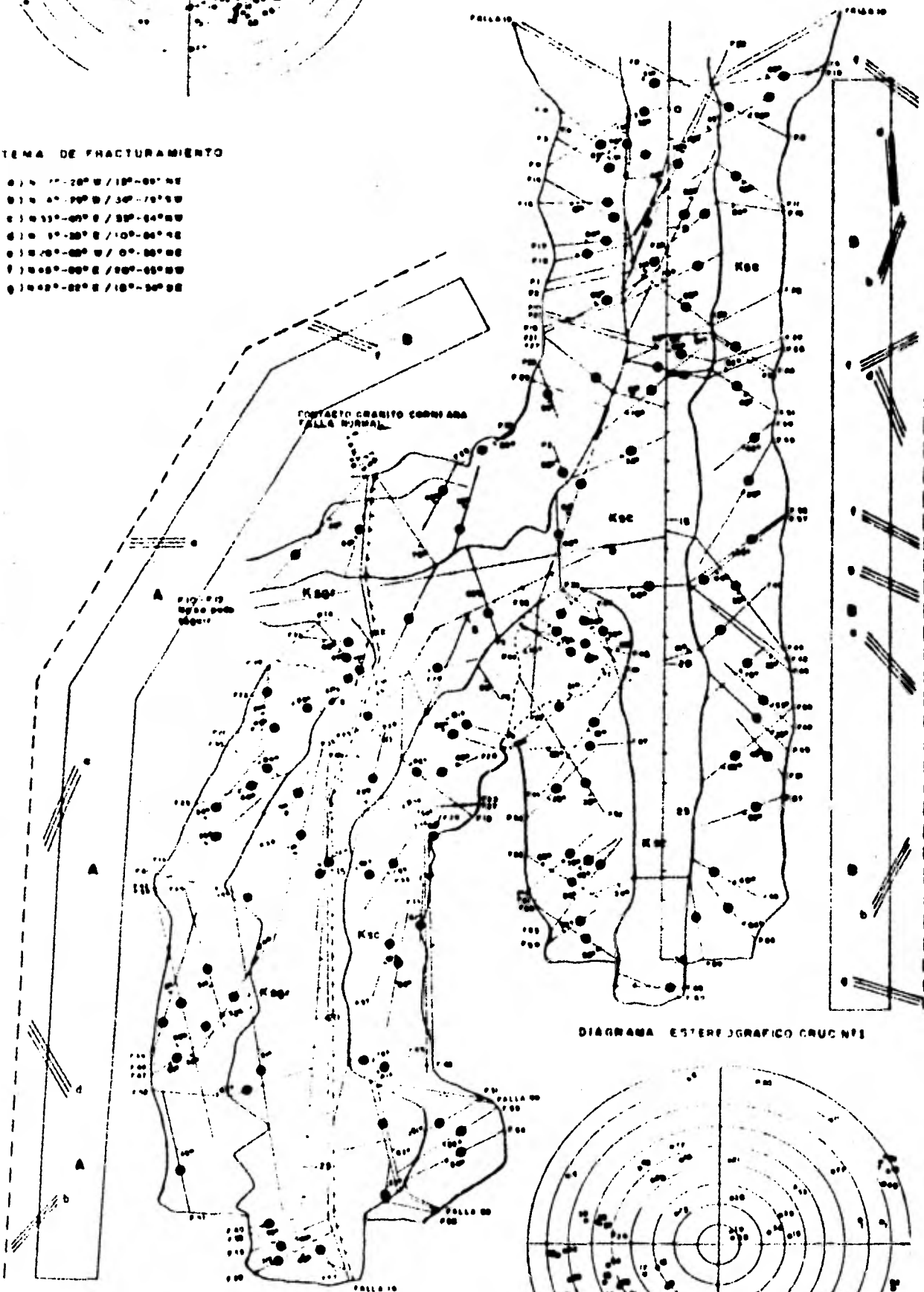
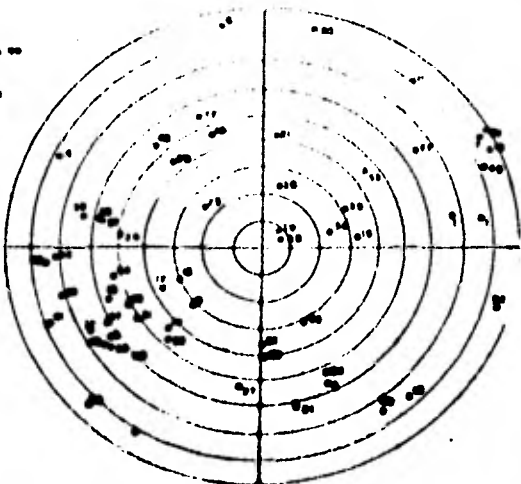
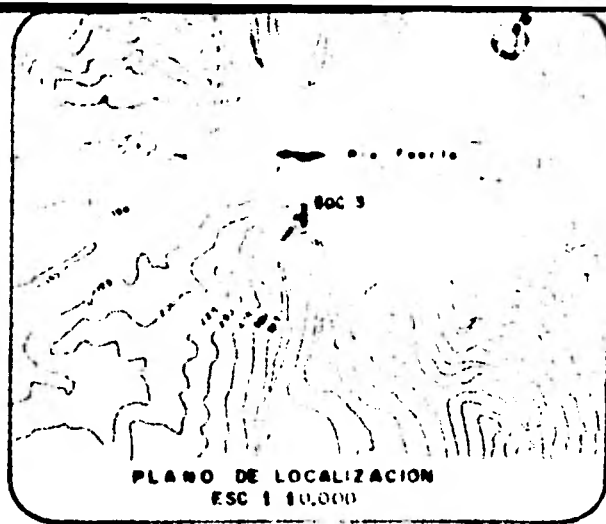


DIAGRAMA ESTEREOGRAFICO CRUC N°1



SISTEMA DE FRACTURAMIENTO SOC N°3 CRUC N°1

- 01 N 17-10° W / 30°-70° W
- 02 N 07-00° W / 0°-00° W
- 03 N 00-10° E / 0°-00° W
- 04 N 37-00° W / 10°-00° W
- 05 N 00°-00° W / 30°-00° W
- 06 N 01°-00° W / 0°-00° W
- 07 N 00°-00° W / 10°-00° W
- 08 N 37-00° W / 10°-00° W



PLANO DE LOCALIZACION
ESC 1 10,000

LEYENDA

- KOC CORNEANA
 - KSG GRANITO
 - CONTACTO GEOLOGICO
 - FRACTURA VERTICAL
 - FRACTURA ABIERTA
 - FRACTURA CERRADA
 - FRACTURA RELLENA
 - FRACTURA SELLADA
 - SISTEMA DE FRACTURAS
 - DIQUE BASICO
 - FRACTURA, RBO DEL ECUADO NUMERO DE FRACTURAS
 - FALLA
- CALIDAD DE LA ROCA**
- A Zona de roca compacta poco fracturada
 - B Zona de roca compacta fracturada
 - C Zona de roca compacta muy fracturada
 - D Zona de roca poco compacta deteriorada (Argilitizada)
 - E Zona de roca muy deteriorada (Argilitizada y propilitizada)
- FRECUENCIA DE FRACTURAMIENTO**
- 0-5 FRACTURAS EN 1m
 - 6-10 FRACTURAS EN 1m
 - 11-20 FRACTURAS EN 1m
 - 21-30 FRACTURAS EN 1m
 - 30 FRACTURAS EN 1m
- ESCALA GRAFICA
- ESCALA 1 100

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA

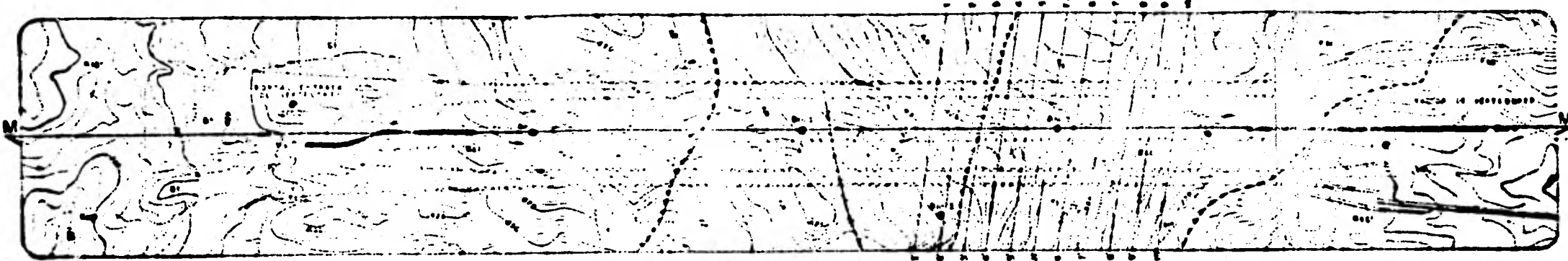
PROYECTO HIDROELECTRICO MUTES
LEVANTAMIENTO GEOLOGICO
DEL SOCAVON N° 3

TESIS PROFESIONAL

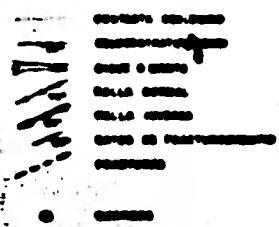
Jorge Roberto Hernández Samayoa

1981

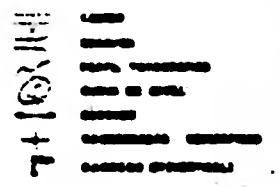
PLANO No 4



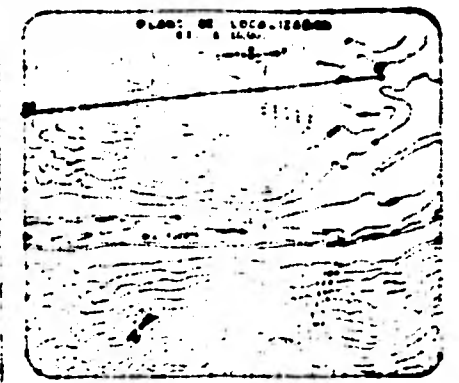
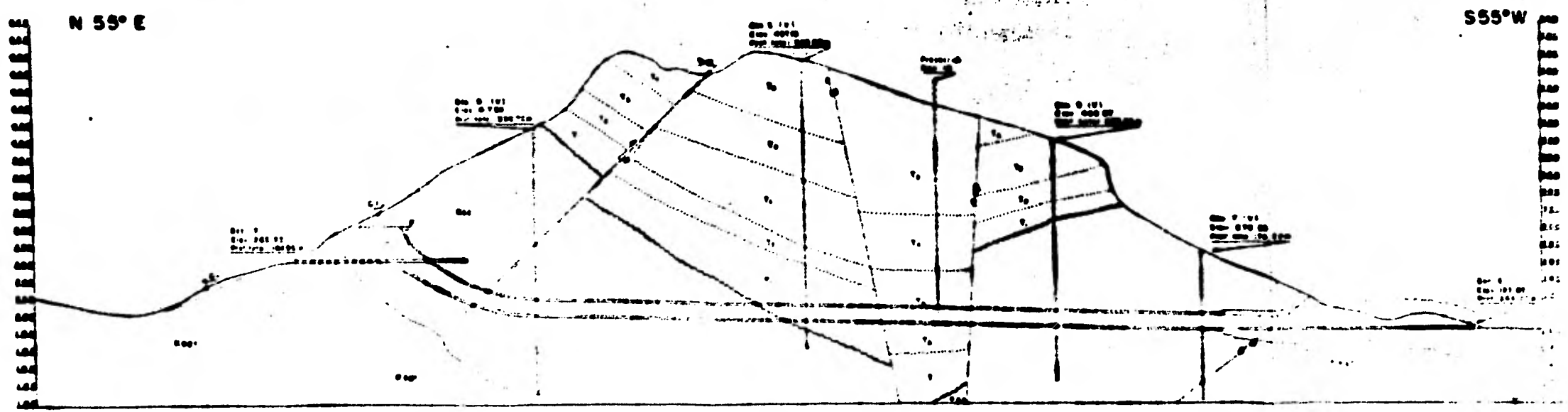
SIMBOLOGIA (Piedra)



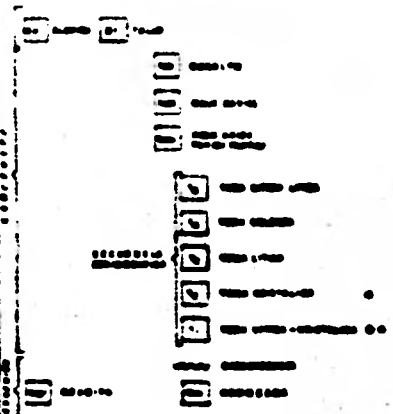
SIMBOLOS TOPOGRAFICOS



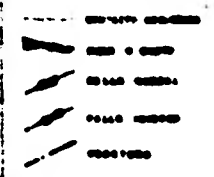
SECCION M-M



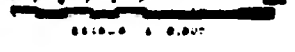
LEYENDA



SIMBOLOGIA (Sociedad)



ESCALA GRAFICA



UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO HIDROELECTRICO BUJES

PLANTA Y SECCION GEOLOGICA DE

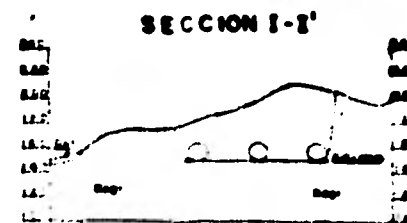
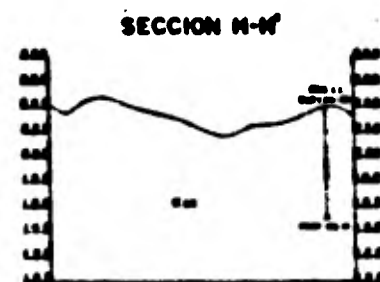
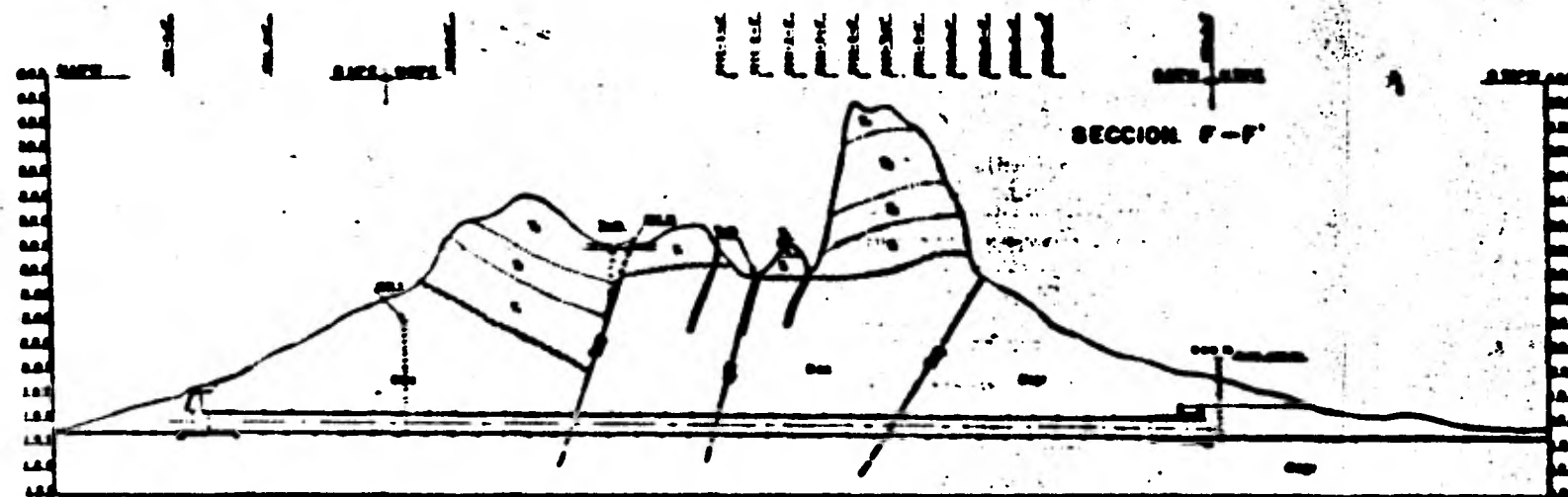
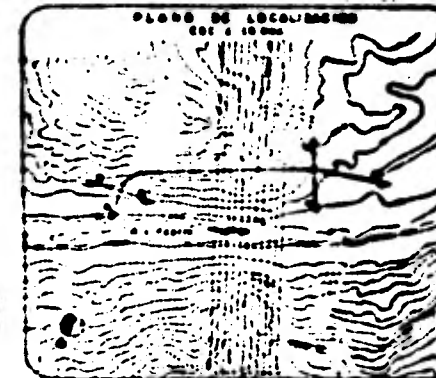
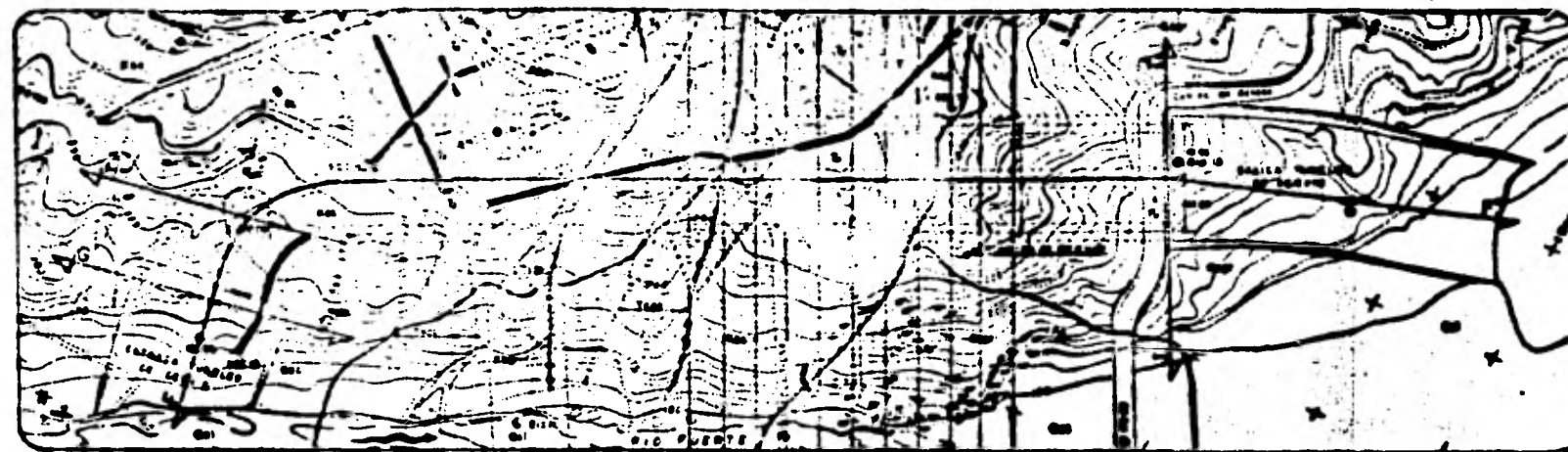
VERTEDORES (ALTERNATIVAS)

TESIS PROFESIONAL

por Roberto Hernandez Gomez

1981

PLANO DE D



SÍMBOLOS (Plano)

GEOLÓGICOS	TOPOGRÁFICOS
LITOLITO	LÍNEA DE NIVEL
FRACTURA	INTERVALO DE NIVEL
ZONA DE FRACTURAS	COTA
ZONA DE FRACTURAS	COTA
ZONA DE FRACTURAS	COTA
ZONA DE FRACTURAS	COTA
ZONA DE FRACTURAS	COTA
ZONA DE FRACTURAS	COTA
ZONA DE FRACTURAS	COTA
ZONA DE FRACTURAS	COTA

LEYENDA

SIMBOLOGÍA (Sección)

ESCALA GRÁFICA

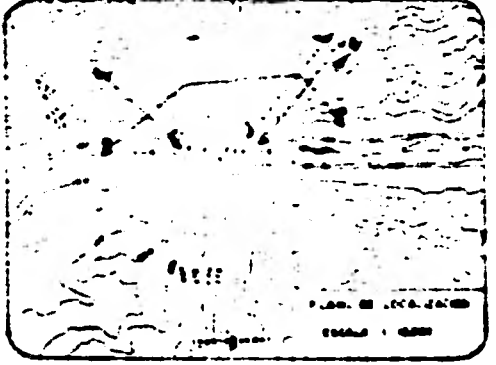
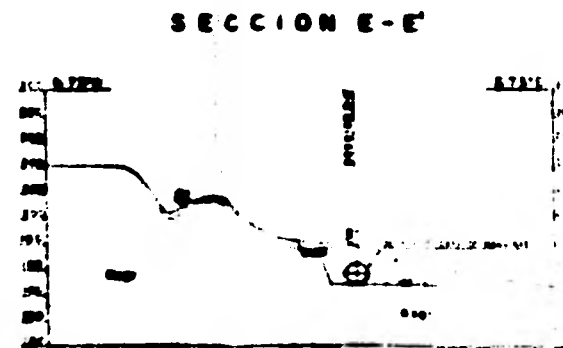
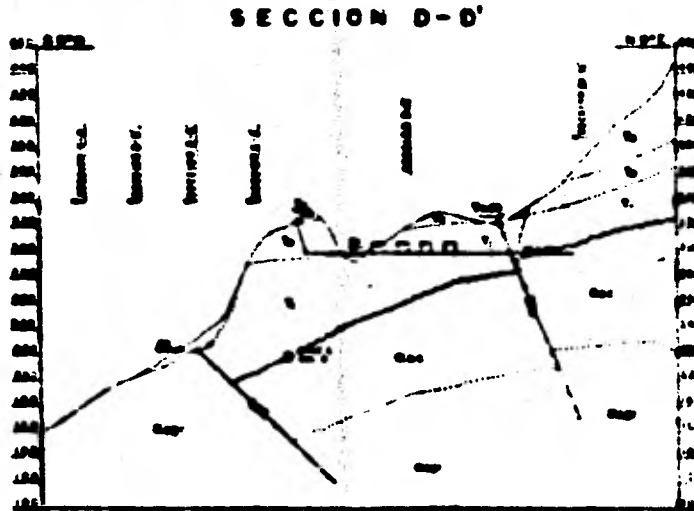
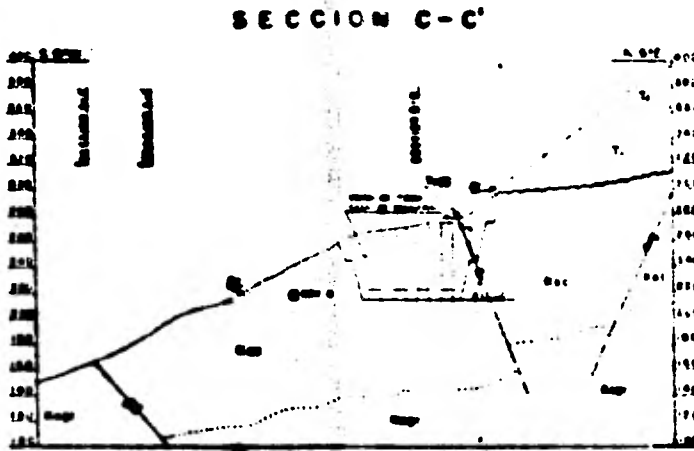
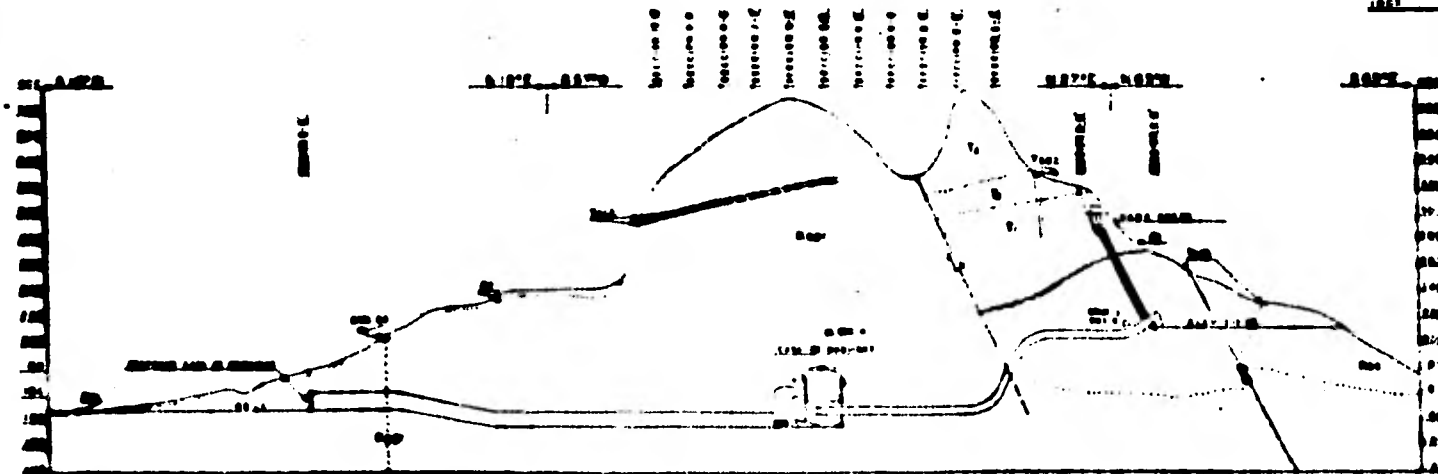
UNAM
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 PROYECTO HIDROELECTRICO MUYTES
 PLANTA Y SECCIONES GEOLOGICAS
 DE TUNELES DE DESVIO
 TESIS PROFESIONAL
 Jorge Roberto Hernández Domínguez
 1981 P. 000 DE 0



SÍMBOLOS (Píctos)

- | GEOLOGICOS | | TOPOGRAFICOS | |
|------------|--------------------|--------------|--------------------|
| | CONTACTO GEOLOGICO | | NIÑO DE AGUA |
| | FALLA O GRIETA | | ESTACION GEOLOGICA |
| | FALLA GEOL. | | POZO |
| | FALLA TORCEDA | | BAJADA |
| | LINEA DE CONTACTO | | DIQUE |
| | FRONTERA | | |
| | FALLA INCLINADA | | |

SECCION B-B'



LEYENDA

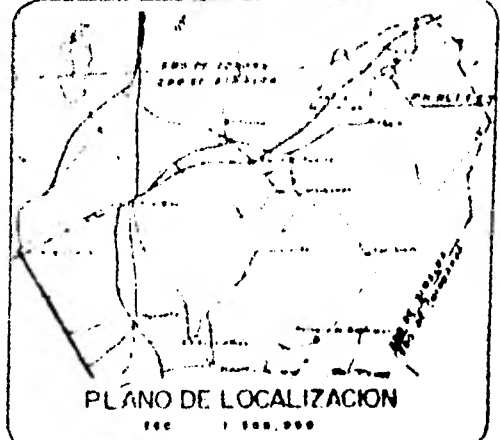
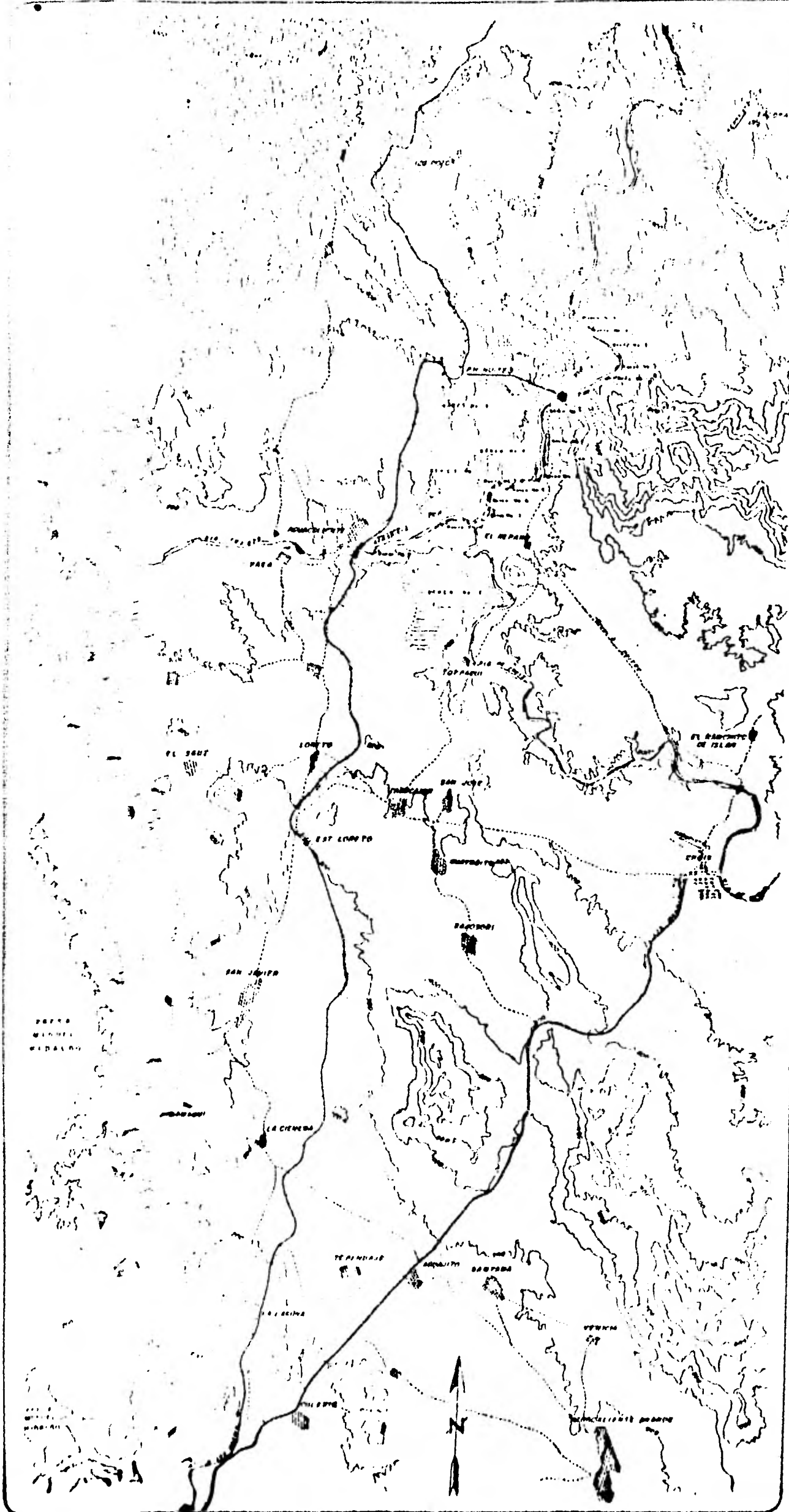
	CONTACTO GEOLOGICO
	FALLA O GRIETA
	FALLA GEOL.
	FALLA TORCEDA
	LINEA DE CONTACTO
	FRONTERA
	FALLA INCLINADA
	NIÑO DE AGUA
	ESTACION GEOLOGICA
	POZO
	BAJADA
	DIQUE

SIMBOLOGIA (Sección)

	CONTACTO GEOLOGICO
	FALLA O GRIETA
	FALLA GEOL.
	FALLA TORCEDA
	FRONTERA

ESCALA GRAFICA

UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 PROYECTO MICROELECTRICO MUITES
 PLANTA Y SECCIONES GEOLOGICAS
 DE CASA DE MAQUINAS
 TESIS PROFESIONAL
 Autor Roberto Hernandez Gomez
 1981 PLAC 01 0



SIMBOLOGIA

- CUAVA DE RIVEL
- RIO
- ACCESO PAVIMENTADO
- VEREDA
- VIA PIEDRA
- PUNTE
- POBLADO
- BANCO DE GRILLA
- BANCO DE GRAVA-ARENA

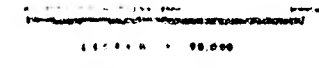
MATERIALES

ARCILLAS		
BANCO No.	AREA m ²	VOLUMEN m ³
1	698 400	354 000
2	2 700 000	1 900 000
3	435 000	404 000
4	730 000	458 000
TOTAL	4 563 400 m²	3 096 000 m³

GRAVAS-ARENA		
BANCO No.	AREA m ²	VOLUMEN m ³
1	7 500	45 647
2	19 280	79 932
3	55 628	190 418
4	15 500	35 133
5	50 350	47 291
TOTAL	117 258 m²	398 421 m³

AGUAS ABAJO		
BANCO No.	AREA m ²	VOLUMEN m ³
1	65 737	245 373
2	64 375	366 574
3	15 000	109 327
4	15 000	29 348
5	35 000	397 752
6	20 000	180 278
7	160 000	972 908
8	73 700	225 294
9	38 000	117 801
TOTAL	924 812 m²	2 616 437 m³

ESCALA GRAFICA



UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO HIDROELECTRICO HATES

BANCOS DE MATERIALES

TESIS PROFESIONAL

JOSÉ ROBERTO MEDRANOS SANCHEZ

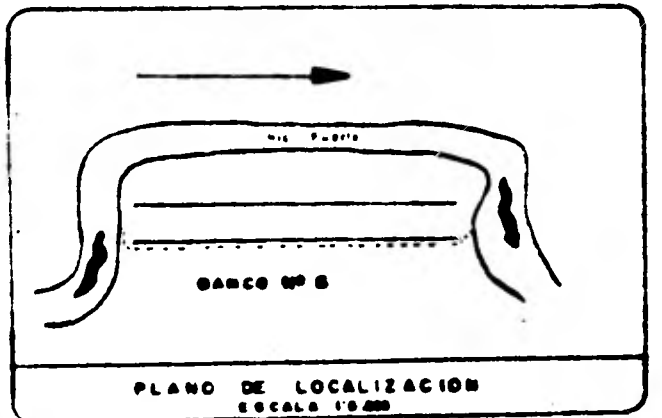
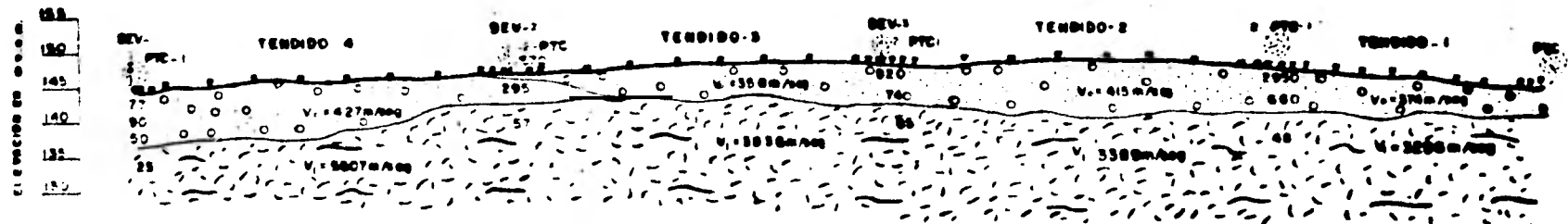
1981

PLANO No 10

LINEA 1-1'



LINEA 2-2'



LEYENDA

- Gravas y arenas cocas
- Gravas y arenas finas
- Gravas arenoso probablemente por el nivel freático
- Granito
- Punto de distribución del SEV
- Punto de tiro
- Valor de resistividad
- Velocidad máxima de propagación
- Escalera sobre el terreno
- Contacto geológico
- Contacto geológico inferior

HORIZONTAL 1:1000
VERTICAL 1:500

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO HIDROELECTRICO MUITES

BANCO DE GRAVAS Nº 6

TESIS PROFESIONAL

Jorge Roberto Hernandez Samayoa

1981 PLANO Nº 11